



**AYRIK SENTETİK LİFLERLE RASTGELE
DONATILANDIRILMIŞ İNCE DANELİ
ZEMİNLERDE DONATI UZUNLUĞUNUN
DONMA-ÇÖZÜNME DAVRANIŞI
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yasin ÇALIK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı
Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU**

2017

Her Hakkı Saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AYRIK SENTETİK LİFLERLE RASTGELE
DONATILANDIRILMIŞ İNCE DANELİ ZEMİNLERDE DONATI
UZUNLUĞUNUN DONMA-ÇÖZÜNME DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yasin ÇALIK

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

AYRIK SENTETİK LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ
İNCE DANELİ ZEMİNLERDE DONATI UZUNLUĞUNUN DONMA-
ÇÖZÜNME DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Yasin ÇALIK tarafından hazırlanan bu çalışma 14/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı - Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Özcan TAN

... İmza :

Üye : Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Rahim Kağan AKBULUT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu .27./04./2017 tarih ve .17./...16..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AYRIK SENTETİK LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ İNCE DANELİ ZEMİNLERDE DONATI UZUNLUĞUNUN DONMA-ÇÖZÜNME DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Yasin ÇALIK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Muhendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Bu çalışmada, polipropilen liflerle rastgele donatılandırılmış ince daneli zeminlerde donatı uzunluğunun donma-çözülme davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Donatı olarak farklı uzunluklarda (3mm, 6mm ve 12mm) polipropilen lifler, ince daneli zemin olarak Erzurum - Oltu ve Erzurum – Çat Bölgelerinde bulunan kil rezervlerinden alınan sırasıyla Yüksek Plastisite kil zemin (CH) ve düşük Plastisiteli kil zemin (CL) kullanılmıştır. Her bir polipropilen lif uzunluğu için toplam kuru kil zemin ağırlığının %0.15, %0.20 ve %0.25'i oranlarında polipropilen lif zemin içerisine ilave edilerek optimum su muhtevasında numuneler hazırlanmıştır.

Elde edilen numuneler ile laboratuvarında bir seri donma- çözülme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Donma-çözülme deneyleri 1, 3, 5 ve 10 farklı çevrim için tekrarlanmıştır. Her bir donma-çözülme çevrimi öncesinde ve sonrasında numuneler serbest basınç deneyine tabi tutularak numunelere ait gerilme-şekil değiştirme diyagramları çizilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, donma-çözülme çevrim sayısının artması ile serbest basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Yine, donma-çözölmeye maruz kalmış donatılı numunelerde lif boyundaki artışın serbest basınç mukavemetini olumsuz etkilediği görölmüştür

2017, 95 sayfa

Anahtar Kelimeler: Donma-çözülme, Serbest basınç dayanımı, Polipropilen lif, İnce daneli zemin.

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE REINFORCEMENT LENGTH ON FREEZE-THAW BEHAVIOR IN FINE GRAINED SOIL RANDOMLY REINFORCED WITH DISCRETE SYNTHETIC FIBERS

Yasin ÇALIK

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Department of Geotechnical

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

The purpose of this study was to investigate the effect of reinforcement length on freeze-thaw behavior in fine-grained soils randomly reinforced with polypropylene fibers. Polypropylene fibers at different lengths (3mm,6mm, and 12mm) were used as reinforcement. High Plasticity clay soil (CH) and Low Plasticity clay soil (CL), respectively, obtained from the clay reserves in Erzurum - Oltu and Erzurum - Çat regions were used as fine-grained soil. For each polypropylene fiber length, samples with optimum water content were prepared by adding polypropylene fiber into the soil at the ratios of 0.15%, 0.20%, and 0.25% of the total dry clay soil weight.

A series of freeze-thaw and unconfined compression tests were carried out in the laboratory with the obtained samples. The freeze-thaw tests were repeated for 1,3,5, and 10 different cycles. The samples were subjected to unconfined compression tests before and after each freeze-thaw cycle, and the stress deformation diagrams of the samples were obtained. The experiments revealed that with an increase in the freeze-thaw cycle number, the unconfined compression strength decreased. In addition, it was observed that increase in the fiber length of the reinforced samples that were subjected to freeze-thaw cycles, exerted a negative effect on the unconfined compression strength.

2017, 95 pages

Keywords: Freeze–thaw, unconfined compression strenght, polypropylene fiber, fine-grained soil.

TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOğLU'ya içtenlikle teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalıőmalarım süresince emeği geçen Sayın Prof. Dr. Temel YETİMOğLU'na, Sayın Yrd. Doç. Dr. R. Kağan AKBULUT'a, Sayın İnő. Yük. Müh. Neőe IŐIK'a, sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca malzeme temininde Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliőtirme zemin labaratuvar ekibine teőekkürleri anmak isterim.

Her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eőime, sevgili aileme ve her zaman yanımda olan çok değerli arkadaşlarıma őükranlarımı sunarım.

Yasin ÇALİK

Nisan, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	3
1.2. Kaynak Özetleri.....	4
1.2.1. Geogrid ve geotekstil kullanılarak yapılmış çalışmalar.....	4
1.2.2. Ayrık lif kullanılarak yapılan çalışmalar.....	9
2. KURAMSAL TEMELLER.....	14
2.1. Lifler Hakkında Genel Bilgiler.....	14
2.1.1. Yapay liflerin özellikleri.....	14
2.2. Killer.....	23
2.3. Donmuş Zeminler.....	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1. Materyal.....	28
3.1.1. Kil.....	28
3.1.2. Polipropilen lifler.....	29
3.2. Yöntem.....	30
3.2.1. Kıvam limit deneyleri.....	30
3.2.2. Elek analizi deneyleri.....	30
3.2.3. Özgül ağırlık deneyleri.....	31
3.2.4. Serbest basınç mukavemeti deneyleri.....	31
3.2.5. Donma-çözülme deneyleri.....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	37
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CH	Yüksek plastisiteli inorganik kil
CL	Düşük ve orta plastisiteli inorganik kil
GS	Özgül Ağırlık
w_L	Likit limit
w_p	Plastik limit
I_p	Plastisite indisi
w_{opt}	Optimum su muhtevası
γ_{kmax}	Maksimum kuru birim hacim ağırlık
q_u	Serbest Basınç Mukavemeti
σ	Gerilme
ϵ	Birim Deformasyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. M tipi polifiberler	18
Şekil 2.2. F tipi polifiberler.....	18
Şekil 2.3. Değişik kil minerallerinin yapısı	25
Şekil 3.1. Arazide alınan CH ve CL Kil numunelerine ait dane çapı dağılım eğrisi	28
Şekil 3.2. Deneyde kullanılan CH Kil zemine ait pipet yöntemi.....	31
Şekil 3.3. Serbest basınç mukavemeti deneylerinde kullanılan SoilTest cihazı	32
Şekil 3.4. Tam otomatik donma-çözülme kabini	33
Şekil 3.5. Tam otomatik donma-çözülme kabini	34
Şekil 3.6. Serbest basınç deney aleti.....	34
Şekil 3.7. (a) Fiber Katkılı CH kil zemin, (b) Fiber katkısız CH kil zemin.....	35
Şekil 3.8. (a) Fiber katkılı CL kil zemin, (b) Fiber katkısız CL kil zemin	35
Şekil 4.1. CH Zeminin Donatısız ve donatılı zeminlere ait donma-çözülme Ağırlık Kaybı değişimi.....	37
Şekil 4.2. CL Zeminin Donatısız ve donatılı zeminlere ait donma-çözülme Ağırlık Kaybı değişimi.....	38
Şekil 4.3. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri	54
Şekil 4.4. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri	54
Şekil 4.5. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri	55
Şekil 4.6. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri	55
Şekil 4.7. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri	56
Şekil 4.8. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri	56
Şekil 4.9. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri	57

Şekil 4.10. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	57
Şekil 4.11. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 5 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	58
Şekil 4.12. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 10 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	58
Şekil 4.13. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 0 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	59
Şekil 4.14. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 1 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	59
Şekil 4.15. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	60
Şekil 4.16. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 5 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	60
Şekil 4.17. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 10 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	61
Şekil 4.18. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 0 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	77
Şekil 4.19. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 1 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	77
Şekil 4.20. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	78
Şekil 4.21. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 5 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	78
Şekil 4.22. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 10 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	79
Şekil 4.23. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 0 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	79
Şekil 4.24. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 1 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	80
Şekil 4.25. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	80

Şekil 4.26. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	81
Şekil 4.27. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	81
Şekil 4.28. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	82
Şekil 4.29. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	82
Şekil 4.30. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	83
Şekil 4.31. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	83
Şekil 4.32. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Polimer liflerin fiziksel özellikleri.....	16
Çizelge 2.2. Polipropilen liflerin teknik özellikleri	19
Çizelge 2.3. Yaygın kil minerallerinin kalınlık, çap ve spesifik yüzey alanları	24
Çizelge 2.4. Kil minerallerinin sınıflandırılması	26
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan CL ve CH kilinin bazı indeks, kompaksiyon ve mukavemet özellikleri	29
Çizelge 3.2. Polipropilen liflere ait üretici firma tarafından temin edilen fiziksel ve mukavemet özellikleri	29
Çizelge 4.1. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	39
Çizelge 4.2. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	40
Çizelge 4.3. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	41
Çizelge 4.4. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	42
Çizelge 4.5. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	43
Çizelge 4.6. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	44
Çizelge 4.7. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	45
Çizelge 4.8. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	46
Çizelge 4.9. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	47
Çizelge 4.10. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	48

Çizelge 4.11. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 0 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	49
Çizelge 4.12. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 1 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	50
Çizelge 4.13. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	51
Çizelge 4.14. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 5 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	52
Çizelge 4.15. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 10 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	53
Çizelge 4.16. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 0 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	63
Çizelge 4.17. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 1 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	64
Çizelge 4.18. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	65
Çizelge 4.19. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 5 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	66
Çizelge 4.20. %0.15 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 10 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	67
Çizelge 4.21. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 0 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	67
Çizelge 4.22. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 1 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	68
Çizelge 4.23. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	69
Çizelge 4.24. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 5 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	70
Çizelge 4.25. %0.20 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 10 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	71
Çizelge 4.26. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 0 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	72

Çizelge 4.27. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	73
Çizelge 4.28. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	74
Çizelge 4.29. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	75
Çizelge 4.30. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri.....	76
Çizelge 4.31. Deney sonuçlarından elde edilen CH ve CL killeri için serbest basınç mukavemetleri karşılaştırılmalı değerleri.....	86

1. GİRİŞ

Zeminler gerek üzerlerine inşa olunan yapıların temelleri altında taşıyıcı tabaka olarak, gerekse birçok durumlarda inşaat malzemesi olarak, inşaat projelerinde yer almaktadır. Zeminlerin mühendislik özellikleri zeminin cinsi yanında arazi koşullarına bağlı olarak (sıkılık derecesi, su muhtevası, konsolidasyon basıncı, yükleme ve drenaj koşulları vb.) geniş bir aralık içinde değişebilmektedir. Buna bağlı olarak, inşaat sahasında karşılaşılan zeminler her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilirler (Tulumer 2006).

Ancak, bazen zeminlerin kullanım amacına uygun özelliklerde olmadığı, örneğin taşıma gücünün yetersiz olması, oturma koşulunu sağlamaması, yeterli geçirimsizliğe sahip olmaması gibi problemlerle karşılaşılabilir. Böyle durumlarda karşılaşıldığı zaman, problemin çözümünde kullanılacak, bazı seçenekler bulunmaktadır. Bu seçenekler aşağıda sıralanmaktadır (Tulumer 2006).

1. Kötü zemini bir yöntemle geçerek temelleri sağlam tabakaya oturtmak,
2. Yapı temellerini zayıf zeminin taşıyabileceği özelliklerde yapmak,
3. Kötü malzemeyi tamamen kaldırarak yerine üstün nitelikli zemin doldurmak ya da zemini ıslah ettikten sonra tekrar yerleştirmek,
4. Zeminin özelliklerini yerinde yapılan işlemlerle iyileştirmek.

Zeminin mühendislik malzemesi olarak kullanılabilmesi için zemin özelliklerinin istenilen şartları sağlanması gereklidir. Bu durumda proje sahasındaki zemini kullanabilmek ekonomik yönden bir tercih durumudur. İstenilen özellikleri taşımayan zeminlerin çoğu stabilize edilmesi veya mühendislik özelliklerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Başka alternatif yöntemler bulunmakla beraber mekanik stabilizasyon veya yoğunlaştırma anlamına gelen kompaksiyon (sıkıştırma) en yaygın kullanılan yöntemlerdedir (Yılmaz ve Özyayın 2008).

İnşaat mühendisliği uygulamalarında önemli bir konu olan zemin güçlendirme metotları zeminin taşıma kapasitesini artırmaya yönelik olarak, ülkemizde yaygınlaşmaktadır. Özellikle günümüzde deprem etkisi ve zemin sıvılaşması gibi pek çok etkiye cevap vermeye yönelik olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Yeryüzünde yapılaşmaya müsait olmayan alanları yapılaşmaya uygun hale getirebilmek için birçok zemin güçlendirme metotları geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Günümüzde özellikle artan yapısal yükler, zeminlerin önemini ileri derecede ön plana çıkarmıştır. Dolayısıyla, günümüzde aynı zemin koşullarına uygun mevcut metotların ve araştırılma sürecindeki yeni metotların karşılaştırılması önem kazanmıştır (Öztürk 2006).

Dünyadaki soğuk bölgeler hava sıcaklığı, kar kalınlığı, göllerdeki buz tabakası veya donan zeminin derinliği ifadeleri ile tanımlanabilir. Soğuk bölgeler tipik olarak sadece mevsimsel don görülen zeminler, tamamı sürekli don halde olan zeminler ya da belirli kesimleri don halde olan zeminler olarak alt kısımlara ayrılabilir (Andersland and Ladanyi 2004). Mevsimsel iklim değişikliklerinin yaşandığı bölgelerde sıcaklık değişimlerinin etkisi ile zeminler yılda birkaç kez donma-çözölmeye maruz kalmaktadır. Bu durum ince daneli zeminlerin bazı mühendislik özelliklerini (su içeriği, taşıma gücü, geçirimsizlik vb.) olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda, dondan etkilenen bölgelerde yapılan incelemeler, donan zeminde buz kristallerinin oluştuğunu, havaların ısınması sonucu ince daneli zeminlerin su muhtevasında önemli artışlar meydana geldiğini, buna bağlı olarak da mukavemetinde önemli azalmalar ortaya çıktığını göstermiştir (Cruzda and Hohmann 1997; Shita and Baghdadi 2001; Qi *et al.* 2008; Kamei *et al.* 2012; Baykal and Saygılı 2012). Donma-çözölme olayı, bölgelere göre değişen don derinliği mesafesinde yer alan zemin ortamlarına, kanalizasyon ve iletişim hatları, yol alt yapısı ve yer altı yapıları gibi hafif yapılara zarar vermektedir. Bu durum maddi açıdan önemli kayıplara neden olabilmektedir.

Mevsimsel olarak 0°C'nin altında kalan bölgelerdeki yapıların dizayn ve inşasında bu termal duruma maruz kalacak zeminlerin mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir (Cruzda and Hohmann 1997). Bu nedenle son yıllarda zeminlerin donma-çözölme sonucu geoteknik özelliklerinde meydana gelen değişim ile ilgili

çalışmalar literatürde yaygın olarak yer almaktadır (Yarbaşı *et al.* 2007; Zaimoğlu 2010; Hazirbaba and Gullu 2010; Ghazavi and Roustaie 2010).

İnce daneli zeminler kaba daneli zeminlere nazaran donma-çözülme sürecinden daha fazla etkilenmektedir. İnce daneli zeminlerin bazı mühendislik özelliklerinde donma-çözülmeden dolayı meydana gelen olumsuz etkilerin azaltılması ve iyileştirilmesi amacı ile zemin içerisine katkı malzemesi (Liu *et al.* 2010; Hazirbaba and Gullu 2010; Kamei *et al.* 2012; Baykal and Saygılı 2012) ve donatı (Yetimoğlu and Salbas 2003; Hazirbaba and Gullu 2010; Hejazi *et al.* 2012; Ramaji 2012) ilave edilmektedir.

Donatılı zeminlerde öncelikli amaç zeminin taşıma kapasitesini artırmak, muhtemel oturma ve yanal deformasyonları azaltmaktır. Literatürdeki çalışmaların çoğunda farklı fiziksel özelliklere sahip lifler ile rastgele donatılı kohezyonlu zeminlerin kompaksiyon ve mukavemet karakteristikleri incelemiştir (Al-Wahab and El-Kedrah 1995; Ang and Erik 2003; Kumar *et al.* 2006; Özkul and Baykal 2007; Rafalko *et al.* 2007).

Bu çalışmada, polipropilen liflerle rastgele donatılandırılmış ince daneli zeminlerde donatı uzunluğunun donma-çözülme davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

1.1. Amaç ve Kapsam

Çalışmanın amacı farklı uzunluklardaki ayırık sentetik liflerle rastgele donatılandırılmış ince taneli (CL-CH) zeminlerin serbest basınç dayanımı ve donma-çözülme davranışı üzerinde donatı uzunluğunun ve donma-çözülme çevrim sayısının etkisini araştırmaktır.

Bu çalışmada, polipropilen liflerle rastgele donatılı zeminin donma-çözülme davranışı araştırılmıştır. Bunun için laboratuarda bir seri serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde polipropilen lif uzunlukları ile donma-çözülme çevrim sayısı parametre olarak seçilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar donatısız zemininki ile karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca Katkı ve donatı malzemeleri, ince ve kaba daneli zeminlerin bazı mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacı ile pratikte sıkça kullanılmaktadır. Fakat sınırlı sayıdaki çalışmada ayrık polimer lifler ile donatılı ince daneli zeminler konu edilmiştir. Bu çalışmada ince daneli zemin içerisine rastgele dağıtılmış farklı boydaki (3mm, 6mm ve 12mm) polipropilen liflerin donma-çözülme davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için laboratuarda bir seri serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Her bir boy için lif oranı donatılı zeminin toplam kuru ağırlığının %0.15, %0.20 ve %0.25'i olarak seçilmiştir. Donma-çözülme deneylerinde katkısız, 1, 3, 5 ve 10 çevrim yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, donma-çözülme çevrim sayısının artması ile serbest basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Yine, donma-çözölmeye maruz kalmış donatılı numunelerde lif boyundaki artışın serbest basınç mukavemetini olumsuz etkilediği görülmüştür. Polipropilen lif uzunluğu arttıkça her bir donma-çözülme çevriminde başlangıç elastisite modülünün azaldığı belirlenmiştir. Donatılı numuneler, daha duktıl bir davranış sergilemiştir. Çevrim sayısının artmasıyla donatılı (%0.15-%0.20) numunelerde 1-3-5 çevrim sayılarında donma-çözülme dayanımının genelde azaldığı görülmüştür.

1.2. Kaynak Özetleri

Son zamanlarda geoteknik mühendisliği hızla gelişen bilim ve teknolojiye paralel olarak özellikle son çeyrek asırlık dönem içerisinde mühendislik yapısı sorunları ve zeminden kaynaklanan sorunların çözümünde vazgeçilmez bir uygulama ve inceleme alanı olmuştur. Kaynak özetleri iki ana başlık halinde belirtilmiştir. Birinci bölümde geogrid ve geotekstil kullanılarak yapılan çalışmalar, ikinci bölümde tez araştırma konum olan ayrık lif kullanılarak yapılmış çalışmadır.

1.2.1. Geogrid ve geotekstil kullanılarak yapılmış çalışmalar

İnşaat mühendislik alanında teknoloji gelişmesiyle ve ihtiyaçların farklılaşması zemin iyileştirilmesinde geotestillerin kullanılmasının önemini artırmıştır. Literatürde geotekstil malzemelerin kullanılmasının ilk örnekleri; 1950'li yılların başında Amerika

Birleşik Devletlerinde pamuklu bez dokumaların zemin yollarda stabilizasyon malzemesi olarak kullanılması ve Kuzey Denizi'nde yapılan su bentlerinde sentetik ayırıcılar kullanılmasıdır. 60'lı yılların sonlarına doğru Modern geotekstillerin kullanılmaya başlanması hız kazanmıştır. 2. Dünya Savaşından sonra Bu konuyla ilgili Viyana'da çeşitli konferanslar yapılmış, bültenler çıkarılmıştır. "International Organization for Standardisation (ISO)" tarafından da uygulanmaya başlanan "Geotechnical Fabric Report" adı altında, geotekstilde test standartları ve özellikleri geliştirilmiştir. Ayrıca "International Geotextile Society (IGS)" tarafından standartlar geliştirilmiştir. Bu dönemlerde geotekstil malzeme olarak kullanılan pamuk türü malzemelerin ıslanmasıyla çürümeye yüz tutması keten ve kendir türü dokumaların kullanımı azaltmış, bunun yerine plastik tercih edilmiştir. Blacburn (1975) plastik malzemelerin kullanılmasıyla alakalı patent almış olup, bu patent bu günkü geotekstillerin temeli olmuştur. Benzer bir patentde Jones ve *et al.* (1999) tarafından geogrid ve geosentetiklere alınmıştır (Anonymous 2016). Rainey (2001) yapmış olduğu istinat duvarları çalışmalarında, Geogridlerin blokların aralarına, zeminde uzayacak şekilde yerleştirilmesinin avantajlı olduğunu göstermiştir. (www.uspto.gov).

Love (1984) yapmış olduğu çalışma, yollarda geogrid uygulaması ve ek stabilite durumu bilinen en eski bilimsel çalışmalardan biridir. Jones *et al.* (1995), güçlendirilmiş dolgu yapılarının boşluklardan, geosentetikle güçlendirilmiş zemin dolguların ve oyuklar üzerinde etkisinin araştırması yapılmıştır. Güçlendirmeyi eğilme olmadan sadece gerilme olacak şekilde Model FLAC, sonlu farklar programı kullanılarak model kullanmışlardır. Burd (1995) çubuk element modeli kullanarak zayıf zeminler üzerine inşa edilen kaplamasız yollarda membran kullanmış ve gerilme ortamında tekil yükler yüklemiştir. Çalışmasının sonucu olarak uygulamış olduğu bu yöntemin geniş deplasmanlarda kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Kullanılan geosentetiklerin üstteki dolgu ve alttaki yumuşak kil arasında ayırıcı olarak görev yapmıştır. Zhan and Yin (2001) geosentetikle güçlendirilmiş zeminde, zemin - geosentetik arayüzündeki etkileşimi elastik olarak analiz etmiştir. Analizlerinde Winkler yayları ve yatay kesme yayları kullanıp, yatay ve dikey yönlerde de etkileşimini izlemiştir. Bu analizler modellenmiştir. Bu modelleme yapılırken geosentetiklerin

elastik malzeme olduğu düşünülüp, kesme ve eğilme dayanımlarının olmadığı kabul edilmiştir. Araştırmacı elde ettiği sonuçları FLAC programının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yumuşak zeminler daha yüksek rijitliği olan geosentetiklerin güçlendirebileceğini görmüştür. Villard and Giraaud (1998) düzenli dikey yükleri memrana uygulayarak geosentetiğin davranışı sonlu elamanlı metoduyla analiz etmişlerdir. Bu analizin izotropik ve elastik olmayan ortamlar için iyi sonuç verdiğini belirtmiştir. Artan eğilme rijitliğinin önemini belirlemek amacıyla Fakher ve Jones (2001) geosentetik eğilme rijitliği olmayan çubuk elemanlarıyla ve elastik eğilme dayanımı olan iki boyutlu kiriş elementleriyle geosentetik güçlendirmeyi iki farklı metodla modellemişlerdir. Modellemeler, yumuşak kilin yüksek miktarda su içerdiği ve kesme dayanımının çok az olduğu prensibe göre yapılmıştır. Han and Gabr (2002) yumuşak killerde kolon destekli dolgu üzerine bir sayısal analizde geosentetiğin gerilme dayanımı etkisini, dolgunun yüksekliğini, dolgu malzemesinin elastik modülünü araştırmıştır. Çalışmasında FLAC programı kullanmıştır. Modellerinde geosentetik-zemin arasında tam temas olduğu kabul etmiş ve sadece bir tabaka geosentetik kullanmıştır. Analiz sonuçları, güçlendirmedeki gerilmenin düzensiz olduğunu, dolgu kenarlarında maksimum gerilmenin meydana geldiğini ve geosentetiğin zeminin gerilme dayanımını artırdığını göstermiştir.

Daniele *et al.* (1993), bir alet tasarlayarak farklı geogridlerle güçlendirilmiş siltli kum ve çakıllar üzerinde yapılan doğrudan kesme deneyleri yaparak geosentetik etkileşimini modellemiştir. Bu deney ve model sonuçlarına göre geosentetik kullanımın zeminin kohezyonu arttırmadığı ve bu karışımların alışılmamış şekilde göçtüğü gözlenmiştir. Long *et al.* (1997), çekme (pull-out) deneyleri ile ayrılmış kil ve siltli kumda zemin geotekstil arayüzündeki davranışı incelemiş ve kayma dayanımı ile pik kayma dayanımının eksik tahmin edildiği vurgulamıştır. Tan *et al.* (1998), Kum geotekstil arayüzündeki pik ve rezidüel (kalıntı) sürtünme açıları geotekstilin nominal kütesinden ve yükleme hızından büyük oranda etkilenmediğini yargısıyla zemin-geotekstil arayüzündeki kayma mukavemetini halka kesme deneylerini yapmışlar, çalışmaların sonuçlarında 3 mm küçük kayma deformasyonu aşıldığında, direkt kesme deneyinde halka kesme deneyinden daha yüksek içsel sürtünme açısı elde ettiğini gözlemlemişler.

Haeri *et al.* (2000) geotekstil tabaka sayısı, çevre basıncı ve geotekstil yerleşimi parametreleri ile kompozit malzemelerin mekanik yorumlamışlardır. Bu amaçla üç eksenli basınç deneyleri ile kuru sahil kumu ile geotekstil arayüzündeki gerilme-deformasyon ve genişleme davranışını çözümlenmeye çalışılmışlar. Çalışmanın sonucunda olarak zeminin geotekstil ile donatılabilmesi pik dayanımda, eksenel deformasyonda ve kırılmalıkta artışa sebep olduğu yargısına varmışlar. Aiban and Ali (2001) Kızıldeniz sahilindeki zemini ve geotekstilkum kullanarak modeller yapıp bu modelleri ile pull-out deneyleri uygulamışlardır. Sonuçta elastikiyeti az olan geotekstilin sıyrılmaya için en yüksek çekme kuvvetine ihtiyaç duyduğu ve geotekstilin bu zeminlerin kayma dayanımının artışına sebep olduğunu göstermişlerdir.

Yetimoğlu ve Salbaş (2003), rastgele fiber dağılım olan kumların dayanımlarını direkt kesme deneyleri ile incelemişlerdir. Fiber donatı oranının kayma dayanımına etkisini sonuç olarak, pik dayanımın ve kumun ilk rijitliğinin fiber donatı oranından etkilemediğini ve rezidüel kayma dayanımında sünekliğine bağlı artış olduğunu bulmuşlardır. Lee and Manjunath (2000), Zhang *et al.* (2006) ve birçok çalışma değişik zeminlerde farklı tip geotekstil malzemelerle yapılan uygulamalar zeminlerin dayanıma etkisinin olduğunu göstermiştir. Bu da geotekstil incelemesini gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda Geogrid donatılı zeminler üzerinde yapılmış olan çalışmalarda birkaç tanesi aşağıda verilmiştir.

Yetimoğlu *et al.* (1994), tek eksenli geogrid donatılı kum zeminin taşıma kapasitesi üzerinde etkisini araştırmıştır. Bunun için dikdörtgen temelleri modellemiştir. Çalışmasında donatılı zeminlerde yapılan deneylerde, göçme anındaki oturmaların daha fazla olduğu, aynı zamanda nihai taşıma gücünün donatısız zemine göre dört kat daha fazla olduğu ortaya koymuştur. Adams and Collin (1997), donatı parametrelerinin taşıma gücüne ve oturmaya olan etkilerini araştırmak amacıyla donatılı kum zemin üzerine oturan kare tekil temel modelleri yapmışlardır. Çalışmalarında Donatı parametreleri olarak, donatı tabaka sayısı, donatılar arası düşey aralık, donatı tabakasının boyutu ve zeminin sıkılık derecesi kullanmışlardır. Zeminde iyileşmenin sadece tabaka sayısına bağlı olmadığını toplam donatı derinliği ve donatılara arası düşey

mesafeye bağılı olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı zamanda donatı sayısının 3 olduğu durumda en büyük taşıma kapasitenin olduğunu belirtmişlerdir. Shin and Das (2000) geogridle güçlendirilmiş kum zemin üzerindeki şerit temelin taşıma kapasitesi incelemek için modeller yapmışlardır. Çok tabakalı geogrid donatılı, orta sıklıktaki kum zemin üzerine oturan şerit temelin, farklı yüzey temel koşulları gözönüne tutularak farklı derinlikteki taşıma kapasitesinin değişimini incelemişlerdir. Çalışmalarında temel derinliğini temel genişliğinden daha küçük tasarlamışlardır. Sonuçta ilk donatı tabakası derinliğinin $u=0.3B$ değerinde, maksimum taşıma kapasitesine ulaştığını belirtmişlerdir. Alawaji (2001), yumuşak ve kumlu zemin üzerinde oturan 100 mm çaplı dairesel temelin taşıma kapasitesi araştırmak için deneyler yapmışlardır. Çalışmalarında %80'i yumuşak, %20'si kum zemin ve TENSAR SS2 geogrid donatı malzemelerine 450 mm çapında, 350 mm yüksekliğinde dairesel çelik tank içinde yerleştirilerek yapmışlardır. Burada geogrid tabakasının derinliği ve genişliği değiştirilerek oturma miktarı, elastisite modülü ve taşıma kapasitesi araştırmışlardır. Atalar *et al.* (2002), okyanustan kazanılmış arazi üzerinde inşa edilen Güney Kore'deki Inchon Uluslararası Havalimanı zemini üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Burada geogrid takviyeli ayırık daneli zemin üzerine yerleştirilen, düzenli yüklü dairesel plaklarla iletilen gerilmeyi ölçmüşlerdir. Bunun için en uygun gerilme dağılımı, temel üzerindeki yükün büyüklüğü, takviye için kullanılan geogrid donatı levhalarının sayısı ve geogrid takviyeli zeminin kalınlığı aralığı bulunmuştur. Laman ve Yıldız (2003), zemin taşıma kapasitesinin değişimini araştırmak için geogrid donatılı kum zeminler üzerine laboratuarda model deneyler yapmışlardır. Patra *et al.* (2005), çok tabakalı tekyönlü TENSAR BX1100 geogridle güçlendirilmiş, içsel sürtünme açısı 42.4° ve rölatif sıklığı %71 olan doğal orta sıklıktaki kum zemin üzerine oturan eksantrik yüklü şerit temelleri taşıma kapasitesine etkisini incelemişlerdir. Yıldız ve *et al.* (2006), sonlu elemanlar analizi ve PLAXIS bilgisayar programı kullanarak geogrid donatılı kum üzerine oturan dairesel temellerin taşıma kapasitesini ve taşıma kapasitesi oranı (Bearing Capacity Ratio) incelemişlerdir. Kumar *et al.* (2007) geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerinin taşıma kapasitelerini incelemişlerdir. Çalışmalarında taşıma gücüne etkileyen temel genişliği, temel derinliği, donatı uzunluğu, donatı tabaka sayısı ve donatılar arası uzaklık faktörlerinin taşıma gücü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

1.2.2. Ayrık lif kullanılarak yapılan çalışmalar

Czurda, and Hohmann (1997), Sıfırın altındaki sıcaklıklar ile etkilenen zemin yapılarının tasarımı ve inşası, seçilen ısı şartları altında yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesini gerektirdiğini belirtmektedirler. Çalışmada 5 killi zemin için deney yapılmıştır. Çözünen killi zeminlerin kesme dayanımı üzerinde kesme düzleminde farklı donma şartlarını değerlendirmek için laboratuarda direkt kesme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar zaman ve sıcaklıkla donmuş zeminlerin kesme dayanımındaki değişim, öncelikle buzun kohezyonundaki değişim ile olduğu ve sürtünme dayanımı sabit kaldığı için göz ardı edileceğini göstermiştir.

Zemin-çimento karışımlarının durabilitesinde donma-çözülme etkisini Shita and Baghdadi (2001) de incelemiştirler. Çalışmalarında donma için -10°C 'de 22 saat ve çözülme için nem odasında 22 saat beklenilmiştir. Çalışmada 12 çevrim donma-çözülme uygulanmıştır.

Taşpolat vd (2006) da ise atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma-çözülme etkisini incelemiştirler. Kil zemin olarak %10 bentonit %90 Kaolin karışımı kullanılmıştır. Çalışmada kil tabakalarında çevresel şartlara karşı %10 ve %15 mermer tozu ilavesi mukavemeti arttırdığına vurgu yapılmıştır. Donma-çözülme yöntemi olarak çalışmada ASTM D 560-96 (1985) deki metot kullanılmıştır. Bu standarda göre numuneler -20°C deki soğutucu içerisinde 24 saat bekletilmiş ve daha sonra soğutucudan çıkartılan numuneler 24 saat oda sıcaklığında (18°C) bekletilmiştir. Buda bir çevrim olarak adlandırılmıştır. Çalışmada Chamberlain *et al.* (1990)'a atıfta bulunularak derindeki zeminler için 3-10 ve yüzeyle yakın zeminler için 12 çevrim uygulanmıştır.

Kværnø and Qygarden (2006) da ise üç farklı zemin üzerinde farklı nem durumları ve donma-çözülme çevrimlerinde nicel bir etki inceleme amaçlanmıştır. Çalışmada -15°C de 24 saat donma ve 9°C de 48 saat çözülme uygulanmış ve çevrim sayısı olarak 0-1-3-6 olarak seçim yapılmıştır.

2007’de Laboratuarda sıkıştırılan iyi derecelenmiş kil üzerinde 21 kez donma çözülme dönüşümü yapan Da-yan *et al.* (2007), donma çözülmenin numune yüksekliği, su muhtevası, kırılma dayanımı, elastik modülü kohezyon ve içsel sürtünme açısı üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Sonuçlar donma çözülmenin numunenin fiziksel-mekanik karakteristiklerini etkilediğini göstermiştir. 7-10 çevirim sonunda numunenin boyunda artma ve su muhtevasında azalma görülmüş, 7 çevirimden sonra boy ve su muhtevasının sabit kaldığı belirlenmiştir. Gerilme – şekil değiştirme eğrilerinin donma çözülmeden etkilenmediği fakat resilient (esneklik) modülünün ve kırılma dayanımının büyük ölçüde etkilendiği belirlenmiştir. Donma çözülme çevrimi arttıkça kohezyonun azaldığı ve içsel sürtünme açısının artma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

Silika dumanı, uçucu kül ve kırmızı çamur gibi atık malzemelerin kullanımıyla donma çözülme çevrimlerinin etkisini ortadan kaldırmak için granüler zeminlerin modifikasyonunu Yarbaşı vd (2007), değerlendirmişlerdir. Çalışmada, ilk kayaktan elde edilen 2 granüler zemin, silika dumanı-kireç, uçucu kül-kireç, kırmızı kil-çimento katkılarıyla stabilize edilmiştir. Doğal ve stabilize edilmiş zemin numuneleri, 28 günlük kür ardından donma çözülme çevrimlerine maruz kalmıştır. Donma çözülme çevrimlerinden sonra da, basınç dayanımı, CBR, donma çözülme, ultrasonik dalga, rezonant frekans testi doğal ve stabilize numunelerin donma çözülme özelliklerini incelemek için yapılmıştır. Deney sonuçları, stabilize edilmiş zeminlerin doğal zeminlere göre daha yüksek donma-çözülme dayanımı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda, katkı maddeleri zemin örneklerinin dinamik özelliklerini de geliştirmiştir. Sonuç olarak, çalışmada kullanılan tüm katkı maddelerinin (silika dumanı-kireç, uçucu kül-kireç, kırmızı kil-çimento) ve özellikle silika dumanı-kireç karışımların, yol inşaatı ve toprak işlerinde granüler zeminin donma çözülme dayanımını artırmak için katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir. Çalışmada beton standartlarından ASTM C 666 kullanılmıştır. Numuneler -18°C 2,5 saat donma ve 18°C 2.5 saat çözülmeye bırakılmıştır. 0-30-50-60 çevrim yapılmıştır. Ayrıca ASTM C 666/ C 666 M-03 standardında beton numuneler 2 saatten az ve 5 saatten fazla olmamak ve 36 çevrim sayısını aşmamak koşulu ile 4°C ve -18°C arasında ($\pm 2^{\circ}\text{C}$ oynayabilir) donma-çözülmeye bırakılmaktadırlar.

Erol (2007), donma-çözülme çevrimlerinin zemine verdiği hasarı en aza indirmek amacıyla uçucu kil katkılı C sınıfı silt zeminlerin donma-çözülme direnci araştırma konusu olarak ele alınmıştır. Zemin karışımları farklı kür sürelerinde serbest basınç deneyine, farklı çevrimlerde donma-çözülme deneyine tabi tutulmuşlardır. Çalışmada numuneler -18°C 24 saat donmaya ve oda sıcaklığında 24 saat çözülmeye bırakılmış ve donma-çözülme çevrim sayısı 1-3-7 olarak seçilmiştir.

Farklı donma durumlarında ve kuru birim hacim ağırlığındaki silt bir zeminde donma-çözülmenin sebep olduğu mühendislik özelliklerinin değişimini Qi *et al.* (2008) de incelenmişlerdir. Zemin numuneleri tek donma-çözülme tabi tutulmuştur. Çalışmada -20°C de donma ve 20°C de çözülme prosedürü uygulanmıştır.

Ghazavi and Roustai (2010) yaptıkları çalışmalarında fiber katkılı kil zeminlerin basınç mukavemetleri üzerinde donma-çözülme çevrimlerinin etkisini araştırmışlardır. Buradan da katkılı ve katkısız numunelerin serbest basınç dayanımları bulunmuştur. Çalışmada donma-çözülme çevrimlerinin artması ile kil numunelerin serbest basınç dayanımları %20-25 oranında azaldığını saptanmıştır. Çalışmada numuneler -20°C de 6 saat donmaya ve 25°C de 6 saat çözülmeye bırakılmıştır. Çevrim sayıları 0-1-3-5-10 olarak seçilmiştir. Bu sıcaklıklar Qi *et al.* (2004)'den alınarak uygulanmıştır.

Rastgele donatılanmış kil zeminin donma çözülmeye karşı dayanımını Zaimoglu (2010) daki çalışmasında araştırmıştır. Çalışmada farklı oranlarda ilave edilen fiber ile rastgele donatılanmış kil zemin numunelerin donma çözülme öncesi ve sonrası serbest basınç dayanımları incelenmiştir. Çalışmada donma-çözülme prosedürü olarak ASTM D 560-03 uygulanmış ve numunelere 12 çevrim yapılmıştır. Bu standartta numuneler -23°C de 24 saat donmaya ve ardından 21°C de 23 saat çözülmeye bırakılmaktadır. Bu işlem bir Çevrim olarak değerlendirilmektedir.

Güllü ve Hazirbaba (2010) da düşük plastisiteli zeminlerin mukavemet karakteristiklerini iyileştirmek için geofiber ile birlikte kullanılan sentetik yeni bir sıvı üzerinde yoğunlaşmıştır. Araştırma serbest basınç dayanımı deneyi esas alınmıştır.

Çalışmada -20°C 24 saat ile 20°C 24 saat arasında donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır.

Liu *et al.* (2010) da farklı karışım oranlarında çimento ve kireç katkılı donma-çözülme maruz bırakılan zemin numunelerine dinamik üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Çalışma da katkılı zeminlerin katkısız zeminlere oranla donma-çözülme daha dayanıklı olduğu gösterilmiştir. Çalışmada -15°C de 12 saat donma ve 5°C de 12 saat çözülme yapılmıştır. Çevrim sayıları 0-1-3-6-8-10 olarak değişiklik arz etmiştir.

Hazirbaba ve Güllü (2010) de ise yine zemine katılan geofiber ve sentetik sıvının donma-çözülme çevrimi etkisinde CBR oranları araştırılmıştır. Çalışmada ASTM D560-2003 ve ASTM D 5918-2006 prosedürleri seçilip 1'er çevrim yapılmıştır. Ayrıca yine çalışmada Cook (1963) de -18°C de 8 saat donma ve 21°C de 8 saat çözülme; Wong and Haug (1991) de -20°C de 6 saat donma ve oda sıcaklığında çözülme; Simonsen and Isacson (2001) de ise yine -10°C ile 20°C arasında tek çevrim donma-çözülme uygulandığına atıfta bulunmuşlardır.

Hazirbaba vd (2011) de zeminlerin sıvılaşma potansiyeli ve aşırı boşluk suyu basınçlarının değişimi hakkında geniş bir laboratuvar deney sonuçları üzerinde durmuşlardır. Çalışmada laboratuvar ortamında oluşturulan 4 farklı tip zemin numunesi kullanılmıştır. Bunlar (1) donma-çözülme maruz bırakılmamış numuneler, (2) 24, 5, 1, 0.5, ve -0.2°C de hazırlanan numuneler, (3) 1-2-4 arasında donma-çözülme çevrimlerine tabi tutulmuş numuneler ve (4) 0.5, -0.2°C de donmaya yakın sıcaklıklarda hazırlanan numunelerdir. Çalışmada -10°C ile oda sıcaklığında 0-1-2-4 çevrim donma-çözülme prosedürü uygulanmıştır.

Zaimoğlu (2010) İnce daneli zemine kuru halde Polipropilen lif içeriği malzeme katılması ve bileşimi sağlanan katkılı malzemenin donma-çözülme takip edilmesi sonucunda tek eksenli serbest basınç dayanıma tabi tutularak kütle kaybında %50 oranında ve polipropilen lif oranı arttıkça genellikle eksenel gerilme ve şekil değişimlere artışlara neden olmuştur.

Kamei (2012) de jips atığında üretilen geri dönüştürülmüş bassanit katkılı çok yumuşak killerin durabilitesi ve serbest basınç dayanımlarına donma-çözülmenin çevrimlerinin etkisi araştırılmıştır. Araştırmada donma-çözülme artmasıyla numunelerin serbest basınç mukavemetleri ve durabilite indisleri azalım göstermiştir. Bu çalışmada Japon karayolu standardı kullanılmıştır. Çalışmada donma için 24 saat -10°C ve oda sıcaklığında 24 saat çözülme yapılmıştır. 0-1-2-5 çevrim sayıları seçilmiştir.

Zaimoglu *et al.* (2016) ince daneli zemin içerisine rastgele dağıtılmış farklı boydaki (3mm, 6mm ve 12mm) polipropilen liflerin için lif oranı donatılı zeminin toplam kuru ağırlığının %0.15, %0.20 ve %0.25'i olarak seçilmiştir. Donma-çözülme deneylerinde 1, 3, 5 ve 10 çevrim yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, donma-çözülme çevrim sayısının artması ile serbest basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Yine, donma-çözülme maruz kalmış donatılı numunelerde lif boyundaki artışın serbest basınç mukavemetini olumsuz etkilediği ancak daha sünek davrandığı belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, polipropilen liflerle rastgele donatılı ince daneli zeminlerin donma-çözülme davranışı araştırılmıştır. Bunun için laboratuarda bir seri serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde polipropilen lif uzunlukları ile donma-çözülme çevrim sayısı parametre olarak seçilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar donatısız zemininki ile karşılaştırılmış ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Lifler Hakkında Genel Bilgiler

Doğal kaynaklardan elde edilen ya da endüstriyel olarak üretilen, uzunluğu, bükülgenliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan maddeler lif olarak adlandırılmaktadır. Bu maddeler, doğal ve yapay olarak sınıflandırılmaktadır. Bitki, hayvan, mineral vb. doğal kaynaklardan elde edildiği şekliyle doğrudan kullanılabilenlere doğal lif olarak isimlendirilir. Yapay lifler ise, istenilen belirli özellikleri taşıyacak şekilde özel geliştirilen ve bu gaye ile insan yapısı olarak üretilen maddelerdir (Türker ve Balanlı 1992).

Lifler doğal ve yapay olmak üzere aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. Konuyla ilgili tez çalışmamızda yapay Lifler kullanıldığı için doğal liflerle ilgili bilgi verilmemiştir.

a. Doğal Lifler

b. Yapay Lifler

- Cam Yünü

- Polimer Lifler

Polimer lifler de aramid, naylon, polyester, polietilen, polipropilen, poliüretan lifler olmak üzere gruplandırılabilir (Özcan 2006).

2.1.1. Yapay liflerin özellikleri

Geotekstilin yapısına bakıldığında karşımıza eleman olarak filaman (filament; $\text{çap} < 1$ mm), ince yassı şerit (kalınlık < 1 mm, en birkaç mm), ince tabaka (film; kalınlık < 1 mm), kalın tabaka (kalınlık birkaç mm) veya iplik çıkar (Wasti 1992). Filaman denilince, bükülebilirliğe ve inceliğe sahip, yüksek boy/kalınlık oranıyla karakterize edilen malzeme anlaşılmalıdır. İplik ise belirli bir uzunluğa sahip küçük kesit alanlı,

bükülmüş ya da bükülmemiş filamanların geotekstil üretimine hazırlanmış şeklidir (Cindemir 1997).

Filaman üretimi için granüler haldeki polimer hammaddesi eritildikten sonra pompalar vasıtasıyla çok sayıda deliklere sahip püskürtme memesine doğru iletilir. Bobinlere sarılarak çıkan filamanlar, germe veya ısıtılma işlemine tabi tutulurken, çapları azalır ve dayanımları artar. Daha sonra filamanlar eğirilerek iplik elde edilir (Cindemir 1997). Filaman, yassı şerit, tabakalar ya da ipliklerin uzunlamasına kesilmesi sonucu elde edilen boyuna elemanlarla düzlemsel yapıda geotekstiller üretilir.

Geotekstillerin üretiminde yaygın olarak polipropilen, polyester, poliamid (nylon) ve polietilen hammaddeleri kullanılmaktadır. Bu hammaddeler şöyle sıralanabilir:

1. Polipropilen
2. Polyester
3. Poliamid
4. Polietilen
5. Polivinil Klorid (PVC)
6. Etenekopolimer bitüm (Aksoy, 1993).

Bu bölümde bu çalışmada kullanılan polipropilen yapay lifler hakkında kısa bilgilere yer verilmiştir.

Lif üretiminde kullanılacak hammadde sıvı ya da yarı sıvı hale getirilir. Yas çekme, kuru çekme gibi işlemler ile lifler oluşturulur. Hem tekil hem de hamur biçiminde bulunurlar. Uzunlukları 3-50 mm arasında değişir. Kısa lifler hamur, uzun lifler tekil halde bulunur. Polipropilen hamuru, polietilen hamurunda daha düşük dayanıma sahiptir. Çizelge 2.1'de polimer liflerin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Polimer liflerin fiziksel özellikleri (Shan 1995).

Lif Tipleri	Etkili çap (10-3 mm)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastiklik Modülü (GPa)	En büyük uzama (%)
Akrilik	13-104	1,17	207-1000	14,6-19,6	7,5
Aramid	12	1,44	3620	62	4,4
Aramid II	10	1,44	3620	117	2,5
Naylon	10	1,16	965	5,17	20
Polyester	10	1,34-1,39	896-1100	17,5	20
Polietilen	25-1020	0,96	200-300	5,0	3
Polipropilen	25-1020	0,90-0,91	310-760	3,5-4,9	15

- Polipropilen Lif

Polipropilen lif insanlık tarihi kadar eski olan doğal mikro donatı saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyumlaştırılmış halidir. Polipropilenden (PP) üretilen lifler oldukça yüksek dayanımları, alkali ortama çok iyi direnç göstermeleri ve düşük fiyatlarıyla önemli bir donatı malzemesi özelliğini taşımaktadır. En önemli kullanım alanı çimento bağlayıcı kompozitlerin donatılmasıdır. Bu lifler, beton donatı malzemesi olarak ilk kez 1965 yılında Goldfein tarafından önerilmiştir.

Polipropilen lifler, genellikle kalınlığı 50 µm ile 100 µm arasında değişen elyaf tabaka halinde kullanılmaktadır. Malzemenin ergime sıcaklığı 165°C olup, malzeme 100°C'ye kadar olan sıcaklıklarda özelliklerini korumaktadır. Kısa süreler için 140°C'ye kadar sıcaklıklarda da kullanılabilir.

Polipropilenin uygulamada karşılaşılan sakıncalı bir yönü, düşük sıcaklık karakteristiklerinin zayıf olmasıdır. Camsı geçiş sıcaklığı ~-20°C'dir. Lifler yapı itibarıyla birçok kimyasal maddeye karşı direnç göstermektedir. Özellikle alkali direncinin iyi olması, malzemenin beton ve harçlarda donatı olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Polipropilen, güneş ışınları ve oksijenden etkilenmektedir. Malzemenin, mor ötesi ışıklardan ve oksidasyondan korunması için üreticiler çeşitli önlemler almaktadırlar. Polipropilen liflerinin E-modülü, gerilme altındaki şekil değişikliğine bağlı olarak 1 kN/mm² ile 8 kN/mm² arasında değerler almaktadır. Bu değer, matris malzemesi olan beton ve harçların 20-30 kN/mm² mertebelerindeki E-modülü değerinin çok altında kalmaktadır. Buna rağmen, polipropilen liflerin katılmasıyla çimento bağlayıcılı kompozitlerin özellikle çarpma dayanımı yükselmekte ve tokluğu artmaktadır (NRC 1994; Ersoy 2001; Bhargava 2004; Sawyer 2008; Saçak 2010; Teker 2012).

Polipropilen lif beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması:

Polipropilen elyafları %100 homo-polipropilenden F ve M olarak iki türde üretilmektedir. F-fibrilize elyafları, M-multifilament elyafları temsil etmektedir. Bunlar M tipi elyaflar çok ince olup şap yüzeyinde gözükmeyen iç mekan şapları için iyi sonuçlar verirler. Buna ilaveten F ve M tipi fiberleri sınıflandırma olarak birbirinden ayırt etmek için M tipi polifiberler görünüm olarak ince saç teline benzerler (Şekil 2.1), F tipi polifiberler ise ağ görünümlü liflerdir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. M tipi polifiberler (Polipropilen Elyaf Sanayi ve Dış Ticaret Ltd. Şti., Katalog 2006; Özdemir 2007)



Şekil 2.2. F tipi polifiberler (Polipropilen Elyaf Sanayi ve Dış Ticaret Ltd. Şti.Katalog 2006; Özdemir 2007)

F tipi lifler ise endüstriyel zemin uygulamalarında ve ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranılan şap ve betonlar için daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Çizelge 2.2’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Polipropilen liflerin teknik özellikleri (Anonymous 2012).

Tip	Polipropilen Lifler/Fibrile	Polipropilen Lifler/Multiflament
Polipropilen(%)	100%P	100%P
Kesit Tipi	Karesel	Dairesel
Özgül Yoğunluk	910 kg/m ³	910 kg/m ³
Kalınlık		
Renk	Şeffaf	Şeffaf
Gerilme dayanımı	400-600 N/mm ²	500-700 N/mm ²
Young Modülü	1600-2400 N/mm ²	200-2800 N/mm ²
Uzama	%25	%25
Uzunluk	3-6-9-12-15-19-25-31-38-51	

Polipropilen lifler beton, sıva, şap, alçı, bitüm, prokast ve shotcrete uygulamaları için geliştirilmiş en ideal mikro donatı sistemidir. Saha betonlarında, yürüyüş yollarında, garaj, otopark ve şap betonu uygulamalarında hasır donatının alternatifi olarak kullanılabilirler. Bir petrol türevi olan polipropilen lifler fiziksel ve kimyasal özellikleri dolayısıyla inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan organik malzemeleridir. Çimento ve alçı gibi inorganik hidrolik bağlayıcılar ile bitüm organik bağlayıcıları mikro donatılandırmak ve durabilite özellikleri geliştirmek için kullanılmaktadır. Yapılan laboratuvar ve saha çalışmaları polipropilen lifler kullanımının inşa edilen projelerde yüksek performans sağladığını göstermektedir. Farklı iklim ve çalışma şartları altında polipropilen liflerin kullanımı, ASTM C-1116 standartlarına uygun olarak başarılı sonuçlar vermektedir.

Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak amacıyla kullanılan çürümeyen malzemelerdir. Polimer liflerden betona katılan, en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılan polipropilen liflerdir. Polipropilen lif betonun içinde 3 boyutlu mikro donatı ağ oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik

ve zaafı azaltıp betonun bazı özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Polipropilen lifleri hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir. Metrekare başına ağırlığı 90-200 gram arasında değişmektedir. Bundan dolayı yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler. Polipropilen liflerle ilgili bilgiler polyfibers mikro donatı lifleri için hazırlanmış broşürlerden yararlanılarak aşağıda özetlenmiştir (Anonymous 2012).

- Polipropilen liflerin Özellikler ve Performans Değerleri:

- Plastik betondaki rötre ve büzülme çatlakları azaltır.
- Betonu üç boyutlu olarak donatılandırılır.
- Segregasyonu /ayrışmayı azaltır.
- Betona tokluk kazandırır ve sünek hale gelir.
- Betonun geçirgenliğini azaltır.
- Betonun darbeye karşı dayanıklılığını artırır.
- Betonun basınç ve eğilme mukavemetini artırır.
- Asit ve bazlardan etkilenmez. Degrade olmaz.
- Donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir.
- Betonun dağılmasını ve parçalanmasını önleyerek yapıların depreme karşı dayanıklılığını artırır.
- Betonun tutunganlığını artırır ve kayar kalıplarda betonun şişmesini önler.
- Betonun yorulma dayanım kazandırır ve beton hizmet ömrünü artırır.
- Aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır.
- Yüzey aşınmasını, tozumasını, ufalanmasını ve pullanmasını engeller.

- Polipropilen liflerin Kullanım Alanları:**Saha Betonları ve Şap Uygulamaları:**

Saha betonları ve şap uygulamaları polipropilen liflerin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır. Plastik büzülme, çökme ve rötre çatlamlarını engellerken uygulama alanlarına yüzey aşınma direnci kazandırır; pullanmalar, ufalanmalar ve tozuma ortadan kalkar. Taşıyıcı olarak kullanılmayan hasır donatıların yerine tali donatı olarak kullanılabilir. Böylece donatının korozyon riski olmadığı gibi pas payı gerektirmeden uygulama kolaylığı sağlanarak en ekonomik çözüm elde edilir.

Yapısal Taşıyıcı Betonarme Sistemler:

Prefabrik ve konvansiyonel yapıların kolon ve kiriş gibi iskelet sistemlerinde kullanılan polipropilen lifler etriye sistemi ile paralel çalışarak deprem gibi ani, şiddetli beklenmedik darbe yüklerine karşı yapıların enerji emme kapasitelerini arttırlar. Yapılarda dağılma ve ufalanma ortadan kalkarken, yapılar balistik dayanım kazanmış olurlar.

Tamir ve Yapıştırma Harçları:

İnşaat hataların ortadan kaldırılması için sıkça kullanılan tamir harç ve dolguları polipropilen liflerle mikro donatılandırıldığında, elde edilecek malzemenin tutunganlılığı artacak, büzülme problemleri ve geri düşme riski ortadan kalkacaktır. Tarihi yapıların yenilenmesinde kullanılan özel karışım harçlarda keten, saman, keçi kılı vb. yerine mikro donatı olarak da kullanılabilirler. Polistren levha sistemlerinin mantolama amaçlı kullanımında da aderansı arttırır.

Prefabrik Elemanlar:

Betonarme boru ve kent mobilyaları üretiminde, prekast cephe giydirmeye elemanları, harpušta, denizlik ve söveler gibi prefabrikasyon yapı elemanlarında ortaya çıkan kalıptan çıkarma kırılmalarını, yüzey kalite bozukluklarını, çökme problemlerini ve kür nedeniyle oluşan termal çatlamları polipropilen liflerin kullanımıyla ortadan kaldırmak mümkündür.

Bitimli Karışımlar:

Polipropilen lifler bitim karışımlarda ve asfalt uygulamalarında modifikasyon amaçlı kullanılmaktadır. Bitimli karışımlar düşük sıcaklıklardaki kırılma eğilimi ortadan kaldırmak için hem soğuk hem de sıcak uygulamalarda kullanılabilir. Modifiye edilen asfalt uygulamalarında polipropilen liflerin kullanımının asfaltın aşınma direnci 6 kat arttığı laboratuvar çalışmalarında kanıtlanmıştır.

Püskürtme Beton:

Polipropilen lifler betonun yüzey tutunma kabiliyetini artırarak, yüzeyden geri sekmeyi ve sıçramayı kontrol eder, dolayısıyla püskürtme beton uygulamaların en yüksek maliyet olan geri düşmeyi engeller. Homojen ve sürekli malzeme akışı temin ederek operatörlere uygulama kolaylığı sağlar. Polipropilen lifler her geçişte daha kalın katman beton püskürtülmesini sağlayarak işçilik maliyetini azaltır, imalatı hızlandırır ve şev, düşey ve baş üstü uygulamalarda bel vermeyi ve saçılmayı azaltır.

Polipropilen lifler betona kazandırdığı artı mukavemet özelliği sertleşmiş püskürtme sıvıyı daha dayanıklı ve tokluğu daha yüksek hale getirir. Plastik büzülmenin neden olduğu hacim değişim sonrası oluşan rötre çatlamlarını önlemede etkilidir. Betonun su geçirgenliğini azaltarak gömülü ve yataklanmış metal taşıyıcı bulon, hasır vb. donatı elemanlarını korozyona, paslanmaya ve çürümeye karşı koruyarak yapısal olmayan hasır donatı ihtiyaçlarını ortadan kaldırır. Lifler hat basıncını düşürerek, harç akışının

daimi, düzgün ve kararlı olmasını sağlar; pompalamayı kolaylaştırır (Anonymous, 2008).

2.2. Killer

Killer, doğal olarak kayaların kimyasal ayrışmasından oluşmuş, tabiatta bol miktarda bulunan minerallerdendir. Genellikle 0,002 mm'den daha ince daneli olan killer, yalnızca elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla görülebilir. Kilin içerisinde en çok silisyum oksit, alüminyum oksit bileşikleri bulunur. Geoteknik açıdan killer bazı özelliklerinden (oturma, şişme, vs.) dolayı sorunlu zeminler arasında yer almaktadır. Fakat, killer bu olumsuz yönlerinin yanında düşük hidrolik iletkenlik katsayıları ve adsorpsiyon özelliklerinden dolayı geçirimsizlik elemanı olarak bazı geoteknik uygulamalarında (dolgu barajlarda kil çekirdek, katı atık depolarında kil şilte, vb.) yaygın olarak görülmektedir. Ayrıca, tuğla, kiremit ve seramik yapımı gibi birçok mühendislik alanında da sıklıkla kullanılmaktadırlar (Akbulut 2008).

Çoğu kil mineralleri kayaların fiziksel ve kimyasal olarak taşınması ve parçalanması yolu ile oluşmaktadır. Kaya ve zeminler, fiziksel ve kimyasal yollarla ayrışarak bozunur ve;

- Kaya mineralojisi
- Suyun kimyasal bileşimi
- Suyun kaya içerisindeki ilerleme miktarına bağlı olarak kil mineralleri oluşur (Kalkan 2003).

Kil mineralleri;

1. Silikatlar
2. Metal oksitler - hidroksitler ve oksitler
3. Amorf ve ve alofanlar
4. Kristalli zincir silikatlar

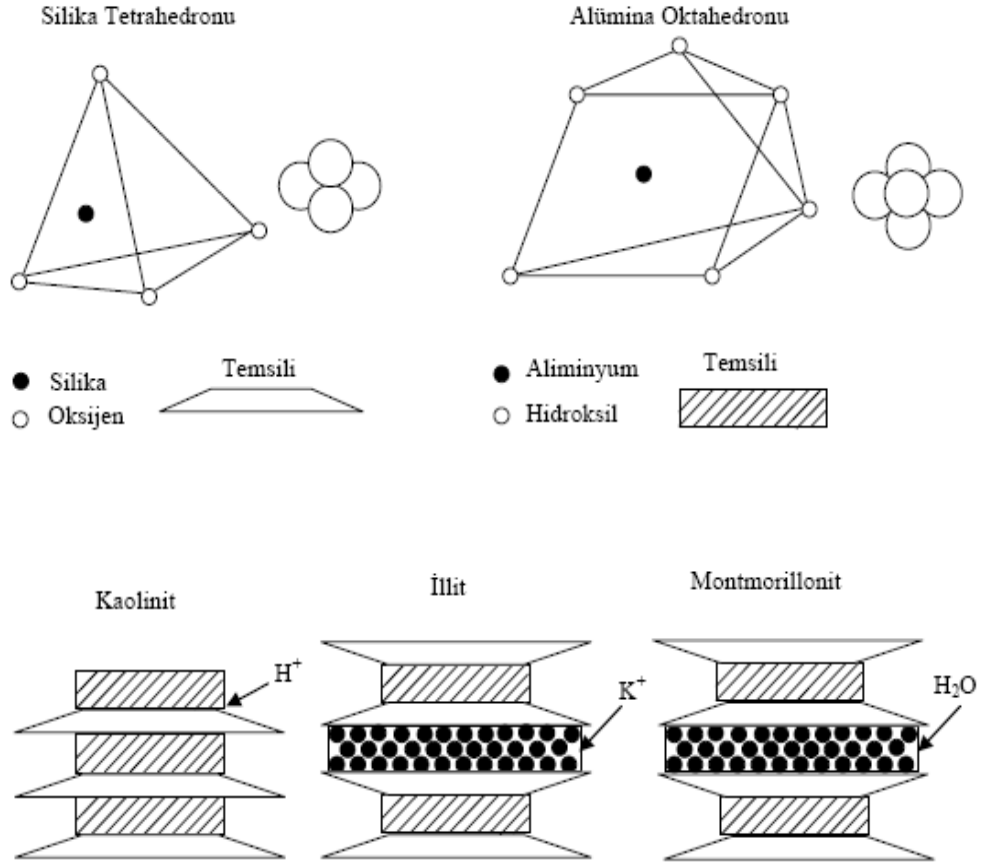
olmak üzere dört ana grupta toplanabilir (Anonymous 2008). Yaygın kil minerallerinin kalınlık, çap ve spesifik yüzey alanları Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Yaygın kil minerallerinin kalınlık, çap ve spesifik yüzey alanları (Holtz and Kovacs 1981).

Mineral	Tipik Kalınlık (nm)	Tipik Çap (nm)	Spesifik Yüzey (km ² /kg)
Montmorillonit	3	100-1000	0,8
İllit	30	10000	0,08
Klorit	30	10000	0,08
Kaolinit	50-2000	300-4000	0,015

Değişik kil minerallerinin yapıları şematik olarak Şekil 2.3’de, minerolojik yapıları itibariyle kimyasal formülleri ise Çizelge 2.4’de verilmiştir. Kaolinitler, 1 silika tabakası ve 1 gipsit tabakasından oluşan ve 1:1 tabaka türüne sahip bir kil mineralidir (Şekil 2.3). Tabakalar arası bağlanma, Van der Waals çekim kuvvetleri ve hidrojen bağlarıyla sağlanır. Kaolinit düşük su tutma kapasitesine sahiptir ve dolayısıyla da şişme potansiyeli düşük bir mineraldir. Bu nedenle, ara tabakada su absorblamaz. (Guerra *et al.* 2008). Montmorillonit, 2 silis ve 1 alumina plakasının oluşturduğu yapı taşının, zayıf su bağları ile bağlanması ile oluşur. Bu yapı taşları arasına su kolayca girerek, montmorillonitin fazla şişmesine neden olur (Uzuner 2007).

Simektitler genellikle volkanoklastik malzemelerin suda çözülmesinden sonra ayrışma ürünü olarak ortaya çıkar. Diğer sedimentler içerisinde ise merccekler biçiminde oluşurlar. Smektit grubu kil mineralleri bir kaç kil minerali içermektedir. Ancak bunların endüstriyel bakımdan en önemlileri sodyum ve kalsiyum montmorillonittir (Grim and Güven 1978).



Şekil 2.3. Değişik kil minerallerinin yapısı (Grim 1959)

İllit/Mika grubu kil mineralleri ise; smektit grubu killerden farklı olarak potasyum içerir (Şekil 2.3). İllit, çoğu kayanın temel bileşenidir. Tetrahedral tabakada bazı Si^{+4} iyonlarının yerini Al^{+3} almış, Oktaedral yapıdaki bazı Al^{+3} iyonları ise Mg^{+2} ya da Fe^{+3} ile yer değiştirmiştir (Akbulut 2008). İllit, şişme açısından, kaolin ve montmorillonit arasında yer alır (Uzuner 2007).

Kil mineralojisi üzerine birçok çalışma mevcuttur. Kil mineralojisinden kilin yada kil mineralinin ideal formülünü yazmak mümkündür. Çizelge 2.4’de bazı kil minerallerinin ideal formülleri ve mineralojileri verilmiştir (Akbulut 2008).

Çizelge 2.4. Kil minerallerinin sınıflandırılması (Konta 1995)

Grup İsmi	Mineraloji	İdeal Formülü
Kaolinit, Serpantinit	Kaolinit	$Al_4[Si_4O_{10}] (OH)_8$
	Halloysit	$Mg_6[Si_4O_{10}] (OH)_8$
Mika	İllit	$K<2Al_3 [(Si>6Al<2) O_{20}] (OH)_4 nH_2O$
Vermikülit	Trioktahedral	$(Mg, Fe^{2+}) [Si> Al_8O_{20}] (OH)_4 nH_2O$
	Vermikülit	
Smektit	Montmorillonit	$M+X+Y(Al,Fe^{2+})_4-Y[(Si_8-X AlX)O_{20}](OH)_4nH_2O$
	Beidellit	$MXAl_4 [(Si_8-X AlX) O_{20}] (OH)_4 nH_2O$
	Natrolit	$M+X Fe^{3+}_4-Y [(Si_8-X AlX) O_{20}](OH)_4 nH_2O$
	Saponit	$M+XMg_6 [(Si_8-X AlX) O_{20}] (OH)_4 nH_2O$
Profillit ve Talk	Profillit	$Al_4[Si_8O_{20}] (OH)_4$
	Talk	$Mg_6[Si_8O_{20}] (OH)_4$
Klorit	Donbassit	$Al_4[Si_8O_{20}] (OH)_4 Al_4 (OH)_{12}$
Paligorskit	Paligorskit	$Mg_5 [Si_8O_{20}] (OH)_2 (OH_2)_4 4H_2O$
Sepiyolit	Sepiyolit	$Mg_8 [Si_{12}O_{30}] (OH)_4 (OH_2)_4 nH_2O$

2.3. Donmuş Zeminler

Dünyanın birçok bölgesinde, kışın hava sıcaklığı genellikle suyun donma noktasının (0^0 C) altına düşer ve uzun süre öyle kalır. Bu durum meydana geldiği zaman, zemin donar. Yazın zeminler ısınır ve donmamış durumlarına döner. Belirli bir yerde, zemin donabileceği en büyük derinlik don nüfuz etme derinliği olarak bilinir. Bu mesafe, ilginç termodinamik probleminin bir bölümü olup; hava sıcaklığı, zamanla değişim, ilk zemin sıcaklığı, zemin ısısal özellikleri ve diğer faktörlerin bir fonksiyonudur. En derin nüfuz derinlikleri, çok soğuk hava sıcakları uzun bir süre sürdürüldüğü zaman elde edilir. Bu yıllık donma-çözülme çevrimleri, temel tasarımında göz önünde bulundurulması gereken özel problemlere yol açar. Donan zeminin başlıca iki sorun görülmektedir.

- Zeminin kışın kabarması,
- Baharda erime ile birlikte taşıma gücünde düşüş,

Bu olumsuzluklardan birisinin görüldüğü zemin donma yönünden sorunlu zemin diye adlandırılmaktadır (Yıldırım 2002).

-Don Kabarması:

Donmuş zeminlerdeki en yaygın temel problemi don kabarmasıdır. Bu olay, zemin donduğu zaman, zemin yükselmesidir. Su donduğu zaman hacmi yaklaşık %9 artar. Bazı don kabarmasının önemli olmasına rağmen, genellikle oldukça uniformdurlar. Bu nedenle nispeten küçük hasara neden olurlar. Ancak, don kabarmasının ikinci ve daha sinsi bir kaynağı vardır. Yeraltı su seviyesi nispeten sığ ise, kapiler etki suyu yukarı donmuş bölgeye çeker ve buz mercceklerini oluşturur. Bazı zeminlerde bu mekanizma büyük su miktarlarını hareket ettirebilir. Bu gibi kabarmalar muhtemelen düzensiz olup; yapılara, kaplamalara ve diğer inşaat mühendisliği yapılarına büyük ölçüde zarar verebilen, engebeli bir zemin yüzeyine yol açar (Mollamahmutoğlu ve Kayabalı 2005).

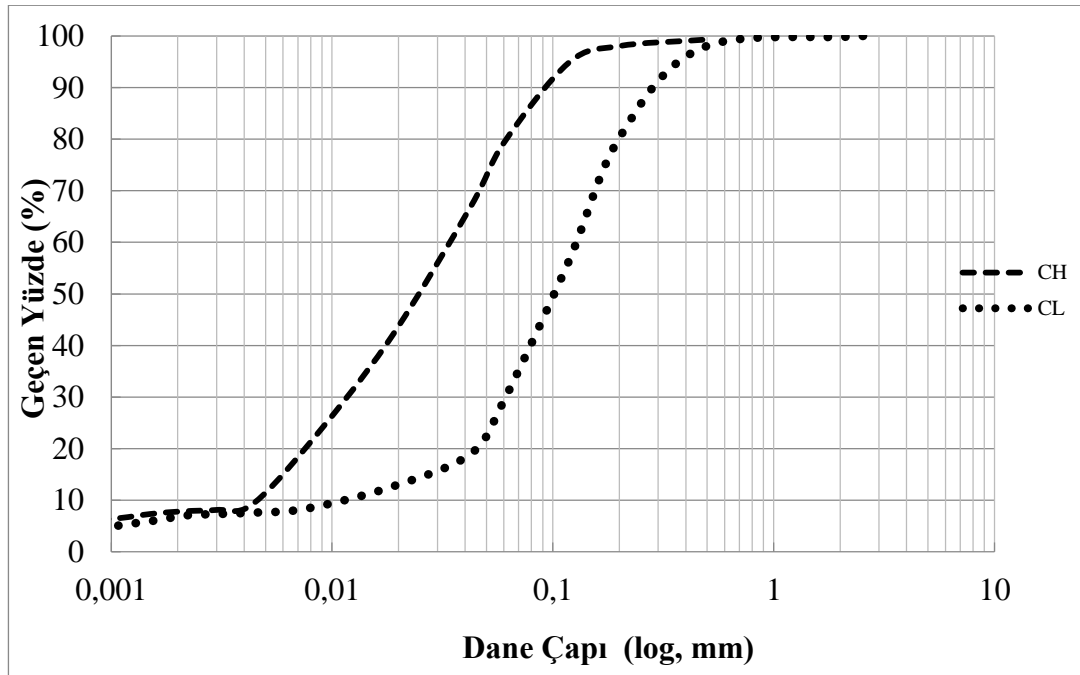
Sıcak mevsimlerde, donma olayının tersine, erime(çözülme) oluşur ve zeminin su muhtevası oldukça yükselir. Su muhtevası yüksek ince taneli zeminlerin taşıma gücü düşük olacağından, özellikle, hareketli yükler altındaki kaplama tabakası hasar görmektedir. Bu olumsuzlukların önüne, drenaj yapılarak (yer altı su düzeyini indirerek) ve kaplama altında, iri taneli bir tabaka oluşturularak (kılcal yükselmeyi önleyerek) geçilebilir (Uzuner 2007).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kil

Çalışmada kullanılan CH kil zemini Oltu-Erzurum ve CL kil zemini Çat – Erzurum yöresinden temin edilmiştir. Araziden alınan Ch ve CL kil zeminleri etüvde 105°C sıcaklığında kurutulup, sonra eleklerden elenerek kullanılmıştır. Kil zeminler, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma sistemine göre düşük plastisiteli kil (CL) ve yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına girmektedir. Killere ait dane çapı dağılımı ve bazı geoteknik özellikleri Atatürk Üniversitesi Meslek Yüksekokul Fakültesi İnşaat Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Araziden alınan CH ve CL kil numunelerine ait dane dağılımı eğrileri Şekil 3.1’de ve belirlenen bazı geoteknik özellikleri ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Arazide alınan CH ve CL Kil numunelerine ait dane çapı dağılım eğrisi

Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan CL ve CH kilinin bazı indeks, kompaksiyon ve mukavemet özellikleri

Özellik	CH	CL
Özgöl Ağırlık, GS	2.67	2.55
Likit Limit, wL (%)	83	42
Plastik Limit, wP (%)	34	21
Plastisite İndisi, IP (%)	49	21
Optimum Su Muhtevası ¹ , w _{opt} (%)	32.7	19.3
Mak. Kuru Birim Hacim Ağırlık ¹ , γ_{kmax} (kN/m ³)	12.8	16.7
Serbest Basınç Mukavemeti, (kPa)	136.3	167.3

1 Standart Proktor deneyinden elde edilmiştir.

2 Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelerden elde edilmiştir.

3 USCS zemin sınıflandırma sistemine göre belirlenmiştir.

3.1.2. Polipropilen lifler

Deneyleerde donatı malzemesi olarak farklı uzunluklarda (3mm, 6mm ve 12mm) “M” tipi polipropilen lifler kullanılmıştır, Polipropilen liflere ait üretici firma tarafından temin edilen fiziksel ve mukavemet özellikler Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Polipropilen liflere ait üretici firma tarafından temin edilen fiziksel ve mukavemet özellikleri

Özellik	Değer
İçerik	% 100 saf Polipropilen
Görünüş	İnce Saç Telli
Uzunluk, (mm)	3-6-12
Çekme Dayanımı, (kPa)	500000-700000
Young Modülü, (GPa)	0.2-2.8
Uzama, (%)	25
Özgöl Yoğunluk, (kN/m ³)	8.92
Renk	Şeffaf
Yumuşama	150 0C
Ergime	160 0C

3.2. Yöntem

3.2.1. Kıvam limit deneyleri

Araziden alınan CH ve CL kil zeminleri kıvam limitleri deneyleri ASTM D 4318 ve TS 1990'e göre uygun olarak yürütülmüştür. İlk önce plastik limiti belirlenmesi için zemin numuneleri cam levha üzerinde avuç içi yuvarlanması ince silindir şekline getirildi, daha sonra bu silindir 3 mm çapında 10 mm boyunda parçalara ayrıldığı anda su muhtevası kil zeminlerin plastik limiti gösterir. Likit Limit değeri ise cassagrande aletiyle 3 noktada çalışması sonucu elde edilmiştir. Likit limitin tayin vuruş sayıları ile bunlara tekabül eden su muhtevaları belirlenmiştir. Üç noktadan geçirilen doğrudan 25 vuruşa denk gelen su muhtevası likit limitdir. CH ve CL kil numunelerine ait plastik limit ve likit limit deneyleri sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.2.2. Elek analizi deneyleri

Deneylerde kullanılan CH ve CL kil zeminleri elek analizi ASTM D 1140'a göre uygun yapıldı. Laboratuvara getirilen kil numuneler 24 saat süre ile $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde kurutulduktan sonra 0.425 mm açıklıklı elekten elendi. Her elek üzerinde kalan malzemeler tartılır ve toplam elekten geçen malzeme yüzdesi dane çapı grafiğe altınır. Pipet yönteminde ise 200 No'lu elekten (0.074mm) geçen zeminden bir miktar alınarak 500 ml'lik cam tüpüne konularak bir süspansiyon hazırlandıktan sonra tanelerin kümeleşmesini (topraklaşmasını) önlemek için katkı malzemesi sodium hexametaphosphate kullanıldı. Her iki numune için CH ve CL zeminler için deneye başlangıçtan sonra, başlangıçtan itibaren belli süreler sonra (1, 2, 4, 8, 15, 30 dakika, 1, 2, 4, 5, 16 ve 24 saat gibi) pipet denilen bir aletle, süspansiyon yüzeyinden itibaren 100 mm derinlikten, 10 ml'lik aletten örnekler alınarak etüvde kurularak kuru kütleler hassas terazide tartıldı. Pipet yöntemi ASTM 422'ye göre yapıldı. (Şekil 3.2 Deneyde kullanılan CH Kil zemine ait pipet yöntemi, CH ve CL kil numunelerine ait dane dağılımı eğrileri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.)



Şekil 3.2. Deneyde kullanılan CH Kil zemine ait pipet yöntemi

3.2.3. Özgül ağırlık deneyleri

Deneylerde kullanılan CH ve CL kil zeminleri Yapılan Özgül Ağırlık Deneyi ASTM D 854'e uygun olarak düzenlendi. Deneyi kısaca anlatırsak ilk önce Deney 100 ml'lik piknometre de gerçekleştirilmiş ve etüvde 20 gr kil numunesi kullanılmıştır. Piknometredeki su kil karışımı 760 mmHg lik emmiş gücüne sahip vakum pompasında 24 saat bekletilmiş ve daha sonra çıkarılıp kurultuktan sonra özgül ağırlığı belirlenmiştir. CH ve CL kil numunelerine ait özgül ağırlık sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.2.4. Serbest basınç mukavemeti deneyleri

Numuneler standart Proktor deneyi ASTM D 698 ve TS 1900'e, serbest basınç mukavemet deneyi ASTM D 2166'ya uygun olarak yürütülmüştür. 38mm çapında ve 76mm yüksekliğinde silindir kalıplardan çıkartılan numuneleri 20 ton kapasiteli (Şekil 3.3) serbest basınç deney aletine yerleştirme işlemi yapılarak ve 0,8 mm/dakika hızında kırılmışlardır. Numuneler her 15 saniyede basınç değerleri dijital yük okuma aparatından okunmalar yapılarak ve bu işlem kırılma anına kadar devam ettirilmiştir. Serbest basınç mukavemetleri 3.1 bağıntısı ile belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Serbest basınç mukavemeti deneylerinde kullanılan SoilTest cihazı

$$q_u = P_{\max} / A_f \quad (3.1)$$

Bağıntıda, P_{\max} : kırılma anındaki basınç değeri, A_f : zemin numunelerinin kırılma anında en kesit alanını ifade etmektedir.

3.2.5. Donma-çözülme deneyleri

Laboratuvara getirilen kil numuneler 24 saat süre ile $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de etüvde kurutulduktan sonra 0.425 mm açıklıklı elekten elendi. Belirlenen orandaki polipropilen lif kuru haldeki zemin ile birlikte karıştırılmıştır. Donatı malzemesi olarak 3mm, 6mm ve 12mm uzunluklarda M tipi polipropilen lif zeminin toplam kuru ağırlığının %0.15, %0.20 ve %0.25 oranlarında ilave edilmiştir. Liflerin topaklanmasını önlemek ve kil içerisinde homojen dağılımını sağlamak için azami özen gösterilmiştir. Kil zeminin optimum su muhtevasını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için ASTM D 698'e uygun olarak kompaksiyon deneyi yapılmıştır.

Kil+polipropilen fiber karışımına su verilerek kap içerisinde karıştırılan numune, proctor kalıbına üç tabaka halinde serilerek sıkıştırma yapılmıştır. Herbir polipropilen

fiber yüzdesi için yapılan proctor deneyi ile kil+polipropilen fiber karışımların max birim hacim ağırlıkları ve optimum su muhtevası belirlenmiştir. Optimum su muhtevası hazırlanmış olan katkılı kilin numune kalıp içerisinde sıkıştırıldıktan sonra kalıp ilave yakası çıkartılmıştır. Daha sonra numuneler hidrolik bir alet yardımıyla çıkarılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

Donma-çözülme deneyleri 110 cm x 55 cm x 55 cm boyutlarında minimum sıcaklığı -25°C maksimum sıcaklığı +60°C olan programlanabilen donma kabininde yürütülmüştür (Şekil 3.4) ve (Şekil 3.5). Bu deneyler hem donatsız hem de donatılı kil zemin numuneleri üzerinde yapılmıştır. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında hazırlanan numuneler su muhtevalarında değişiklik olmaması için alüminyum folyo ile sarılmıştır (Kvárnó and Öygarden 2006). Numunelerin alüminyum folyoya yapışmasını önlemek amacı ile folyo üzerine ince bir film tabakası olacak şekilde vazelin sürülmüştür (Qi *et al.* 2008; Gullu and Hazirbaba 2010). Hazırlanan numuneler 6 saat -20°C ve 6 saat +25°C'de (Ghazavi ve Roustaie, 2010.) (1 çevrim) kalacak şekilde programlanabilir donma kabinine yerleştirilmiştir. Her bir numune için donma-çözülme çevrim sayısı 1, 3, 5 ve 10 olarak belirlenmiştir. Deney süresince numuneler donma kabininden çıkarılmamıştır.



Şekil 3.4. Tam otomatik donma-çözülme kabini

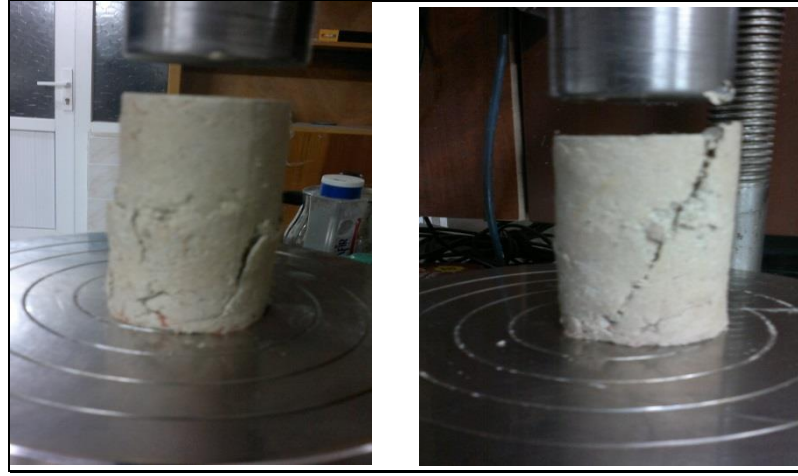


Şekil 3.5. Tam otomatik donma-çözülme kabini

Serbest basınç deneyleri ASTM D 2166'ya uygun olarak yürütülmüştür. Donatılı ve donatısız kil zemin numuneleri yenilme sonrası gerilme-deformasyon davranışını da izleyebilmek için yükleme hızı 0.8 mm/dk. olan deformasyon kontrollü serbest basınç deney aletinde yüklenmiştir. (Şekil 3.6.) Tüm deneylerde sonuçlar üç numunenin ortalaması olarak alınmıştır. Deneylerde 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik numuneler kullanılmıştır. Donatılı ve donatısız numunelere ait serbest basınç deneyi sonrası tipik bir kırılma yüzeyi görüntüsü Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Serbest basınç deney aleti



(a)

(b)

Şekil 3.7. (a) Fiber Katkılı CH kil zemin, (b) Fiber katkısız CH kil zemin



(a)

(b)

Şekil 3.8. (a) Fiber katkılı CL kil zemin, (b) Fiber katkısız CL kil zemin

Donma-çözülme dayanıklılıkları, numunelerin donma-çözülme dane kayıpları yüzdesi olarak alınmıştır. Numunelerin donma-çözülme sonrası dane kaybı (DÇD) yüzde 3.2 bağıntısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Zaimoğlu *et al.* 2012):

Burada;

$$D\text{ÇD}(\%)=(BA-D\text{ÇSA})/BA*100 \quad (3.2)$$

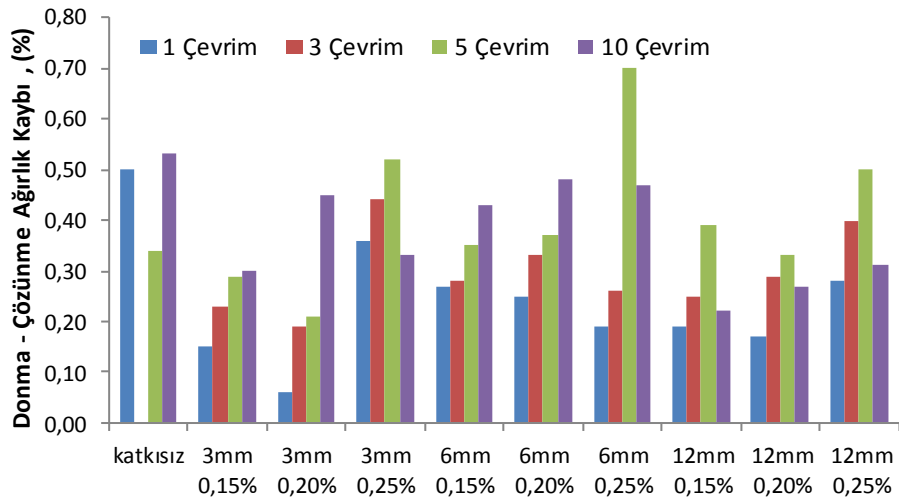
BA: Numunelerin başlangıç ağırlıkları,

DÇSA: Numunelerin donma-çözülme sonrası ağırlıklarını ifade etmektedir.

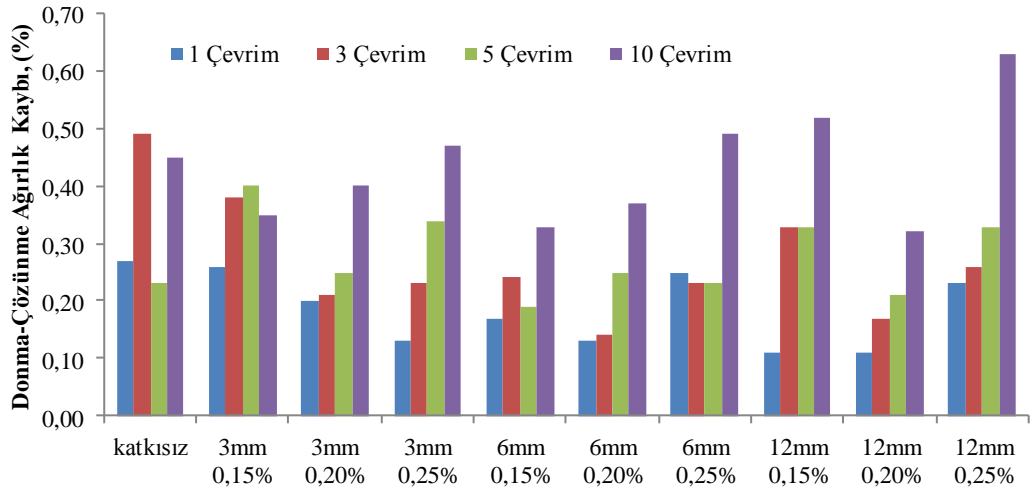


4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Erzurum ili ve çevresinden temin edilen farklı polimer liflerle donatılmış killerin donma ve çözülme sonucu zeminle ilişkilerin belirlenebilmesi için, iki farklı kil zemin plastisiteli kil (CL) ve yüksek plastisiteli kil (CH) sınıflarına farklı uzunluk (3mm, 6mm ve 12 mm) ve yüzdelerde (%0.15, %0.20 ve %0.25) polipropilen fiber ile donatılı ve donatısız kil zemine ait 0, 1, 3, 5 ve 10 donma-çözülme çevrim sonrası elde edilen verilerden yararlanılarak donma-çözülme dane kayıpları 3.2 bağıntısı ile belirlenmiş olup, grafiği Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. CH Zeminin Donatısız ve donatılı zeminlere ait donma-çözülme Ağırlık Kaybı değişimi



Şekil 4.2. CL Zeminin Donatısız ve donatılı zeminlere ait donma-çözülme Ağırlık Kaybı değişimi

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde çevrim sayısının artmasıyla donatılı (düşük yüzde %0.15-%0.20) numunelerde düşük çevrimlerde (1-3-5) donma-çözülme dayanımının genelde azaldığı görülmektedir. Buna kil zeminin optimum su muhtevasının fazla olmasının yol açtığı düşünülmektedir. Bununla birlikte literatürde ince daneli zeminlerin dokusu üzerinde su muhtevasının etkisi olduğu belirtilmektedir (Önalp 2002).

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de %0.25 polipropilen fiber ile donatılı numunelerde ise yüksek çevrimler de (10) donma-çözülme dayanımında artış gözlenmiştir. Uzun polipropilen lifler (12mm) ile donatılı zemin numunelerinin de yüksek çevrimlerde donma-çözülme dayanımı artırıcı yönde etki ettiği görülmektedir. Genel olarak donatılı numunelerin artan çevrim sayısı ile donma-çözülme dayanımlarının azaldığı söylenebilir.

CH kili, farklı uzunluktaki (3mm,6mm ve 12mm) ve yüzdelerdeki (%0.15, %0.20 ve %0.25) lifler ile rastgele donatılmış numunelere ait 0, 1,3 ve 5 ve 10 çevrim sonrası gerilme-deformasyon (σ - ϵ) eğrileri sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3,Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11, Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.14 ve 4.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
43,19	0,53	13,20	0,41	13,20	0,54	20,99	1,03
76,93	0,94	27,59	0,78	17,99	0,86	29,39	1,61
103,47	1,38	41,99	1,22	22,79	1,17	35,39	2,36
117,42	1,80	53,98	1,62	28,19	1,44	38,99	2,98
127,31	2,26	61,18	2,05	31,19	1,77	42,59	3,73
131,36	2,69	67,18	2,46	34,19	2,06	44,99	4,36
134,06	3,15	71,38	2,88	36,59	2,38	46,19	5,04
134,96	3,62	73,78	3,27	39,59	2,69	48,59	5,70
136,76	4,03	76,78	3,69	40,79	3,02	49,79	6,43
136,76	4,48	79,18	4,09	41,99	3,34	51,59	7,11
136,76	4,94	81,58	4,49	44,39	3,66	53,38	7,76
134,51	5,39	83,98	4,90	44,39	3,97	53,98	8,46
134,51	5,86	86,38	5,34	45,59	4,33	55,18	9,17
134,06	6,27	87,57	5,75	45,59	4,61	56,38	9,87
132,71	6,76	88,77	6,14	45,59	4,97	57,58	10,60
131,81	7,20	89,37	6,54	45,59	5,29	58,78	11,27
129,56	7,68	91,77	6,98	46,79	5,62	59,38	11,93
126,41	8,14	92,37	7,40	46,79	6,05	59,98	12,58
124,16	8,61	92,97	7,84	46,79	6,27		
121,91	9,05	94,17	8,23	46,79	6,61		
		95,97	8,64	48,59	6,96		
		95,97	9,05	49,19	7,29		
		97,17	9,44	49,19	7,64		
		98,97	9,91	49,19	7,95		
		98,97	10,39	49,19	8,29		
		98,97	10,78	49,79	8,63		
		99,57	11,22	50,39	8,99		
		100,17	11,64	50,39	9,31		
		101,37	12,05	50,39	9,65		
		101,37	12,49	50,39	9,96		
		100,77	12,89	50,39	10,31		
		101,37	13,33	50,39	10,64		
		103,17	13,76	50,99	11,03		
		103,17	14,22	50,99	11,35		
		102,57	14,69	51,59	11,68		
		102,57	15,04	51,59	12,05		
				51,59	12,40		
				51,59	12,73		
				51,59	13,07		
				51,59	13,37		
				50,99	13,73		
				50,99	14,11		

Çizelge 4.2. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
22,19	0,57	7,80	0,70	7,20	0,92	4,80	72
32,99	0,96	10,20	1,01	9,60	1,44	8,40	115
44,39	1,42	15,00	1,37	12,60	2,03	12,60	162
53,38	1,80	17,99	1,61	14,40	2,51	15,60	205
58,78	2,25	21,59	2,02	15,60	3,11	20,39	256
64,18	2,65	22,79	2,34	16,80	3,64	23,39	302
67,78	3,07	25,79	2,69	17,99	4,26	26,39	346
68,98	3,49	28,19	3,04	17,99	4,76	28,79	393
70,78	3,92	29,39	3,38	18,59	5,35	29,99	440
73,18	4,34	29,99	3,74	18,59	5,90	31,19	489
71,98	4,78	30,59	4,06	18,59	6,49	32,39	536
73,18	5,17	31,79	4,37	18,59	7,04	32,99	587
72,58	5,62	32,39	4,76	19,19	7,59	32,99	638
71,38	6,00	32,99	5,10	19,19	8,05	33,59	679
68,98	6,49	32,99	5,46	19,79	8,69	33,59	726
67,18	6,94	32,99	5,83	20,39	9,27	33,59	774
65,98	7,34	32,99	6,19	20,39	9,96	33,59	825
61,78	7,77	32,39	6,54	20,39	10,41	34,79	903
59,38	8,20	32,99	6,90	20,39	11,05	34,79	952
57,58	8,64	32,99	7,26	20,99	11,64	34,79	997
		33,59	7,63	20,99	12,19	35,39	1047
		33,59	7,96	20,99	12,77	35,39	1096
		33,59	8,33	21,59	13,37	35,39	1141
		32,99	8,71	21,59	13,93	35,99	1186
		32,99	9,09	21,59	14,92	35,99	1238
		32,39	9,43	21,59	15,48	35,99	1284
		31,19	9,80	21,59	16,08	36,59	1335
		31,19	10,21	21,59	16,64	36,59	1380
				21,59	17,27	37,79	1429
				21,59	17,79	37,79	1478
				21,59	18,39	37,79	1523
				20,39	18,96	37,79	1570
				20,39	19,62	37,79	1623
				20,39	20,11	37,79	1671
						37,79	1717
						37,79	1763
						37,79	1814
						37,79	1866
						37,79	1910
						37,79	1958
						37,79	2009

Çizelge 4.3. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
16,20	0,46	12,60	0,95	8,40	1,41	8,10	1,44
21,59	0,74	16,80	1,42	12,00	1,89	13,50	2,07
27,59	1,01	20,99	1,88	15,60	2,46	17,10	2,70
32,39	1,29	24,59	2,29	15,60	2,95	20,69	3,28
37,79	1,61	28,19	2,82	19,19	3,50	24,29	3,93
41,99	1,89	29,99	3,26	20,99	4,01	26,99	4,54
46,19	2,19	33,59	3,77	22,79	4,55	28,79	5,18
50,39	2,48	35,39	4,19	24,59	5,07	29,69	5,86
52,78	2,79	35,99	4,65	24,59	5,66	29,69	6,51
55,78	3,08	37,79	5,11	24,59	6,18	29,69	7,11
56,98	3,39	38,39	5,61	24,59	6,72	29,69	7,72
58,78	3,67	38,39	6,08	24,59	7,26	29,69	8,41
58,78	3,97	38,39	6,55	24,59	7,85	29,69	9,03
58,78	4,27	38,39	7,04	24,59	8,36	29,69	9,66
56,98	4,61	38,39	7,50	24,59	8,95	27,89	10,35
53,38	4,90	38,39	7,98	23,39	9,45		
53,38	5,20	38,39	8,50	23,39	10,01		
50,39	5,53	38,39	8,93	23,39	10,59		
		38,39	10,31				
		37,79	10,79				
		37,19	11,28				
		36,59	11,73				
		36,59	12,24				
		36,59	12,69				

Çizelge 4.4. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
15,30	0,41	9,00	1,11	7,20	1,26	9,60	1,22
19,79	0,68	12,60	1,43	9,60	1,71	13,20	1,81
24,29	0,96	13,80	1,75	12,60	2,17	16,80	2,35
27,89	1,22	17,39	2,07	13,80	2,65	20,39	2,95
31,49	2,14	19,79	2,41	16,80	3,14	22,79	3,61
35,09	2,49	22,79	2,67	18,59	3,63	23,99	4,19
36,89	2,72	24,59	3,03	20,39	4,13	26,39	4,80
38,69	2,96	26,99	3,33	21,59	4,60	27,59	5,38
40,49	3,26	29,39	3,67	22,79	5,14	27,59	6,00
42,29	3,51	30,59	4,00	22,79	5,65	28,19	6,58
42,29	3,82	32,99	4,35	23,39	6,14	28,79	7,21
43,19	4,06	34,19	4,65	23,39	6,66	28,79	7,82
42,29	4,36	34,19	5,00	23,39	7,16	28,79	8,42
41,39	4,62	35,39	5,32	23,99	7,66	28,79	9,02
43,19	4,89	35,39	5,67	23,99	8,17	28,79	9,62
43,19	5,16	35,99	5,99	23,99	8,66	28,79	10,22
43,19	5,47	36,59	6,36	23,39	9,13		
43,19	5,74	35,99	6,69	23,39	9,68		
43,19	6,05	36,59	7,03				
42,29	6,34	35,99	7,34				
39,59	6,64	35,99	7,75				
38,69	6,89						
36,89	7,20						
33,29	7,48						

Çizelge 4.5. %0.15 fiber ile donatılandırılmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatsız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
14,40	0,41	18,89	1,30	8,40	1,41	8,10	1,44
16,20	0,63	23,39	1,64	12,00	1,89	13,50	2,07
17,99	0,95	26,99	1,96	15,60	2,46	17,10	2,70
17,99	1,21	31,49	2,30	15,60	2,95	20,69	3,28
17,99	1,47	34,19	2,63	19,19	3,50	24,29	3,93
16,20	1,76	35,99	3,01	20,99	4,01	26,99	4,54
16,20	2,04	38,69	3,34	22,79	4,55	28,79	5,18
12,60	2,30	41,39	3,70	24,59	5,07	29,69	5,86
12,60	2,54	42,29	4,10	24,59	5,66	29,69	6,51
12,60	2,86	43,19	4,45	24,59	6,18	29,69	7,11
9,00	3,13	44,09	4,78	24,59	6,72	29,69	7,72
9,00	3,47	44,09	5,18	24,59	7,26	29,69	8,41
		44,09	5,55	24,59	7,85	29,69	9,03
		44,09	5,91	24,59	8,36	29,69	9,66
		44,09	6,30	24,59	8,95	27,89	10,35
		44,09	6,68	23,39	9,45		
		44,09	7,04	23,39	10,01		
		42,29	7,42	23,39	10,59		
		41,39	7,82				

Çizelge 4.6. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
43,19	0,53	21,59	0,52	13,20	0,68	22,79	1,09
76,93	0,94	38,99	1,02	19,19	1,12	30,59	1,71
103,47	1,38	52,18	1,57	24,59	1,57	35,99	2,43
117,42	1,80	60,58	2,05	29,39	2,00	38,99	3,14
127,31	2,26	65,98	2,61	32,39	2,49	41,99	3,79
131,36	2,69	70,18	3,11	35,99	2,94	42,59	4,51
134,06	3,15	71,38	3,65	38,39	3,42	45,59	5,24
134,96	3,62	74,98	4,15	40,79	3,90	46,19	5,88
136,76	4,03	76,18	4,71	41,39	4,19	47,99	6,68
136,76	4,48	77,98	5,21	44,39	4,64	48,59	7,42
136,76	4,94	79,18	5,75	44,39	5,13	49,79	8,13
134,51	5,39	81,58	6,27	44,99	5,61	52,18	8,76
134,51	5,86	81,58	6,78	46,19	6,09	52,18	9,52
134,06	6,27	82,78	7,35	47,99	6,54	52,78	10,35
132,71	6,76	83,98	7,80	47,99	7,01	52,78	10,98
131,81	7,20	84,58	8,37	49,19	7,49	53,38	11,62
129,56	7,68	86,38	8,93	49,19	7,98		
126,41	8,14	86,97	9,46	49,79	8,46		
124,16	8,61	86,97	9,99	50,39	8,95		
121,91	9,05	88,17	10,55	52,18	9,40		
		88,17	11,07	52,78	9,92		
		89,37	11,60	52,78	10,37		
		89,97	12,12	52,78	10,87		
		90,57	12,65	52,78	11,35		
		90,57	13,18	54,58	11,80		
		90,57	13,71	55,18	12,33		
		91,17	14,32	56,38	12,80		
		90,57	15,28	56,38	13,28		
		88,77	15,78	56,38	13,74		
		88,77	16,33	56,38	14,25		
		89,37	16,91	56,38	14,72		
		89,37	17,42	57,58	15,26		
				58,78	15,73		
				59,98	16,23		
				59,98	16,69		
				59,98	17,17		
				59,98	17,67		
				59,98	18,17		
				60,58	18,67		
				61,18	19,18		

Çizelge 4.7. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
22,19	0,57	6,00	0,84	7,20	0,98	7,80	0,93
32,99	0,96	10,20	1,23	10,20	1,57	11,40	1,53
44,39	1,42	13,80	1,65	13,20	2,13	15,00	2,15
53,38	1,80	16,80	2,04	15,00	2,64	17,99	2,73
58,78	2,25	20,99	2,48	18,59	3,29	20,99	3,39
64,18	2,65	23,99	2,89	19,79	3,88	22,79	4,00
67,78	3,07	25,79	3,32	22,19	4,50	24,59	4,63
68,98	3,49	29,39	3,73	22,19	5,10	25,19	5,26
70,78	3,92	29,39	4,18	22,79	5,75	26,39	5,90
73,18	4,34	31,79	4,62	22,79	6,29	26,39	6,52
71,98	4,78	32,99	5,06	23,39	6,91	27,59	7,18
73,18	5,17	33,59	5,48	25,19	7,50	27,59	7,78
72,58	5,62	33,59	5,93	25,19	8,16	28,79	8,39
71,38	6,00	34,79	6,35	25,79	8,77	28,79	9,02
68,98	6,49	35,39	6,80	26,39	9,39	28,79	9,65
67,18	6,94	35,39	7,25	26,39	9,93	28,79	10,24
65,98	7,34	35,39	7,72	26,39	10,59	28,79	10,93
61,78	7,77	35,39	8,15	26,99	11,23	28,79	11,56
59,38	8,20	35,39	8,60	26,99	11,80	28,79	12,19
57,58	8,64	35,39	9,02	27,59	12,43	29,99	12,81
		35,39	9,51	28,19	13,06	30,59	13,49
		35,39	9,99	28,19	13,67	30,59	14,17
		35,39	10,39	28,19	14,29	30,59	14,83
		35,39	10,81	28,19	15,35	31,19	15,36
		34,79	11,32	28,79	15,95	31,19	15,99
		34,79	11,74	28,79	16,58	31,19	16,61
		34,79	12,17	28,79	17,18	31,19	17,23
		32,39	12,62	28,79	17,78	31,19	17,88
		31,79	13,11	28,79	18,44	31,19	18,54
				29,39	19,04	31,19	19,09
				29,39	19,67	31,79	19,78
				28,79	20,31	32,39	20,42
				28,79	20,92	32,39	21,07
				28,79	21,53	32,99	21,72
						32,99	22,35
						32,99	22,98
						32,99	23,64
						32,99	24,28
						32,99	24,85

Çizelge 4.8. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
16,20	0,46	7,20	1,01	8,40	1,07	5,40	1,14
21,59	0,74	10,80	1,54	12,00	1,59	9,00	1,76
27,59	1,01	14,40	2,02	15,60	2,24	12,00	2,42
32,39	1,29	17,99	2,57	19,19	2,83	14,40	3,10
37,79	1,61	20,39	3,10	22,79	3,47	16,80	3,79
41,99	1,89	22,19	3,61	25,19	4,10	18,59	4,46
46,19	2,19	22,79	4,11	26,99	4,66	19,79	5,15
50,39	2,48	24,59	4,66	27,59	5,27	20,39	5,85
52,78	2,79	26,99	5,22	28,79	5,91	21,59	6,53
55,78	3,08	27,59	5,77	29,39	6,53	22,19	7,19
56,98	3,39	27,59	6,28	29,99	7,13	22,79	7,89
58,78	3,67	28,19	6,81	29,39	7,78	23,39	8,58
58,78	3,97	28,79	7,34	29,99	8,42	23,39	9,25
58,78	4,27	29,99	7,85	29,39	8,98	23,39	9,97
56,98	4,61	29,39	8,43	29,39	9,58	23,99	10,68
53,38	4,90	29,39	8,90	28,79	10,24	23,99	11,28
53,38	5,20	29,39	9,47	28,79	10,89	23,99	12,01
50,39	5,53	29,39	10,05				
		29,39	10,50				
		29,39	11,10				
		29,39	11,68				

Çizelge 4.9. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
15,30	0,41	10,20	1,17	9,60	1,22	7,80	1,26
19,79	0,68	12,60	1,52	12,60	1,73	12,00	1,88
24,29	0,96	15,60	1,92	16,80	2,28	15,60	2,48
27,89	1,22	18,59	2,29	19,19	2,83	19,19	3,05
31,49	2,14	21,59	2,68	22,79	3,33	22,19	3,68
35,09	2,49	23,99	3,06	24,59	3,86	25,19	4,28
36,89	2,72	25,19	3,46	25,79	4,42	27,59	4,95
38,69	2,96	26,39	3,83	26,39	4,96	28,79	5,52
40,49	3,26	28,19	4,25	27,59	5,51	28,79	6,18
42,29	3,51	28,19	4,64	27,59	6,04	29,39	6,79
42,29	3,82	29,39	5,06	27,59	6,57	29,39	7,38
43,19	4,06	30,59	5,42	27,59	7,15	29,39	8,01
42,29	4,36	30,59	5,82	26,99	7,64	29,99	8,70
41,39	4,62	29,99	6,24	26,99	8,21	29,99	9,30
43,19	4,89	30,59	6,65	26,99	8,75	29,99	9,92
43,19	5,16	30,59	7,04	25,79	9,27	29,99	10,54
43,19	5,47	30,59	7,48			29,99	11,18
43,19	5,74						
43,19	6,05						
42,29	6,34						
39,59	6,64						
38,69	6,89						
36,89	7,20						
33,29	7,48						

Çizelge 4.10. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
14,40	0,41	7,80	1,31	9,00	1,43	11,40	1,41
16,20	0,63	10,80	1,70	13,20	1,91	15,00	2,06
17,99	0,95	13,20	2,14	15,60	2,50	20,99	2,74
17,99	1,21	16,20	2,57	17,99	3,03	23,99	3,34
17,99	1,47	19,79	3,01	20,39	3,60	26,39	4,03
16,20	1,76	21,59	3,42	21,59	4,16	28,19	4,66
16,20	2,04	23,99	3,89	22,19	4,71	29,99	5,33
12,60	2,30	25,79	4,31	22,19	5,31	29,99	5,99
12,60	2,54	27,59	4,76	22,19	5,89	30,59	6,67
12,60	2,86	28,79	5,19	22,79	6,46	30,59	7,30
9,00	3,13	31,19	5,64	22,79	7,07	30,59	8,00
9,00	3,47	31,79	6,04			30,59	8,65
		31,79	6,56			30,59	9,34
		31,79	6,99			30,59	9,96
		31,79	7,41			29,99	10,64
		31,79	7,87				
		31,79	8,36				
		30,59	8,80				
		29,39	9,25				
		28,19	9,69				

Çizelge 4.11. %0.25 fiber ile donatılmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
43,19	0,53	10,20	0,62	10,80	0,79	19,79	1,13
76,93	0,94	16,20	1,18	18,59	1,34	26,39	1,77
103,47	1,38	20,99	1,80	22,19	1,90	31,19	2,46
117,42	1,80	24,59	2,38	26,39	2,46	33,59	3,19
127,31	2,26	26,39	3,00	29,99	2,94	35,99	3,94
131,36	2,69	28,19	3,51	31,19	3,58	37,19	4,62
134,06	3,15	30,59	4,20	32,99	4,16	38,99	5,36
134,96	3,62	30,59	4,79	34,19	4,70	41,39	6,07
136,76	4,03	32,99	5,39	35,39	5,30	41,99	6,89
136,76	4,48	33,59	5,96	35,39	5,88	43,19	7,60
136,76	4,94	35,99	6,64	37,79	6,46	45,59	8,29
134,51	5,39	36,59	7,19	37,79	7,04	45,59	9,03
134,51	5,86	37,19	7,79	37,79	7,61	46,19	9,76
134,06	6,27	37,79	8,38	38,39	8,16	47,99	10,53
132,71	6,76	38,39	9,02	40,19	8,77	49,19	11,23
131,81	7,20	39,59	9,62	40,19	9,36	49,19	11,96
129,56	7,68	40,19	10,39	40,19	9,95	50,39	13,16
126,41	8,14	40,19	10,89	40,79	10,51	50,99	13,88
124,16	8,61	40,19	11,42	41,99	11,14		
121,91	9,05	40,79	12,02	42,59	11,67		
		41,99	12,62	42,59	12,27		
		41,99	13,27	43,19	12,88		
		41,99	13,86	44,39	13,45		
		42,59	14,44	44,99	14,03		
		42,59	15,12	46,19	14,58		
		42,59	15,73	46,19	15,21		
		43,19	16,33	46,19	15,83		
		43,19	16,93	46,79	16,43		
		43,79	17,58	47,39	17,19		
		43,79	18,15	47,39	17,72		
		43,79	18,78	47,39	18,22		
		44,39	19,36	47,99	18,74		
		42,59	19,99	48,59	19,39		
		42,59	20,60	48,59	19,99		
		42,59	21,24	49,79	20,55		
				49,79	21,12		
				50,39	21,71		
				50,99	22,33		
				51,59	22,92		
				51,59	23,51		

Çizelge 4.12. %0.25 fiber ile donatılandırılmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
22,19	0,57	4,80	0,88	7,20	1,04	3,60	0,81
32,99	0,96	7,20	1,37	10,20	1,64	5,40	1,07
44,39	1,42	10,80	1,85	13,20	2,32	7,20	1,37
53,38	1,80	12,60	2,34	15,00	2,86	9,00	1,61
58,78	2,25	15,60	2,81	18,59	3,53	10,80	1,88
64,18	2,65	16,20	3,26	19,19	4,14	10,80	2,14
67,78	3,07	17,99	3,77	20,99	4,81	14,40	2,43
68,98	3,49	19,19	4,29	22,79	5,47	15,00	2,70
70,78	3,92	19,79	4,82	22,79	6,17	17,99	2,97
73,18	4,34	20,39	5,27	24,59	6,82	18,59	3,25
71,98	4,78	20,39	5,78	24,59	7,48	19,79	3,58
73,18	5,17	20,39	6,25	24,59	8,08	21,59	3,87
72,58	5,62	20,39	6,79	25,79	8,80	23,39	4,14
71,38	6,00	20,39	7,32	26,39	9,48	23,39	4,41
68,98	6,49	20,39	7,93	26,39	10,10	23,99	4,71
67,18	6,94	20,39	8,39	26,99	10,77	25,79	4,99
65,98	7,34	20,39	8,88	27,59	11,45	25,79	5,25
61,78	7,77	20,39	9,40	28,19	12,11	25,79	5,57
59,38	8,20	20,39	9,89	28,19	12,78	26,99	5,88
57,58	8,64	20,39	10,40	28,19	13,43	26,99	6,18
		19,79	10,97	28,19	14,08	26,99	6,50
		19,79	11,47	29,39	14,75	26,99	6,76
		19,19	11,93	29,39	15,41	26,99	7,09
		19,19	12,43	29,39	16,05	26,99	7,39
		17,99	12,94	29,39	16,74	26,99	7,66
				29,99	17,43	26,99	7,95
				29,99	18,14	26,99	8,28
				30,59	18,77	26,99	8,63
				31,19	19,58	27,59	8,93
				31,19	20,18	27,59	9,24
				31,79	20,75	27,59	9,49
				32,99	21,40	27,59	9,84
				33,59	22,11	27,59	10,13
				33,59	22,73	27,59	10,48
				33,59	23,43	27,59	10,75
				33,59	24,10	28,79	11,02
				33,59	24,77	29,39	11,34
				34,19	25,44	29,39	11,67
				34,19	26,18	29,39	11,97
				34,19	26,81	30,59	12,30

Çizelge 4.13. %0.25 fiber ile donatılmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
16,20	0,46	6,60	1,04	6,60	1,13	7,80	1,15
21,59	0,74	10,20	1,55	10,20	1,67	10,80	1,82
27,59	1,01	13,20	2,11	13,80	2,34	13,20	2,42
32,39	1,29	15,60	2,67	17,39	2,95	16,20	3,08
37,79	1,61	18,59	3,28	19,79	3,68	18,59	3,82
41,99	1,89	20,39	3,76	22,19	4,23	20,39	4,53
46,19	2,19	22,79	4,35	23,99	4,87	22,19	5,22
50,39	2,48	23,99	4,93	25,79	5,54	23,39	5,91
52,78	2,79	23,99	5,50	26,39	6,21	24,59	6,58
55,78	3,08	24,59	6,07	27,59	6,83	25,79	7,25
56,98	3,39	25,19	6,69	27,59	7,57	25,79	8,03
58,78	3,67	24,59	7,24	28,79	8,13	25,79	8,69
58,78	3,97	23,39	7,82	28,79	8,82	25,79	9,42
58,78	4,27	22,79	8,36	28,79	9,45	25,79	10,14
56,98	4,61	22,19	8,95	28,79	10,10	25,79	10,88
53,38	4,90			28,79	10,75	25,79	11,58
53,38	5,20			28,79	11,41	26,39	12,24
50,39	5,53			28,79	12,02		
				28,79	12,71		
				28,19	13,36		

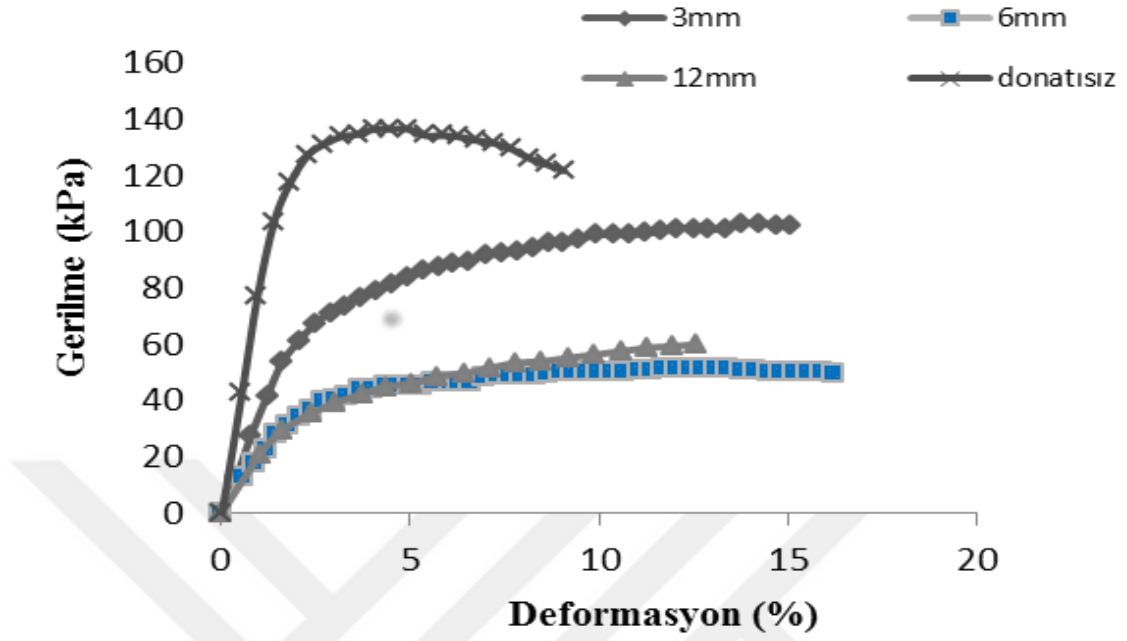
Çizelge 4.14. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CH zeminin 5 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değęerleri

Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
15,30	0,41	6,00	1,24	6,00	1,21	7,20	1,30
19,79	0,68	8,40	1,67	9,00	1,76	10,80	1,87
24,29	0,96	10,20	2,07	11,40	2,33	15,00	2,52
27,89	1,22	13,20	2,46	13,80	2,89	17,99	3,12
31,49	2,14	15,00	2,93	16,80	3,46	21,59	3,76
35,09	2,49	17,99	3,39	17,99	4,05	23,39	4,37
36,89	2,72	19,79	3,83	19,19	4,59	25,19	4,99
38,69	2,96	22,19	4,26	19,79	5,14	25,79	5,60
40,49	3,26	24,59	4,75	20,39	5,79	26,99	6,22
42,29	3,51	25,79	5,18	20,99	6,33	27,59	6,84
42,29	3,82	26,39	5,61	21,59	6,93	27,59	7,51
43,19	4,06	27,59	6,07	22,19	7,46	27,59	8,12
42,29	4,36	27,59	6,60	22,79	8,07	28,79	8,80
41,39	4,62	27,59	7,06	22,79	8,61	28,79	9,44
43,19	4,89	25,19	7,54	22,19	9,17	28,79	10,04
43,19	5,16	23,39	7,96	22,79	9,75	28,79	10,68
43,19	5,47	22,79	8,41	22,79	10,35	28,79	11,32
43,19	5,74						
43,19	6,05						
42,29	6,34						
39,59	6,64						
38,69	6,89						
36,89	7,20						
33,29	7,48						

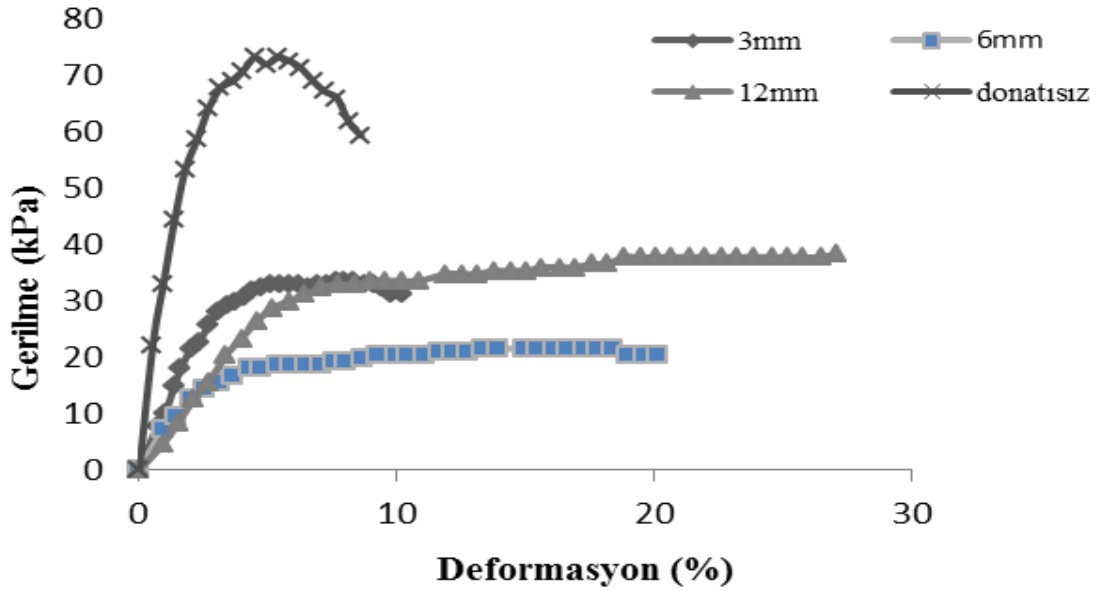
Çizelge 4.15. %0.25 fiber ile donatılandırılmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
14,40	0,41	6,00	1,38	10,80	1,45	10,20	1,44
16,20	0,63	8,40	1,83	14,40	2,03	17,39	2,11
17,99	0,95	10,20	2,30	17,99	2,59	22,19	2,77
17,99	1,21	13,20	2,79	21,59	3,18	25,19	3,38
17,99	1,47	15,60	3,28	24,29	3,76	28,19	4,11
16,20	1,76	19,19	3,77	26,99	4,36	29,39	4,75
16,20	2,04	22,19	4,31	26,99	5,01	31,79	5,42
12,60	2,30	23,99	4,79	28,79	5,61	32,39	6,03
12,60	2,54	25,19	5,28	29,69	6,20	32,99	6,76
12,60	2,86	26,99	5,75	29,69	6,84	33,59	7,42
9,00	3,13	27,59	6,26	29,69	7,40	34,19	8,10
9,00	3,47	27,59	6,73	29,69	8,05	34,19	8,75
		27,59	7,27	28,79	8,66	34,19	9,46
		26,99	7,76	27,89	9,26	34,19	10,15
		26,99	8,27	26,99	9,89	34,19	10,83
		26,39	8,72				
		25,19	9,27				

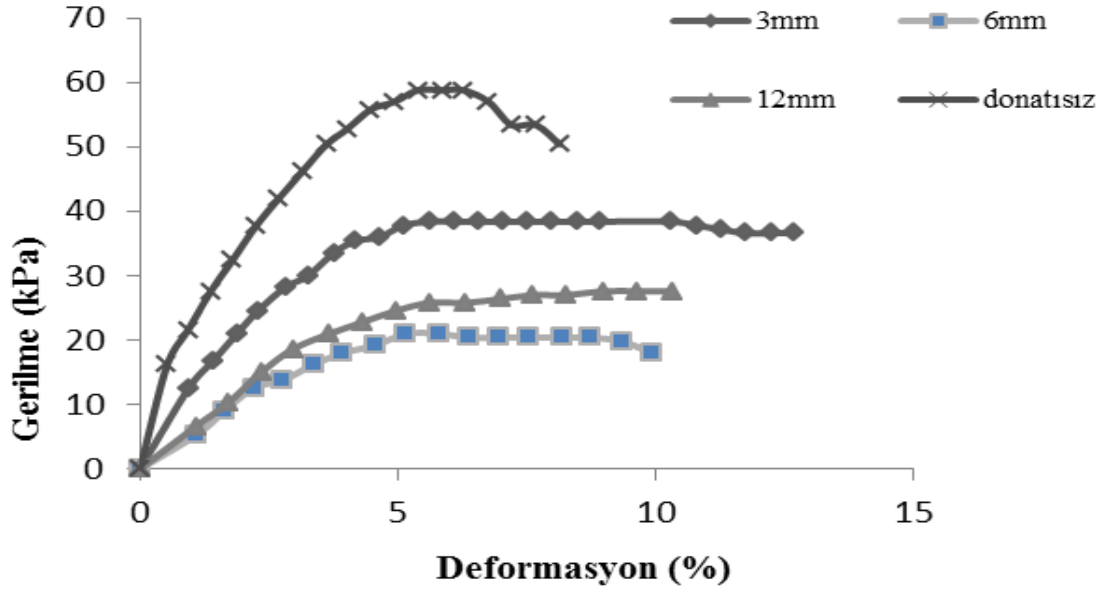
CH kili, farklı uzunluktaki (3mm, 6mm ve 12mm) ve yüzdelerdeki (%0.15, %0.20 ve %0.25) lifler ile rastgele donatılandırılmış numunelere ait 0, 1,3 ve 5 ve 10 çevrim sonrası gerilme-deformasyon (σ - ϵ) eğrileri sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.1 ve 4.17’de gösterilmiştir. CH killerinde donma-çözülme çevrim sayısı arttıkça donma-çözülme dayanımı genellikle azalma gösterdiği görülmüştür.



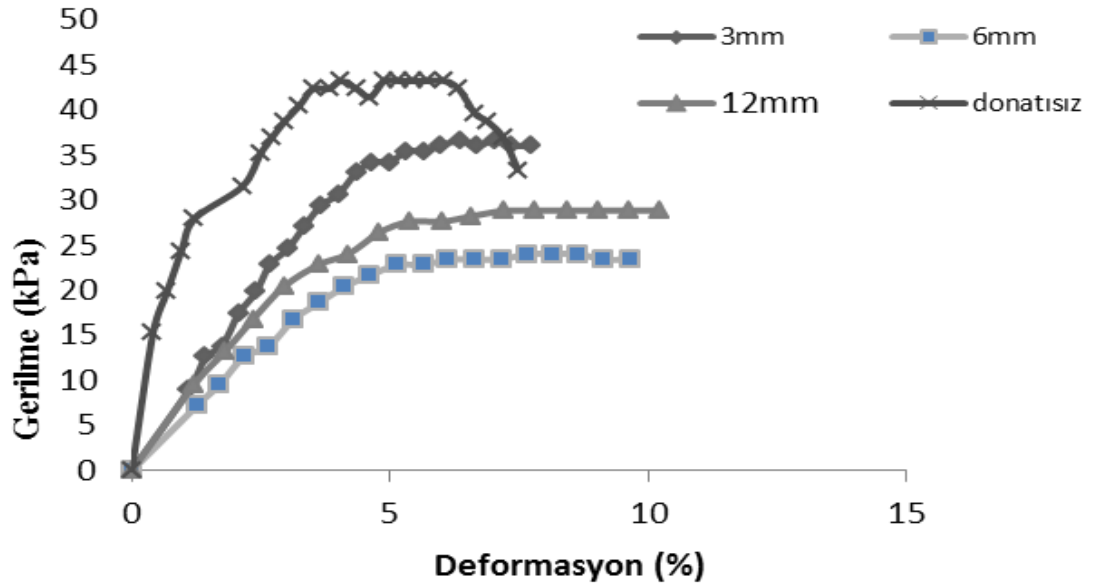
Şekil 4.3. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



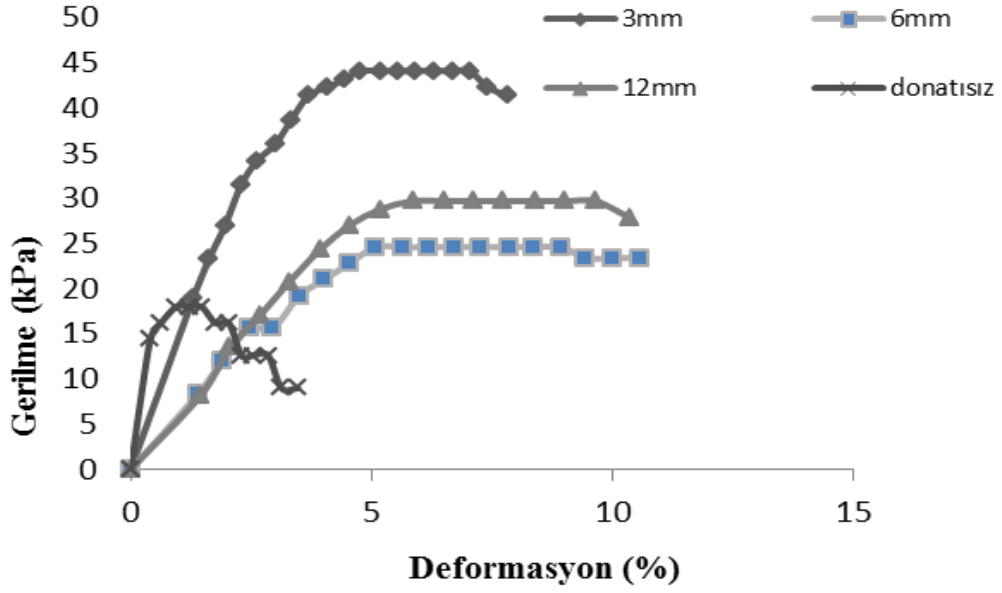
Şekil 4.4. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



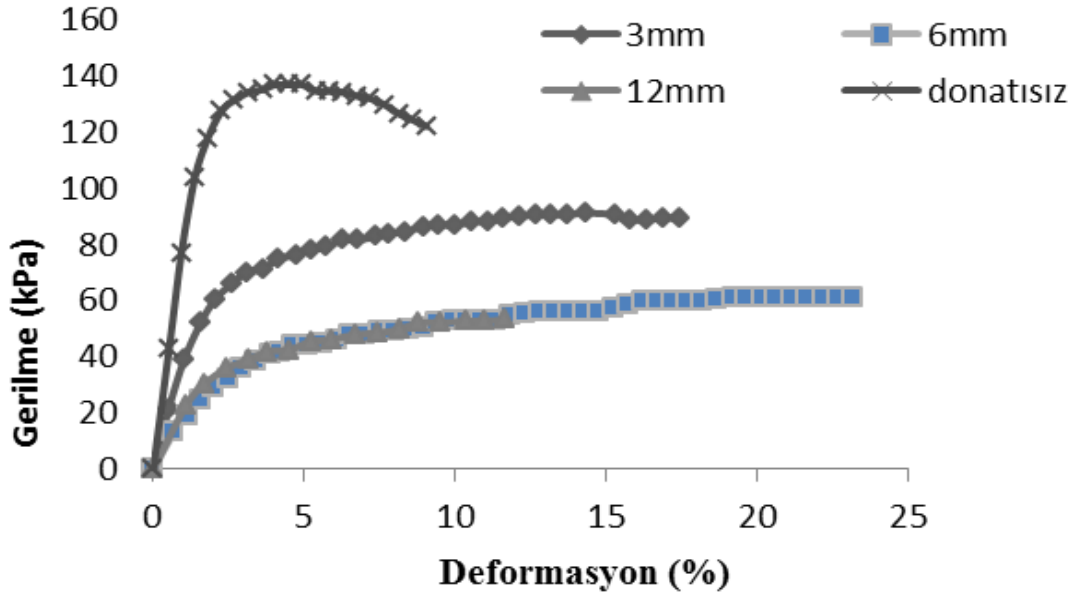
Şekil 4.5. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



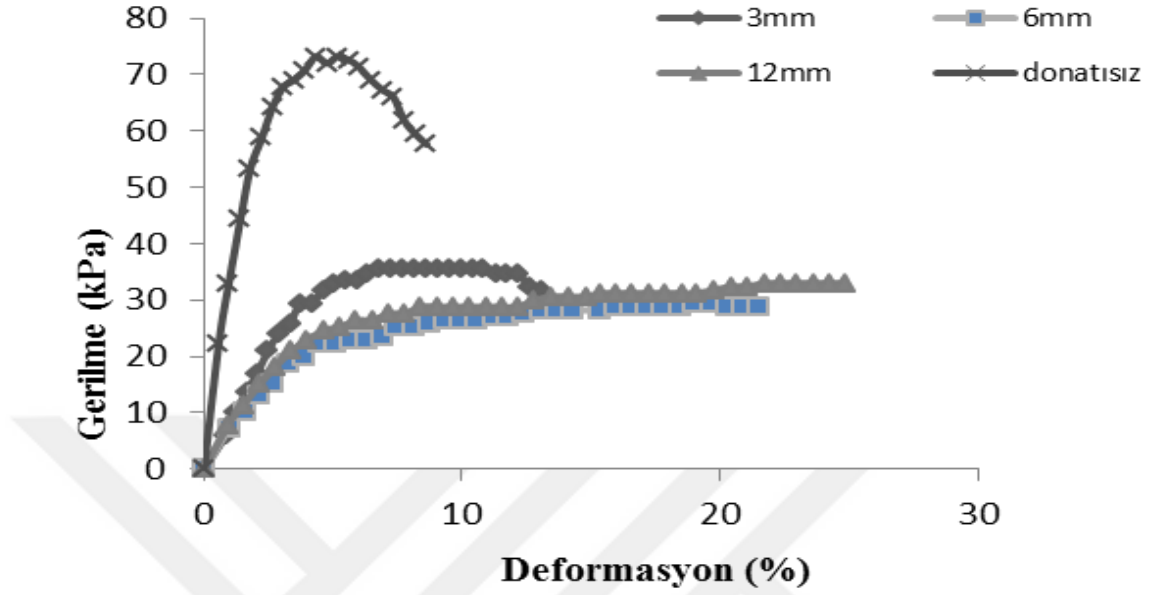
Şekil 4.6. %0.15 fiber ile donatılanmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



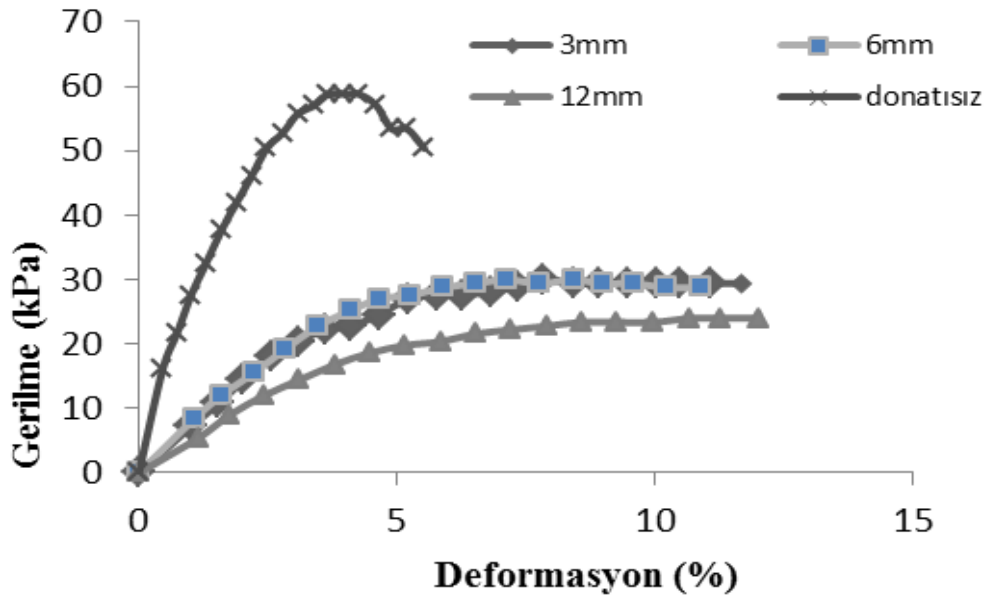
Şekil 4.7. %0.15 fiber ile donatılmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



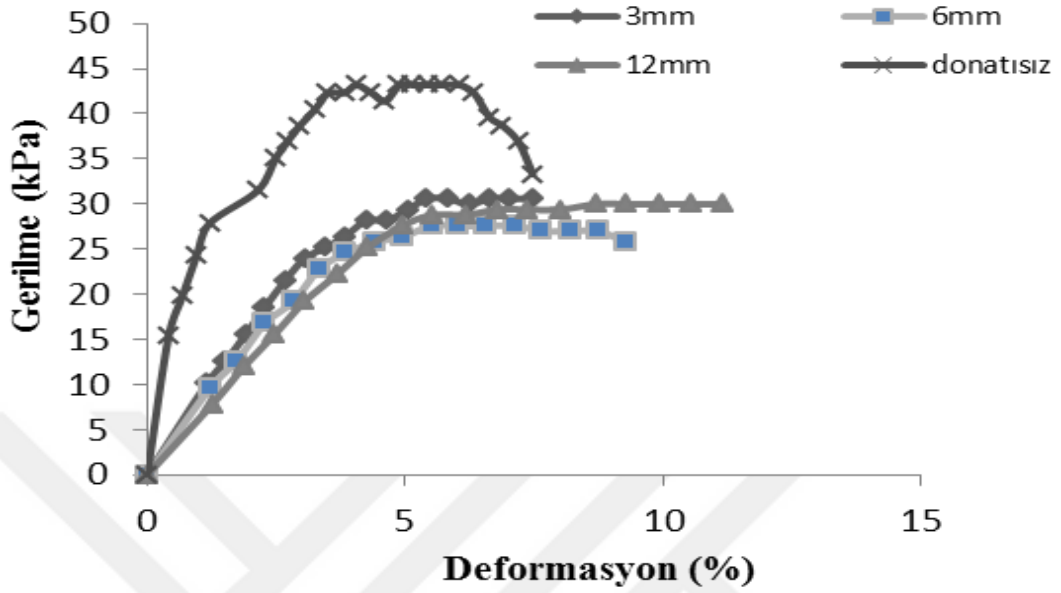
Şekil 4.8. %0.20 fiber ile donatılmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



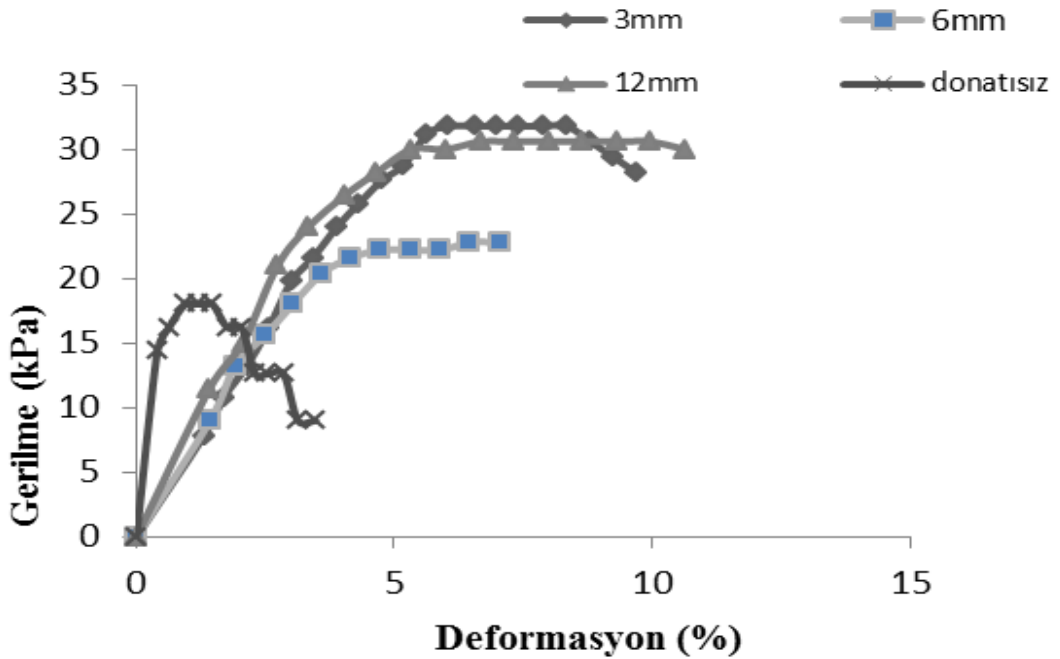
Şekil 4.9. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



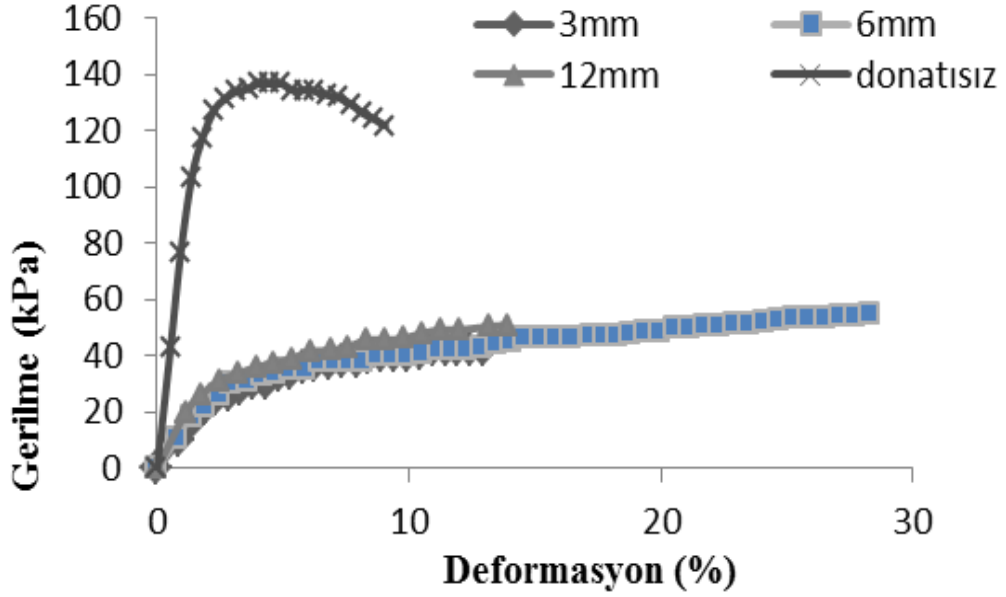
Şekil 4.10. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



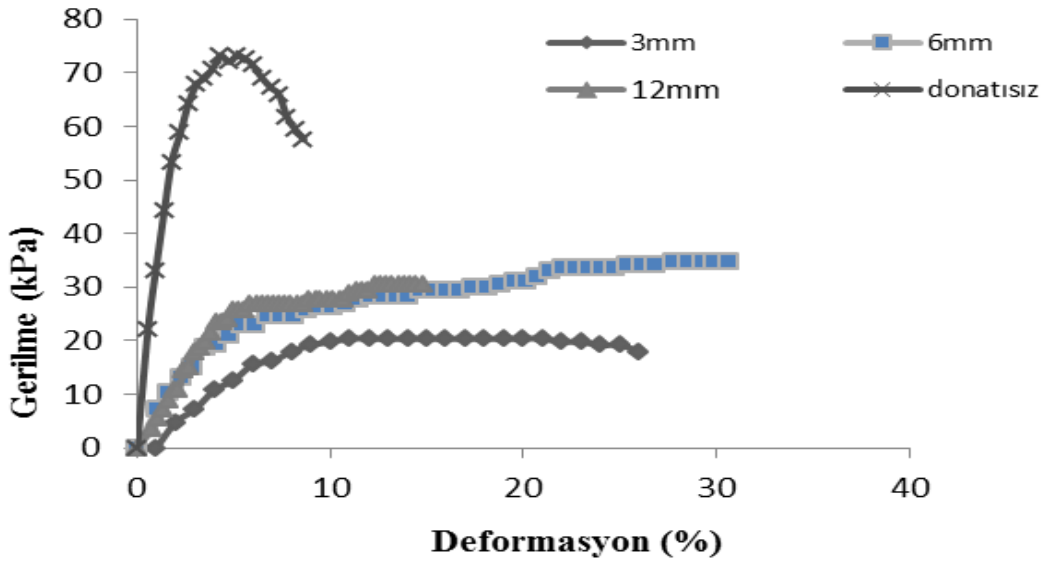
Şekil 4.11. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



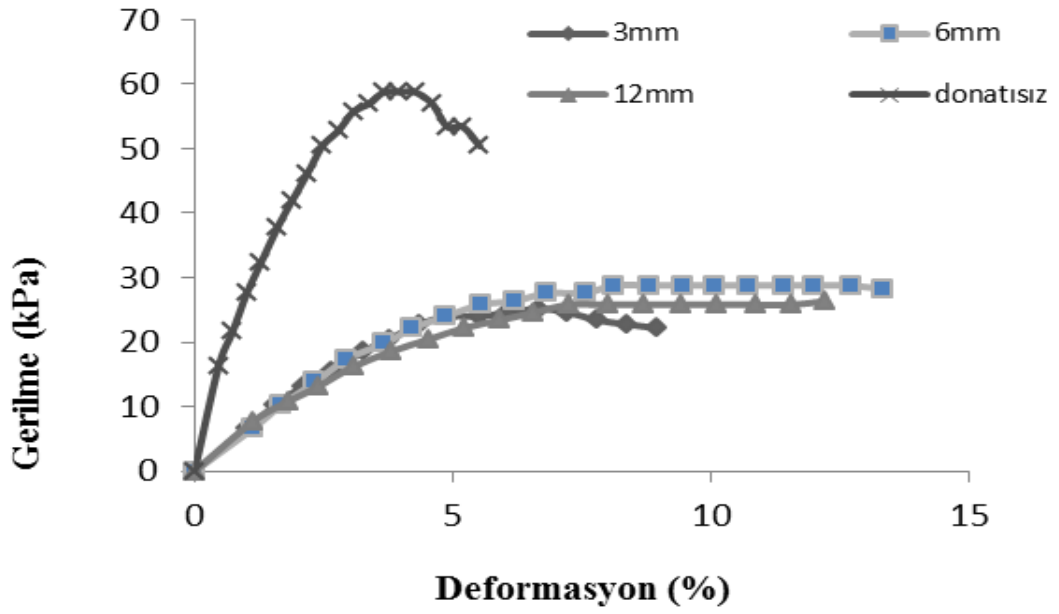
Şekil 4.12. %0.20 fiber ile donatılanmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



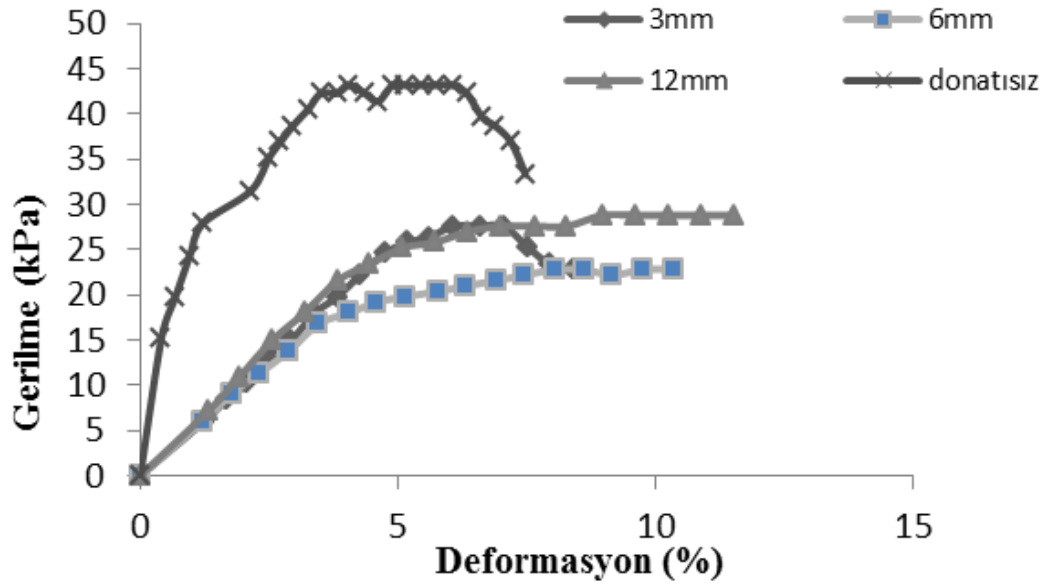
Şekil 4.13. %0.25 fiber ile donatılandırılmış CH zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



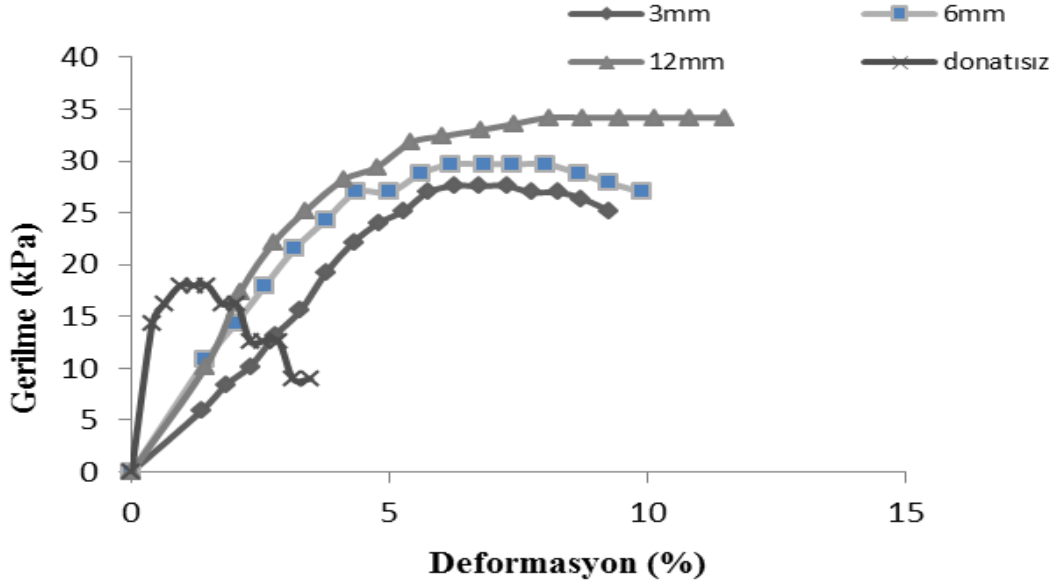
Şekil 4.14. %0.25 fiber ile donatılandırılmış CH zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



Şekil 4.15. %0.25 fiber ile donatılanmış CH zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



Şekil 4.16. %0.25 fiber ile donatılanmış CH zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



Şekil 4.17. %0.25 fiber ile donatılanmış CH zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri

Şekil 4.3-4.17 incelendiğinde polipropilen lif uzunluğu arttıkça her bir donma-çözülme çevriminde başlangıç elastisite modülünde genellikle bir azalma olduğu görülmektedir. Donma-çözülme çevrim sayısının artması ile düşük çevrimlerde (1-3-5) donatılı ve donatısız numunelerin pik gerilme değerlerinde genellikle azalma gözlenmektedir. Bu azalmaya polipropilen fiberlerin zemin içerisinde kılcal boşluklar oluşturmasının sebep olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan polipropilen liflerle donatılanmış numunelerde su drene olurken polipropilen fiberlerin bulunduğu yerlerde su muhtevasının artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla polipropilen fiber ile zemin arasındaki sürtünme azalmakta ve bu olayında gerilmenin düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir (Maher and Ho 1994; Freilich *et al.* 2010). Buna ilaveten boşluk suyu donarak zeminin boşluklarında buz mercceklerini oluşturmaktadır. Buz merccekleri hacimce genişerek zemin danelerini iten ve zemin daneleri arasındaki boşluğu artıran yaylar gibi hareket etmektedirler (Tunç 2002). Bu olay her bir çevrimde tekrarlanarak polipropilen fiberin bulunduğu yerlerde gerilmelerin düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, zaman ve drenajın donatılı zeminlerde gerilmenin üzerinde etkili olduğu (Freilich *et al.* 2010) ve fiber ile kil arasındaki etkileşimin, fiber ile kum arasındaki etkileşime nazaran daha kompleks olduğu (Li 2005) belirtilmiştir. Yüksek

çevrimlerde (10 çevrim) ise donatılı numunelerin pik gerilmeleri donatısız numunelere göre daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Genel olarak polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış numunelerin, donatılandırılmamış numunelere göre daha düktil bir davranış sergilemektedir (Yetimoğlu and Salbaş 2003; Freilich *et al.* 2010).

Şekil 4.3'de CH kilinde donatı uzunluğunun artması ile pik gerilmenin donatısız zemine göre 3 mm, 6 mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zeminde sırasıyla yaklaşık %24.56, %62.28 ve %56.14 oranlarında azalmasına neden olduğu görülebilir. Ayrıca farklı uzunluklardaki polipropilen lif ile donatılı zemin donatısız kil zemine göre daha düktil bir davranış sergilediği de görülebilir (Yetimoğlu ve Salbaş 2003). Buna ilaveten Şekil 4.3'de başlangıç teğet modülünün özellikle 6 mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zeminde azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.6'da donma-çözülme çevrim sonunda en yüksek pik gerilme değeri ~43 kPa değeri ile donatısız zeminde gözlenmiştir. Ayrıca 3mm, 6mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zemin donatısız zemine göre daha düktil davranış sergilemiş ve başlangıç teğet modüllerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir.

Öte yandan Şekil 4.7 incelendiğinde 10 donma-çözülme çevrim sonunda en yüksek pik gerilme ~44 kPa değeri ile 3 mm polipropilen lif ile donatılı zemine ait olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle 3 mm polipropilen lif ile donatılı zemin 6 mm, 12 mm polipropilen lif ile donatılı zemin ve donatısız zemine göre donma-çözülme çevrim sayısının artmasına karşın en yüksek pik gerilme değerini göstermiştir. Buna uzun polipropilen lifin (6 mm ve 12 mm) kısa life göre zemin içerisinde daha uzun kılcak bir çatlak gibi davranmasının neden olduğu düşünülebilir. Şekil 4.3, 4.6 ve 4.7 genel olarak değerlendirildiğinde donma-çözülme çevrim sayısının artması serbest basınç mukavemetinin donatısız, 3mm, 6 mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zeminde sırasıyla yaklaşık %86,84, %57,26, %52,36 ve %50,50 oranlarında azalmasına neden olmuştur.

CH için %0.20 ve %0.25 oranda 3mm, 6 mm ve 12 mm polipropilen donatılandırılmış zeminlerde donma-çözülme çevrim sayısına göre yorum yapılabilir.

CL kili, farklı uzunluktaki (3mm,6mm ve 12mm) ve yüzdelerdeki (%0.15, %0.20 ve %0.25) lifler ile rastgele donatılandırılmış numunelere ait 0, 1,3 ve 5 ve 10 çevrim sonrası gerilme-deformasyon (σ - ϵ) eğrileri sırasıyla Çizelge 4.16, Çizelge 4.17, Çizelge 4.18, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20, Çizelge 4.21, Çizelge 4.22, Çizelge 4.23, Çizelge 4.24, Çizelge 4.25, Çizelge 4.26, Çizelge 4.27, Çizelge 4.28, Çizelge 4.29 ve 4.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. %0.15 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
69,28	1,24	59,38	1,51	68,98	1,54	106,77	1,21
81,88	1,53	70,18	1,91	83,98	2,15	127,16	1,55
92,67	1,85	82,18	2,30	97,77	2,78	146,36	1,91
102,57	2,17	90,57	2,68	109,77	3,39	160,75	2,29
109,77	2,48	100,17	3,06	119,97	4,05	172,75	2,66
117,87	2,80	107,37	3,46	128,36	4,68	181,15	3,03
124,16	3,10	114,57	3,88	137,36	5,32	189,55	3,42
129,56	3,46	122,36	4,28	145,76	5,97	196,74	3,81
135,86	3,78	130,16	4,71	152,36	6,62	202,74	4,21
142,16	4,11	136,16	5,17	159,55	7,27	207,54	4,60
149,36	4,46	142,76	5,57	164,95	7,92	212,94	5,02
154,76	4,78	148,76	6,00	170,95	8,58	217,14	5,42
159,25	5,13	153,56	6,46	174,55	9,23	221,34	5,82
163,75	5,46	158,95	6,88	177,55	9,90	224,94	6,24
166,45	5,82	162,55	7,32	179,35	10,55	227,93	6,65
167,35	6,18	167,35	7,77	180,55	11,23	230,33	7,04
162,85	6,53	170,95	8,23	179,35	11,89	232,13	7,47
159,25	6,89	173,95	8,65	178,15	12,60	234,53	7,88
152,06	7,28	176,35	9,09			236,33	8,32
145,76	7,61	178,15	9,54			237,53	8,71
136,76	7,99	181,15	9,97			238,73	9,14
120,57	8,40	184,15	10,44			238,13	9,55
		185,35	10,87			238,73	9,98
		187,15	11,33			237,53	10,39

Çizelge 4.17. %0.15 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatsız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
35,09	1,17	37,19	1,21	42,59	1,25	59,38	1,23
42,29	1,45	44,99	1,49	53,38	1,63	70,18	1,49
48,59	1,71	53,98	1,81	62,98	1,97	80,08	1,76
55,78	1,97	61,78	2,09	73,18	2,33	89,97	2,06
65,68	2,23	68,98	2,37	81,58	2,70	99,87	2,34
71,08	2,51	76,78	2,66	90,57	3,07	107,97	2,64
78,28	2,76	83,98	2,96	98,37	3,43	115,17	2,93
85,48	3,03	90,57	3,24	105,57	3,81	122,36	3,23
90,87	3,30	97,77	3,54	113,37	4,18	126,86	3,52
96,27	3,56	106,17	3,84	119,97	4,55	132,26	3,88
100,77	3,83	112,17	4,14	126,56	4,92	136,76	4,13
106,17	4,09	118,17	4,43	132,56	5,30	140,36	4,41
108,87	4,39	124,16	4,73	138,56	5,68	143,96	4,72
111,57	4,65	129,56	5,04	144,56	6,06	148,46	5,03
112,47	4,95	136,16	5,35	150,56	6,45	151,16	5,34
110,67	5,22	142,16	5,65	155,36	6,83	153,86	5,64
105,27	5,49	146,96	5,96	160,75	7,21	156,55	5,96
99,87	5,79	152,36	6,25	164,95	7,59	158,35	6,26
93,57	6,08	157,15	6,57	169,15	7,97	160,15	6,57
88,17	6,36	162,55	6,88	172,15	8,36	162,85	6,89
		166,75	7,18	176,35	8,74	164,65	7,20
		171,55	7,50	179,35	9,13	166,45	7,53
		175,75	7,81	182,35	9,52	167,35	7,84
		178,75	8,11	184,75	9,89	168,25	8,15
		182,35	8,42	186,55	10,29	169,15	8,47
		185,95	8,73	187,75	10,68	170,05	8,78
		188,35	9,04	188,95	11,07	170,95	9,10
		191,34	9,36	190,15	11,46	171,85	9,40
		192,54	9,68	190,15	11,86	172,75	9,72
		193,74	9,99	190,74	12,25	172,75	10,03
		194,34	10,33	189,55	12,63	172,75	10,34
		195,54	10,63	188,35	13,03	174,55	10,66
		195,54	10,95	188,35	13,42	174,55	10,97
		194,94	11,29			175,45	11,28
		193,74	11,60			176,35	11,59
		193,74	11,93			177,25	11,91
						177,25	12,24

Çizelge 4.18. %0.15 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
40,79	1,25	34,19	1,38	34,86	1,49	59,38	1,51
49,79	1,54	43,19	1,71	45,87	1,99	75,58	1,97
59,38	1,81	52,18	2,03	57,80	2,49	88,17	2,41
68,38	2,09	59,38	2,35	67,89	2,99	98,97	2,87
76,78	2,36	67,78	2,67	78,90	3,50	106,17	3,33
86,38	2,63	75,58	3,00	89,00	4,00	113,37	3,79
94,17	2,92	81,58	3,32	98,17	4,54	115,17	4,26
102,57	3,21	88,77	3,65	105,51	5,07	120,57	4,74
110,37	3,48	95,97	3,99	112,85	5,61	122,36	5,22
117,57	3,77	101,97	4,32	118,35	6,14	125,96	5,68
123,56	4,06	105,57	4,68	123,86	6,67	129,56	6,18
129,56	4,35	110,37	5,02	128,45	7,23	131,36	6,68
133,76	4,64	113,37	5,36	130,28	7,77	134,96	7,18
136,76	4,93	116,37	5,71	132,12	8,30	136,76	7,67
138,56	5,23	117,57	6,07	133,95	8,85	140,36	8,18
140,36	5,54	119,37	6,43	132,12	9,40	142,16	8,68
139,76	5,85	118,77	6,77	129,36	9,95	143,96	9,14
136,76	6,15	118,17	7,13	125,69	10,53	145,76	9,64
133,76	6,46	118,17	7,49	120,19	11,09	147,56	10,16
130,76	6,78	115,77	7,85	117,44	11,64	147,56	10,63
		112,77	8,21			147,56	11,16
		111,57	8,59			147,56	11,62
		107,97	8,93			147,56	12,14
		106,77	9,31			151,16	12,66
						151,16	13,13
						151,16	13,66
						152,96	14,18
						152,96	14,71
						152,96	15,24
						152,96	15,68

Çizelge 4.19. %0.15 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatsız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
52,18	1,30	35,99	1,40	35,09	1,64	66,58	1,47
60,28	1,58	43,19	1,71	41,39	1,90	84,58	1,75
71,08	1,84	50,39	2,02	48,59	2,20	95,37	2,00
80,08	2,11	58,18	2,32	53,98	2,48	104,37	2,22
88,17	2,38	66,58	2,63	60,28	2,78	115,17	2,49
97,17	2,66	73,18	2,94	66,58	3,08	124,76	2,77
103,47	2,93	80,98	3,23	71,98	3,35	133,16	3,05
112,47	3,20	87,57	3,56	78,28	3,66	140,36	3,33
116,97	3,49	93,57	3,89	84,58	3,95	142,16	3,61
121,46	3,79	99,57	4,21	89,97	4,25	146,36	3,90
124,16	4,10	104,97	4,51	97,17	4,57	151,76	4,18
125,06	4,39	111,57	4,84	100,77	4,88	157,15	4,46
122,36	4,70	115,17	5,18	105,27	5,18	160,15	4,77
119,67	5,01	119,37	5,50	108,87	5,51	164,35	5,05
118,77	5,33	122,36	5,83	111,57	5,82	167,95	5,34
115,17	5,62	124,16	6,17	114,27	6,15	170,95	5,64
112,47	5,95	125,96	6,51	116,07	6,47	172,75	5,92
109,77	6,26	128,36	6,84	116,97	6,78	175,15	6,25
107,97	6,57	129,56	7,18	117,87	7,11	176,95	6,53
107,07	6,88	130,16	7,52	118,77	7,44	178,15	6,84
		128,96	7,86	118,77	7,75	178,75	7,14
		127,16	8,19	118,77	8,09	180,55	7,43
		125,96	8,54	118,77	8,41	181,75	7,72
		122,96	8,88	116,97	8,74	182,35	8,04
						182,35	8,33
						182,35	8,62
						181,75	8,93
						182,35	9,24
						181,75	9,53
						180,55	9,83
						178,75	10,12
						176,95	10,42

Çizelge 4.20. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.15		6 mm %0.15		12 mm %0.15	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
53,98	1,09	46,79	2,16	49,49	1,68	83,38	1,57
62,98	1,47	53,98	2,50	59,38	2,01	97,77	1,88
68,38	1,78	61,18	2,82	65,68	2,31	110,37	2,17
75,58	2,11	68,38	3,18	73,78	2,60	118,77	2,48
80,98	2,46	75,58	3,51	80,98	2,91	127,16	2,78
86,38	2,82	84,58	3,89	87,27	3,25	133,76	3,08
89,97	3,18	91,77	4,28	92,67	3,57	137,96	3,39
93,57	3,55	97,17	4,66	98,97	3,89	140,36	3,75
97,17	3,92	102,57	5,05	103,47	4,21	142,76	4,07
98,97	4,28	106,17	5,47	107,07	4,55	143,96	4,39
100,77	4,70	111,57	5,88	111,57	4,89	143,96	4,71
102,57	5,05	111,57	6,16	114,27	5,22	143,96	5,07
102,57	5,42	111,57	6,71	116,07	5,57	143,36	5,39
100,77	5,82	111,57	7,13	117,87	5,92	143,96	5,73
95,37	6,25	111,57	7,55	118,77	6,26	143,96	6,07
89,97	6,62	109,77	8,00	119,67	6,61	141,56	6,42
86,38	7,00	107,97	8,45	120,57	6,95	140,96	6,75
82,78	7,39	102,57	8,84	120,57	7,32	139,16	7,08
80,98	7,79	97,17	9,29	120,57	7,68		
77,38	8,18	91,77	9,68	119,67	8,03		
		88,17	10,13	119,67	8,38		
		84,58	10,57	119,67	8,73		
				116,97	9,08		
				114,27	9,46		

Çizelge 4.21. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
69,28	1,24	89,97	1,41	51,29	1,51	155,36	1,34
81,88	1,53	102,57	1,95	64,78	2,17	170,35	1,76
92,67	1,85	114,27	2,41	73,78	2,86	189,55	2,25
102,57	2,17	123,26	2,88	82,78	3,54	205,14	2,72
109,77	2,48	134,06	3,36	90,87	4,22	216,54	3,17
117,87	2,80	143,96	3,86	96,27	4,90	227,93	3,65
124,16	3,10	152,96	4,39	102,57	5,61	236,93	4,14
129,56	3,46	161,95	4,84	106,17	6,14	244,73	4,60
135,86	3,78	170,05	5,36	111,57	7,03	253,73	5,11
142,16	4,11	177,25	5,86	116,07	7,74	260,92	5,60
149,36	4,46	183,55	6,37	120,57	8,41	266,32	6,11
154,76	4,78	190,74	6,89	124,16	9,16	274,12	6,61
159,25	5,13	197,04	7,38	126,86	9,84	278,92	7,11
163,75	5,46	202,44	7,91	127,76	10,56	284,92	7,62
166,45	5,82	207,84	8,42	128,66	11,27	289,72	8,13
167,35	6,18	210,54	8,95	129,56	11,98	293,32	8,66
162,85	6,53	213,24	9,46	128,66	12,68	296,91	9,14
159,25	6,89	215,94	9,98	125,06	13,39	298,71	9,66
152,06	7,28	215,94	10,51	123,26	14,11	300,51	10,21
145,76	7,61	215,94	11,03			302,31	10,73
136,76	7,99	215,94	11,57			303,51	11,25
120,57	8,40	214,14	12,14			304,71	11,80
		209,64	12,66			305,31	12,30

Çizelge 4.22. %0.20 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatsız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
35,09	1,17	38,99	1,27	39,59	1,14	73,18	1,17
42,29	1,45	46,79	1,59	46,79	1,43	88,17	1,46
48,59	1,71	56,38	1,90	54,88	1,74	100,77	1,75
55,78	1,97	64,78	2,22	62,98	2,05	112,17	2,05
65,68	2,23	73,18	2,54	69,28	2,34	122,96	2,34
71,08	2,51	80,38	2,88	76,48	2,64	133,76	2,64
78,28	2,76	88,77	3,19	83,68	2,96	143,36	2,96
85,48	3,03	96,57	3,52	89,97	3,26	154,76	3,28
90,87	3,30	103,77	3,85	95,37	3,58	161,95	3,57
96,27	3,56	110,37	4,19	100,77	3,88	169,75	3,89
100,77	3,83	116,37	4,52	106,17	4,19	176,95	4,19
106,17	4,09	122,36	4,86	109,77	4,52	184,15	4,52
108,87	4,39	128,36	5,20	116,07	4,80	189,55	4,84
111,57	4,65	134,96	5,53	120,57	5,13	196,14	5,15
112,47	4,95	139,76	5,89	123,26	5,45	201,54	5,49
110,67	5,22	145,16	6,22	128,66	5,77	206,34	5,81
105,27	5,49	149,96	6,56	132,26	6,09	211,14	6,12
99,87	5,79	155,95	6,92	135,86	6,41	215,94	6,45
93,57	6,08	159,55	7,26	139,46	6,70	219,54	6,78
88,17	6,36	163,15	7,60	143,06	7,05	223,14	7,11
		167,95	7,95	146,66	7,37	227,33	7,43
		170,95	8,29	148,46	7,66	230,93	7,76
		174,55	8,63	152,06	8,01	234,53	8,07
		176,35	8,98	153,86	8,32	237,53	8,41
		178,15	9,34	155,66	8,65	240,53	8,72
		180,55	9,68	159,25	8,95	243,53	9,05
		180,55	10,04	160,15	9,28	245,33	9,40
		181,15	10,39	162,85	9,59	247,73	9,72
		181,15	10,72	163,75	9,95	248,93	10,04
		179,35	11,09	165,55	10,26	250,13	10,37
		176,35	11,44	166,45	10,58	253,13	10,72
		173,95	11,79	167,35	10,91	253,13	11,05
		169,75	12,16	167,35	11,24	254,33	11,37
				167,35	11,57	255,53	11,70
				167,35	11,89	256,73	12,04
				166,45	12,22	256,73	12,36
				165,55	12,54	257,93	12,69
				164,65	12,87	257,33	13,01
				160,15	13,23	257,33	13,35

Çizelge 4.23. %0.20 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
40,79	1,25	35,09	1,47	32,39	1,54	89,07	1,29
49,79	1,54	44,09	1,87	39,59	1,97	99,87	1,53
59,38	1,81	53,08	2,24	46,79	2,39	109,77	1,79
68,38	2,09	60,28	2,62	55,78	2,82	122,36	2,02
76,78	2,36	69,28	3,02	64,78	3,26	131,36	2,28
86,38	2,63	77,38	3,42	75,58	3,66	141,26	2,53
94,17	2,92	84,58	3,83	82,78	4,16	150,26	2,80
102,57	3,21	91,77	4,24	91,77	4,59	159,25	3,05
110,37	3,48	98,97	4,66	100,77	5,04	167,35	3,32
117,57	3,77	103,47	5,06	109,77	5,50	173,65	3,58
123,56	4,06	106,17	5,49	115,17	5,92	179,95	3,86
129,56	4,35	109,77	5,93	122,36	6,36	185,35	4,11
133,76	4,64	113,37	6,36	129,56	6,82	190,74	4,41
136,76	4,93	114,27	6,78	136,76	7,29	196,14	4,66
138,56	5,23	115,17	7,24	143,96	7,71	198,84	4,95
140,36	5,54	115,17	7,65	149,36	8,20	202,44	5,24
139,76	5,85	115,17	8,09	154,76	8,64	206,04	5,51
136,76	6,15	113,37	8,53	160,15	9,11	208,74	5,79
133,76	6,46	110,67	8,94	165,55	9,58	211,44	6,08
130,76	6,78	107,97	9,41	169,15	10,04	213,24	6,35
		106,17	9,84	172,75	10,50	215,04	6,64
		101,67	10,26	176,35	10,95	215,94	6,95
		96,27	10,72	178,15	11,42	217,74	7,22
		91,77	11,14	181,75	11,89	218,64	7,51
				181,75	12,42	219,54	7,80
				183,55	12,79	219,54	8,08
				183,55	13,29	221,34	8,36
				183,55	13,75	221,34	8,66
				183,55	14,21	222,24	8,95
				183,55	14,68	222,24	9,24
				179,95	15,16	222,24	9,53
				178,15	15,63	223,14	9,81
				174,55	16,13	223,14	10,11
						223,14	10,41
						224,04	10,70
						224,04	10,99
						223,14	11,30
						222,24	11,60

Çizelge 4.24. %0.20 fiber ile donatılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
52,18	1,30	35,99	1,50	45,89	1,53	51,59	1,32
60,28	1,58	44,39	1,88	54,88	1,87	61,78	1,61
71,08	1,84	52,18	2,25	64,78	2,21	70,78	1,90
80,08	2,11	59,98	2,60	73,78	2,54	78,58	2,19
88,17	2,38	66,58	2,98	82,78	2,87	86,38	2,48
97,17	2,66	75,58	3,37	91,77	3,18	92,37	2,78
103,47	2,93	82,18	3,77	99,87	3,55	97,17	3,09
112,47	3,20	88,17	4,15	107,07	3,91	102,57	3,39
116,97	3,49	93,57	4,56	113,37	4,24	106,77	3,71
121,46	3,79	97,77	4,97	118,77	4,62	110,37	4,04
124,16	4,10	102,57	5,36	125,06	4,99	112,77	4,34
125,06	4,39	105,57	5,77	127,76	5,34	116,37	4,66
122,36	4,70	109,17	6,19	132,26	5,72	119,37	5,00
119,67	5,01	110,37	6,61	135,86	6,11	120,57	5,32
118,77	5,33	111,57	7,01	137,66	6,49	123,56	5,64
115,17	5,62	112,77	7,44	139,46	6,85	125,96	5,97
112,47	5,95	112,77	7,85	140,36	7,22	128,36	6,30
109,77	6,26	112,77	8,28	143,06	7,60	130,16	6,63
107,97	6,57	112,77	8,69	143,06	7,97	130,76	6,95
107,07	6,88	111,57	9,12	143,06	8,36	133,76	7,29
		110,37	9,54	142,16	8,74	135,56	7,62
		107,97	9,96	141,26	9,11	136,16	7,94
		104,37	10,38	137,66	9,49	138,56	8,28
		101,97	10,82	135,86	9,87	139,76	8,61
				131,36	10,24	142,16	8,95
						142,16	9,27
						142,76	9,61
						144,56	9,94
						144,56	10,26
						145,16	10,61
						146,96	10,92
						146,96	11,26
						147,56	11,60
						148,16	11,91
						148,76	12,25
						149,36	12,60

Çizelge 4.25. %0.20 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.20		6 mm %0.20		12 mm %0.20	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
53,98	1,09	49,19	0,94	71,98	1,78	61,78	1,72
62,98	1,47	56,38	1,20	80,08	2,09	70,18	1,97
68,38	1,78	62,98	1,46	89,07	2,39	78,58	2,22
75,58	2,11	67,18	1,69	96,27	2,67	84,58	2,46
80,98	2,46	73,78	1,93	101,67	2,99	90,57	2,72
86,38	2,82	79,18	2,18	108,87	3,30	95,37	3,00
89,97	3,18	84,58	2,42	112,47	3,63	100,77	3,26
93,57	3,55	89,97	2,66	116,07	3,95	104,37	3,53
97,17	3,92	95,37	2,92	116,97	4,28	106,77	3,82
98,97	4,28	99,57	3,18	117,87	4,63	108,57	4,11
100,77	4,70	104,97	3,44	117,87	4,96	110,37	4,40
102,57	5,05	108,57	3,68	116,07	5,30	112,77	4,68
102,57	5,42	112,17	5,29	112,47	5,65	114,57	4,97
100,77	5,82	113,97	5,56	111,57	6,01	115,17	5,28
95,37	6,25	115,17	5,83	108,87	6,36	115,77	5,57
89,97	6,62	115,77	4,79	107,97	6,72	116,97	5,87
86,38	7,00	115,77	5,07			116,97	6,16
82,78	7,39	115,77	5,33			116,97	6,46
80,98	7,79	115,77	5,63			118,17	6,77
77,38	8,18	115,17	5,91			117,57	7,07
		112,17	6,20			116,97	7,37
		111,57	6,48			116,37	7,67
		107,97	6,78			116,37	7,99
		106,17	7,07			116,37	8,29
		104,37	7,36				

Çizelge 4.26. %0.25 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
69,28	1,24	69,28	1,37	157,45	1,03	146,96	1,33
81,88	1,53	83,68	1,85	170,95	1,30	180,55	1,82
92,67	1,85	95,37	2,31	183,55	1,54	205,14	2,34
102,57	2,17	106,17	2,81	194,34	1,80	226,13	2,93
109,77	2,48	116,07	3,31	204,24	2,07	241,73	3,46
117,87	2,80	125,06	3,81	213,24	2,37	255,53	4,02
124,16	3,10	131,36	4,30	220,44	2,64	266,92	4,59
129,56	3,46	139,46	4,81	226,73	2,93	277,12	5,14
135,86	3,78	144,86	5,33	233,93	3,21	284,92	5,75
142,16	4,11	150,26	5,84	238,43	3,50	292,12	6,36
149,36	4,46	155,66	6,33	243,83	3,78	299,31	6,95
154,76	4,78	157,45	6,86	247,43	4,09	305,91	7,56
159,25	5,13	159,25	7,39	251,03	4,36	309,51	8,16
163,75	5,46	159,25	7,89	252,83	4,68	314,91	8,75
166,45	5,82	157,45	8,43	253,73	4,99	318,51	9,36
167,35	6,18	152,96	8,96	254,63	5,30	322,11	9,95
162,85	6,53	146,66	9,52	255,53	5,59	325,71	10,56
159,25	6,89	138,56	10,05	256,43	5,90	329,90	11,17
152,06	7,28			255,53	6,20	332,90	11,77
145,76	7,61			253,73	6,51	337,10	12,39
136,76	7,99			252,83	6,84	340,10	12,99
120,57	8,40			250,13	7,14	342,50	13,61
						344,90	14,20
						347,30	14,82

Çizelge 4.27. %0.25 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

Donatsız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
35,09	1,17	50,39	1,32	75,58	1,07	96,57	1,08
42,29	1,45	59,98	1,66	92,67	1,33	118,17	1,39
48,59	1,71	67,18	2,00	105,27	1,58	137,36	1,68
55,78	1,97	76,18	2,33	119,67	1,86	155,36	1,97
65,68	2,23	84,58	2,69	132,26	2,14	169,75	2,29
71,08	2,51	91,77	3,03	144,86	2,43	181,15	2,61
78,28	2,76	98,97	3,36	155,66	2,72	191,34	2,92
85,48	3,03	106,17	3,71	165,55	2,99	200,34	3,25
90,87	3,30	111,57	4,06	174,55	3,28	206,34	3,58
96,27	3,56	117,57	4,43	181,75	3,58	213,54	3,90
100,77	3,83	122,36	4,78	188,95	3,86	217,74	4,24
106,17	4,09	128,36	5,14	194,34	4,16	222,54	4,56
108,87	4,39	133,76	5,49	198,84	4,45	227,33	4,91
111,57	4,65	138,56	5,89	205,14	4,76	232,13	5,25
112,47	4,95	143,96	6,21	207,84	5,06	236,93	5,59
110,67	5,22	147,56	6,57	213,24	5,37	240,53	5,93
105,27	5,49	151,16	6,94	215,94	5,68	244,73	6,26
99,87	5,79	155,36	7,32	217,74	5,97	248,33	6,61
93,57	6,08	158,95	7,68	218,64	6,28	251,93	6,94
88,17	6,36	162,55	8,04	221,34	6,58	256,13	7,29
		166,15	8,43	221,34	6,89	260,32	7,61
		169,15	8,80	223,14	7,21	262,72	7,94
		171,55	9,16	223,14	7,50	265,12	8,31
		174,55	9,54	222,24	7,80	267,52	8,64
		175,15	9,92	222,24	8,11	271,12	8,96
		176,35	10,29	219,54	8,42	273,52	9,30
		176,95	10,68			275,92	9,66
		176,95	11,06			279,52	9,99
		176,95	11,43			281,92	10,34
		176,35	11,79			284,92	10,67
		174,55	12,19			287,32	11,01
						289,12	11,34
						291,52	11,70
						291,52	12,00
						293,32	12,39
						295,11	12,72
						295,11	13,09

Çizelge 4.28. %0.25 fiber ile donatılanırılmış CL zeminin 3 donma-çözölme çevrime ait gerilme-deformasyon değęerleri

Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
40,79	1,25	37,19	1,51	71,98	1,61	61,78	1,37
49,79	1,54	49,19	1,94	91,77	2,38	79,18	1,74
59,38	1,81	58,78	2,37	113,37	2,68	94,17	2,12
68,38	2,09	69,58	2,84	131,36	3,24	109,77	2,49
76,78	2,36	77,98	3,25	145,76	3,82	122,36	2,87
86,38	2,63	88,17	3,69	160,15	4,41	133,16	3,25
94,17	2,92	94,77	4,12	170,95	5,00	140,96	3,64
102,57	3,21	101,97	4,60	178,15	5,63	149,36	4,05
110,37	3,48	108,57	5,06	181,75	6,21	155,36	4,44
117,57	3,77	112,17	5,50	183,55	6,84	160,15	4,86
123,56	4,06	115,77	5,97	183,55	7,47	165,55	5,27
129,56	4,35	117,57	6,43	183,55	8,17	169,15	5,68
133,76	4,64	121,17	6,90	183,55	8,72	171,55	6,09
136,76	4,93	124,16	7,38	179,95	9,34	174,55	6,53
138,56	5,23	126,56	7,83	176,35	9,97	176,95	6,93
140,36	5,54	127,76	8,29	172,75	10,58	180,55	7,36
139,76	5,85	127,16	8,79	167,35	11,24	183,55	7,74
136,76	6,15	126,56	9,25	165,55	11,84	185,35	8,20
133,76	6,46	123,56	9,71	160,15	12,47	187,75	8,63
130,76	6,78	121,76	10,24			190,74	9,07

Çizelge 4.29. %0.25 fiber ile donatılandırılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

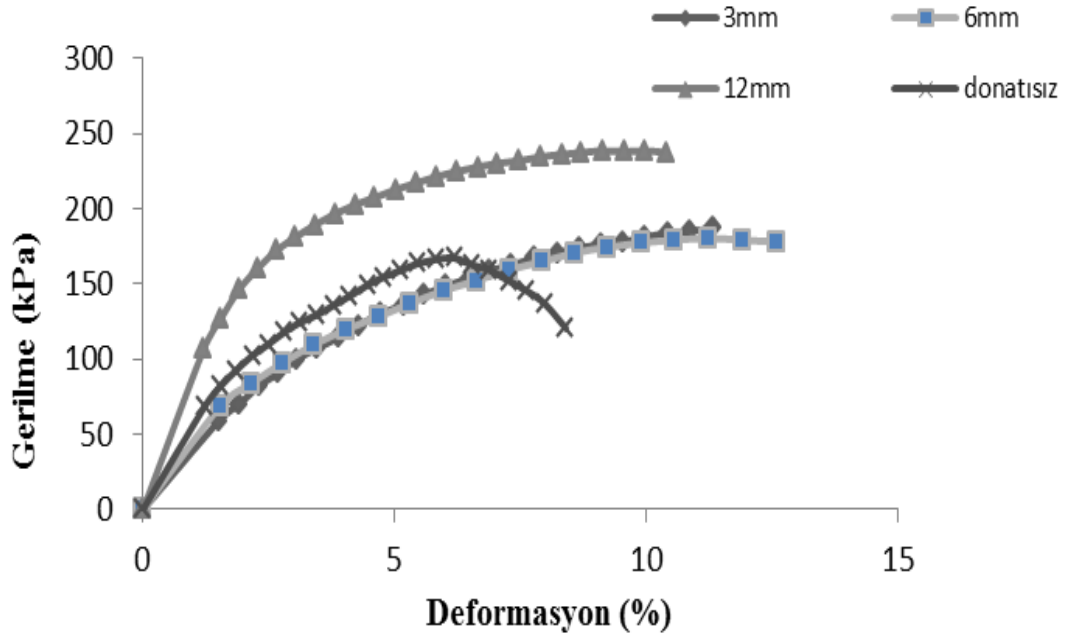
Donatsız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
52,18	1,30	37,79	1,51	65,68	1,55	65,68	1,30
60,28	1,58	44,99	1,79	75,58	1,78	80,98	1,59
71,08	1,84	52,18	2,07	86,38	2,01	92,67	1,86
80,08	2,11	59,38	2,34	95,37	2,24	106,17	2,16
88,17	2,38	66,58	2,59	103,47	2,49	118,77	2,46
97,17	2,66	70,18	2,82	112,47	2,76	127,76	2,78
103,47	2,93	77,38	3,09	119,67	3,03	137,66	3,09
112,47	3,20	82,78	3,38	126,86	3,26	145,76	3,41
116,97	3,49	88,17	3,67	132,26	3,53	152,96	3,72
121,46	3,79	93,57	3,95	137,66	3,79	161,05	4,05
124,16	4,10	97,17	4,25	143,06	4,08	167,35	4,37
125,06	4,39	97,17	4,54	146,66	4,34	171,85	4,70
122,36	4,70	100,77	4,84	149,36	4,63	176,35	5,03
119,67	5,01	100,77	5,13	151,16	4,89	179,95	5,38
118,77	5,33	100,77	5,43	152,96	5,17	184,45	5,70
115,17	5,62	100,77	5,76	152,96	5,47	188,05	6,04
112,47	5,95	100,77	6,05	154,76	5,75	190,74	6,36
109,77	6,26	100,77	6,36	155,66	6,01	193,44	6,70
107,97	6,57	100,77	6,67	155,66	6,32	195,24	7,04
107,07	6,88	100,77	6,97	155,66	6,61	197,94	7,39
		97,17	7,29	155,66	6,89	199,74	7,73
		97,17	7,61	154,76	7,16	200,64	8,07
		97,17	7,89	153,86	7,45	202,44	8,39
		95,37	8,21	152,96	7,76	202,44	8,74
		91,77	8,53	151,16	8,04	203,34	9,08
				149,36	8,34	205,14	9,41
				146,66	8,61	205,14	9,77
						206,04	10,10
						206,04	10,45
						207,84	10,78
						207,84	11,11
						207,84	11,47
						208,74	11,80
						208,74	12,13
						209,64	12,47

Çizelge 4.30. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon değerleri

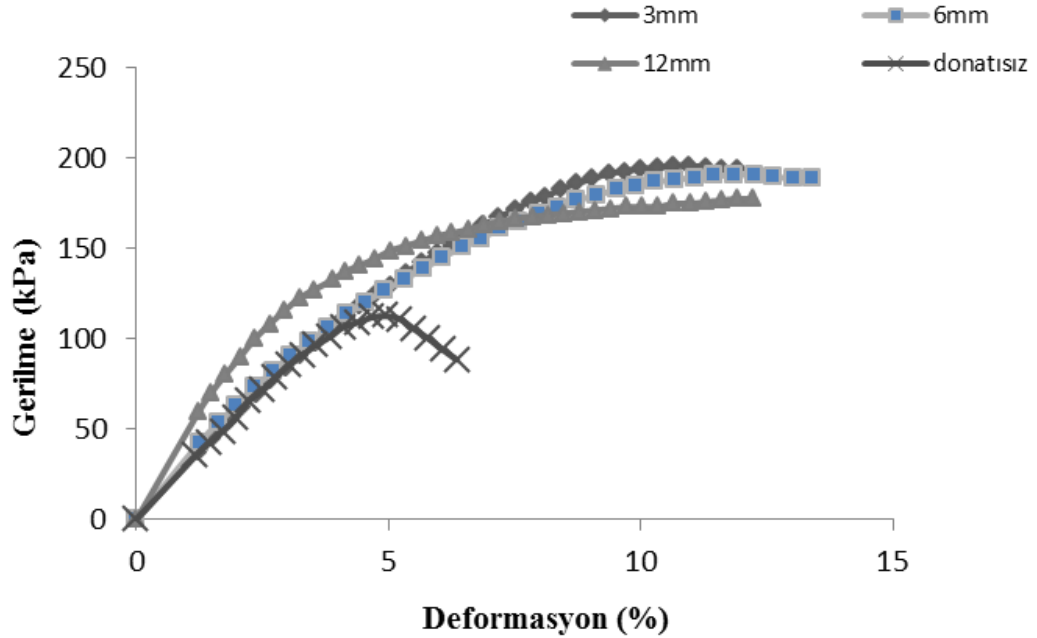
Donatısız		3mm %0.25		6 mm %0.25		12 mm %0.25	
Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)	Gerilme (kpa)	Deformasyon (%)
53,98	1,09	40,79	1,77	60,58	1,85	65,38	1,54
62,98	1,47	47,39	2,07	68,98	2,14	76,18	1,82
68,38	1,78	52,18	2,34	78,58	2,39	85,78	2,12
75,58	2,11	58,18	2,61	88,77	2,67	94,17	2,41
80,98	2,46	62,38	2,88	98,37	2,96	100,17	2,65
86,38	2,82	65,38	3,16	106,77	3,25	104,37	2,95
89,97	3,18	67,18	3,44	113,97	3,53	109,17	3,22
93,57	3,55	69,58	3,73	119,37	3,82	112,17	3,52
97,17	3,92	70,78	4,04	124,16	4,11	113,37	3,82
98,97	4,28	71,38	4,33	128,36	4,42	115,17	4,12
100,77	4,70	69,58	4,64	131,36	4,71	115,17	4,42
102,57	5,05	68,38	4,95	133,76	5,04	115,17	4,71
102,57	5,42	66,58	5,26	135,56	5,33	115,77	5,04
100,77	5,82	64,78	5,58	135,56	5,66	114,57	5,35
		63,58	5,89	135,56	5,96	112,77	5,65
		60,58	6,21	134,96	6,29	112,17	5,95
						110,37	6,27
						107,97	6,58

CL kili, farklı uzunluktaki (3mm,6mm ve 12mm) ve yüzdelerdeki (%0.15, %0.20 ve %0.25) lifler ile rastgele donatlandırılmış numunelere ait 0, 1,3 ve 5 ve 10 çevrim sonrası gerilme-deformasyon (σ - ϵ) eğrileri sırasıyla Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de gösterilmiştir.

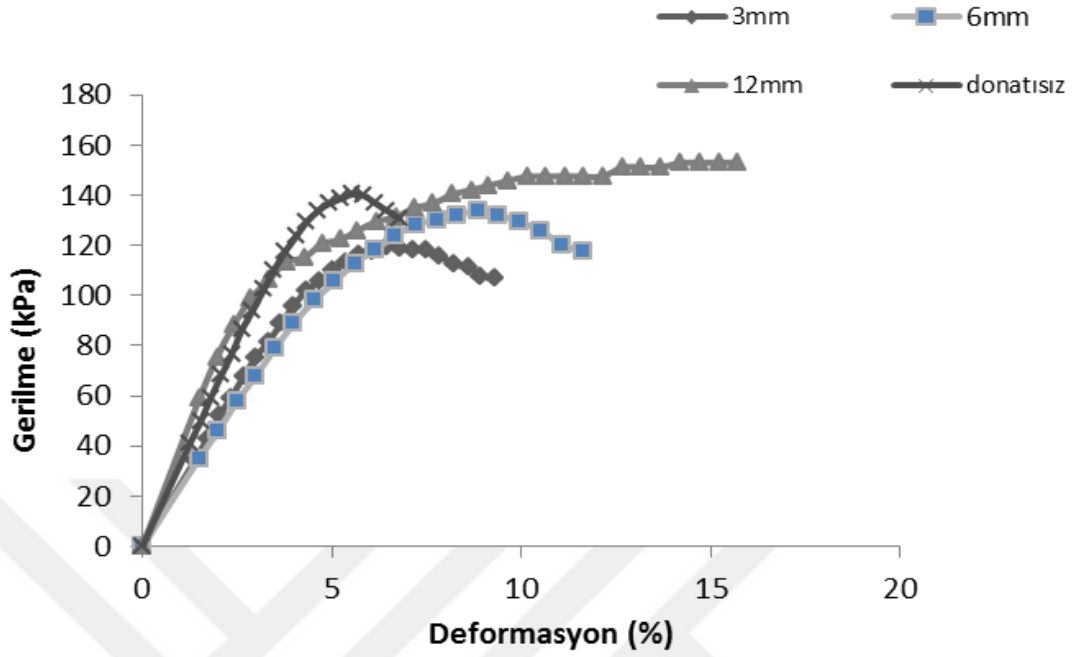
CL killerinde donma-çözülme çevrim sayısı arttıkça donma-çözülme dayanımı genellikle azalma gösterdiği Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de görülmektedir. Tüm polipropilen lif uzunlukları için lif oranı arttıkça donma-çözülme dayanımı genellikle azalma göstermektedir. Genel olarak her iki kil zemin için donatılı numuneler donatısız numunelere göre çevrim sayısının artması ile donma-çözülme dayanımı azaldığı söylenebilir.



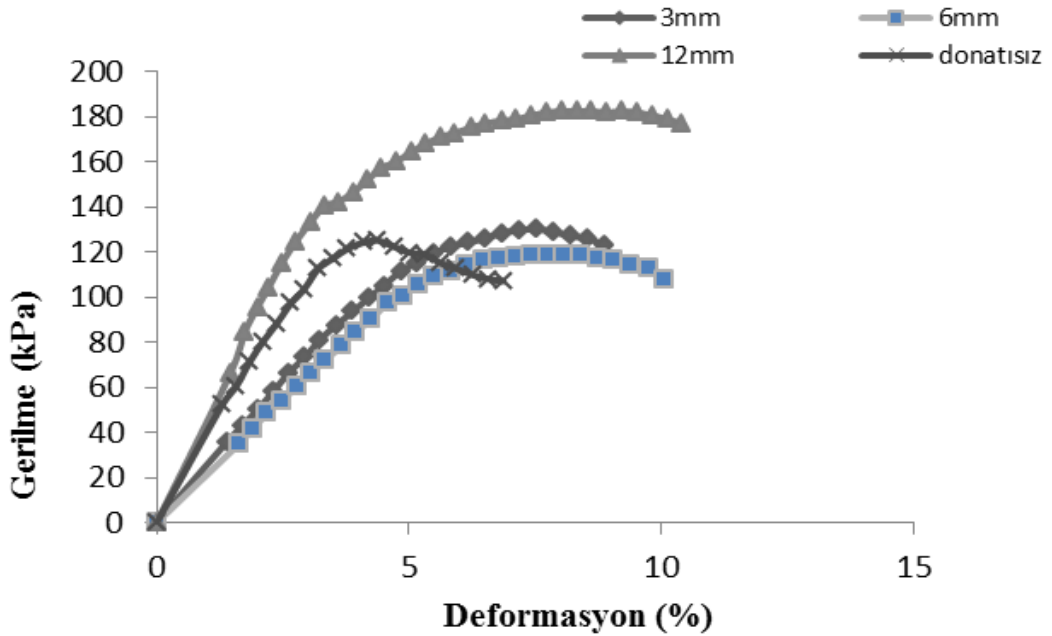
Şekil 4.18. %0.15 fiber ile donatılanmış CL zeminin 0 donma-çözülme çevrimine ait gerilme-deformasyon eğrileri



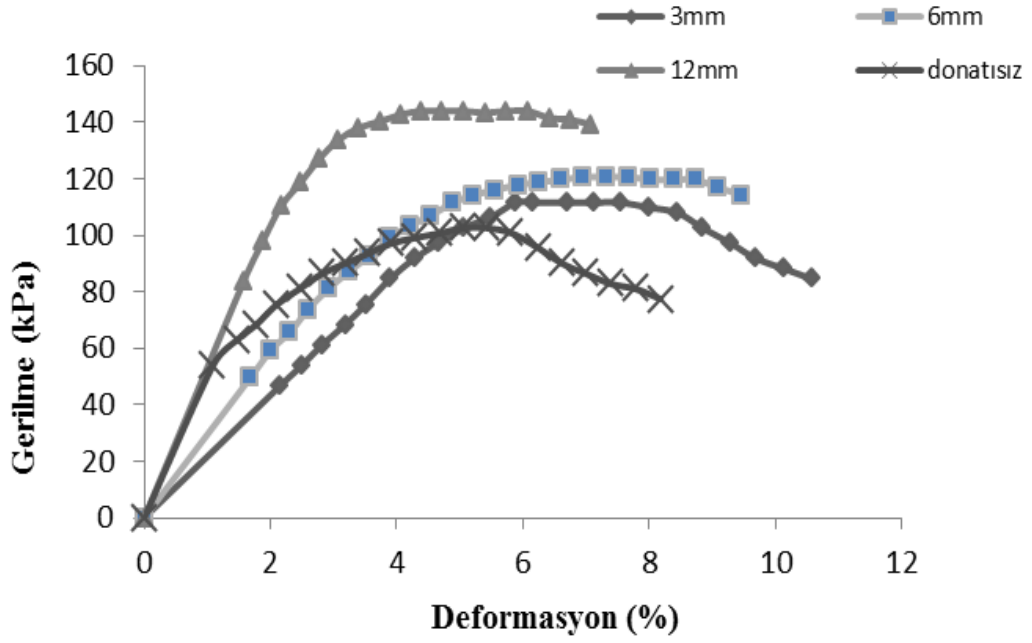
Şekil 4.19. %0.15 fiber ile donatılanmış CL zeminin 1 donma-çözülme çevrimine ait gerilme-deformasyon eğrileri



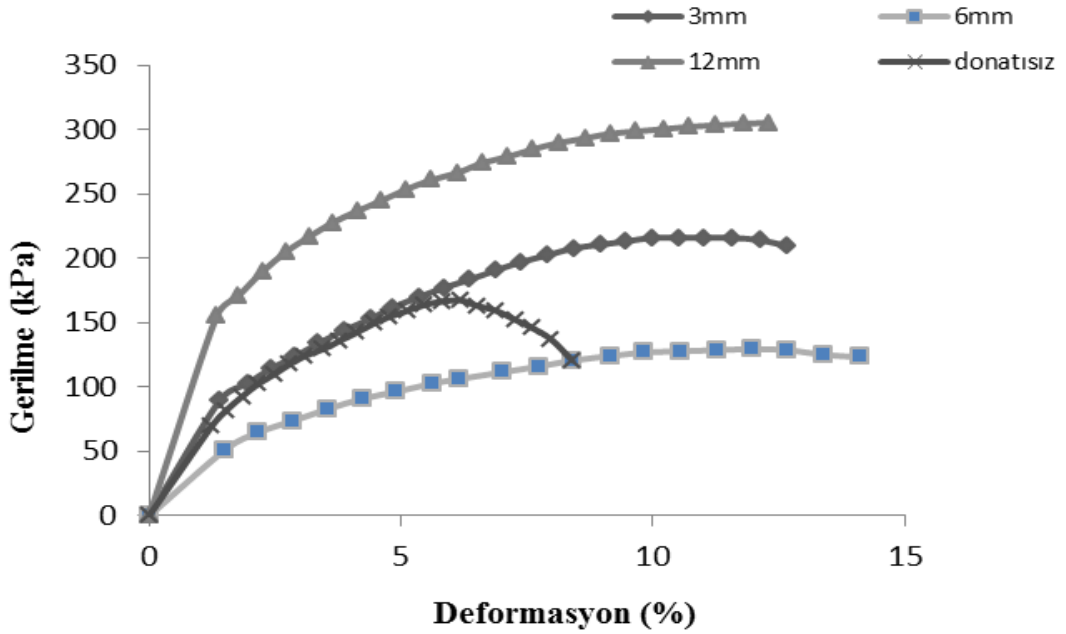
Şekil 4.20. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



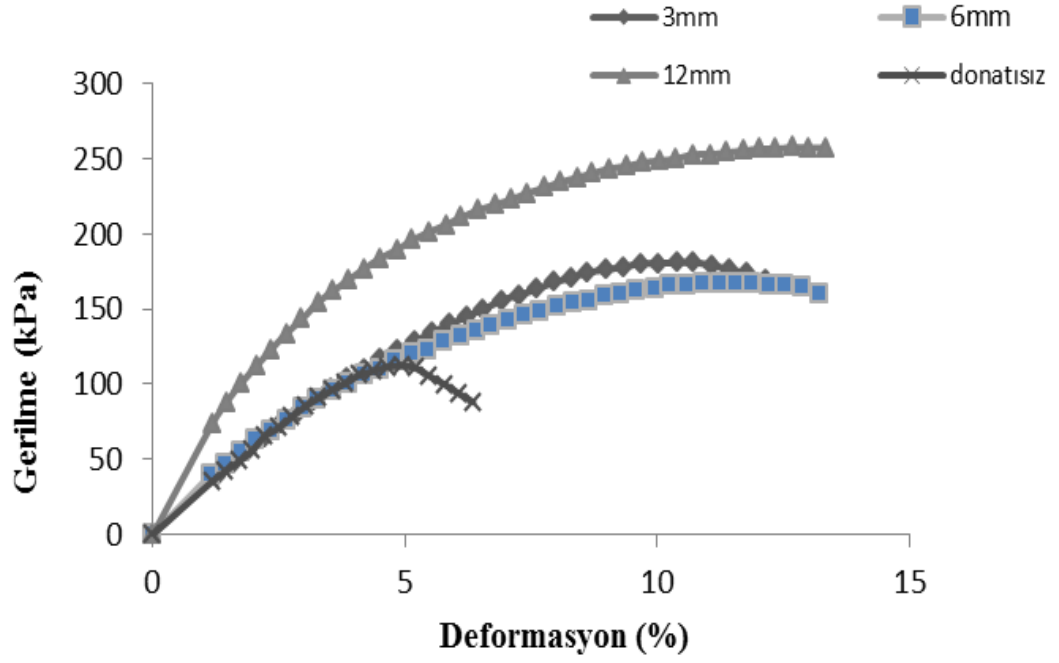
Şekil 4.21. %0.15 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



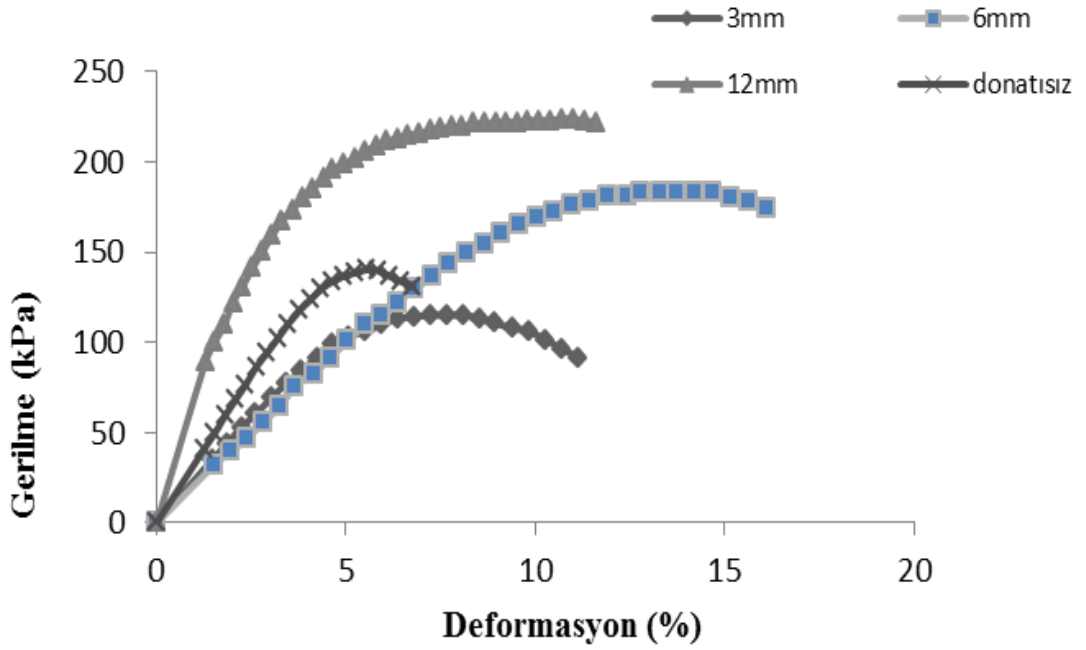
Şekil 4.22. %0.15 fiber ile donatılmış CL zeminin 10 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



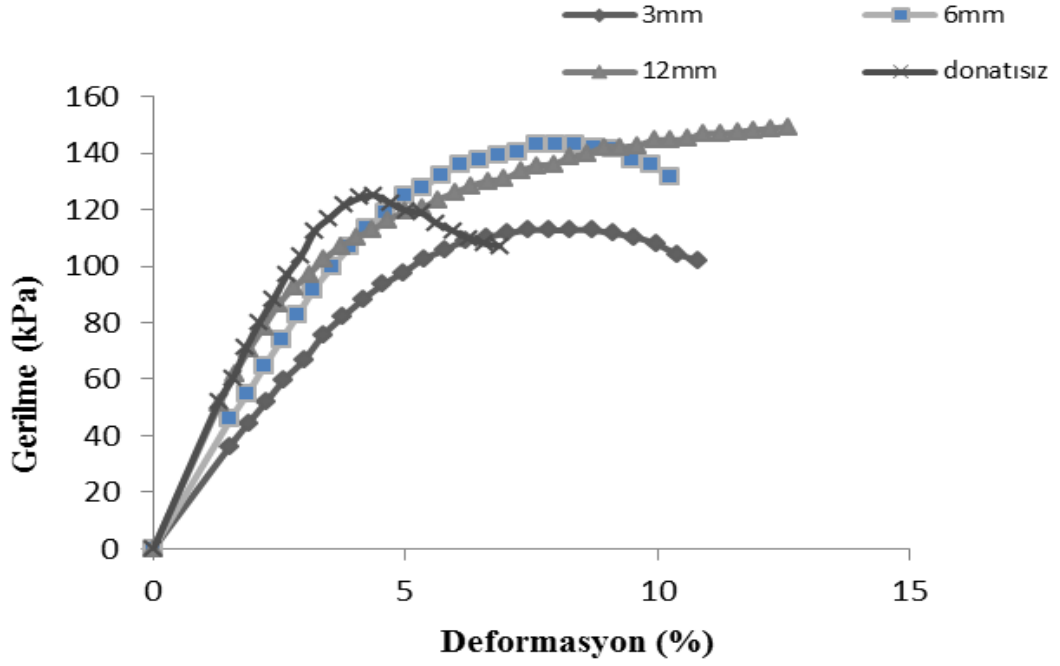
Şekil 4.23. %0.20 fiber ile donatılmış CL zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



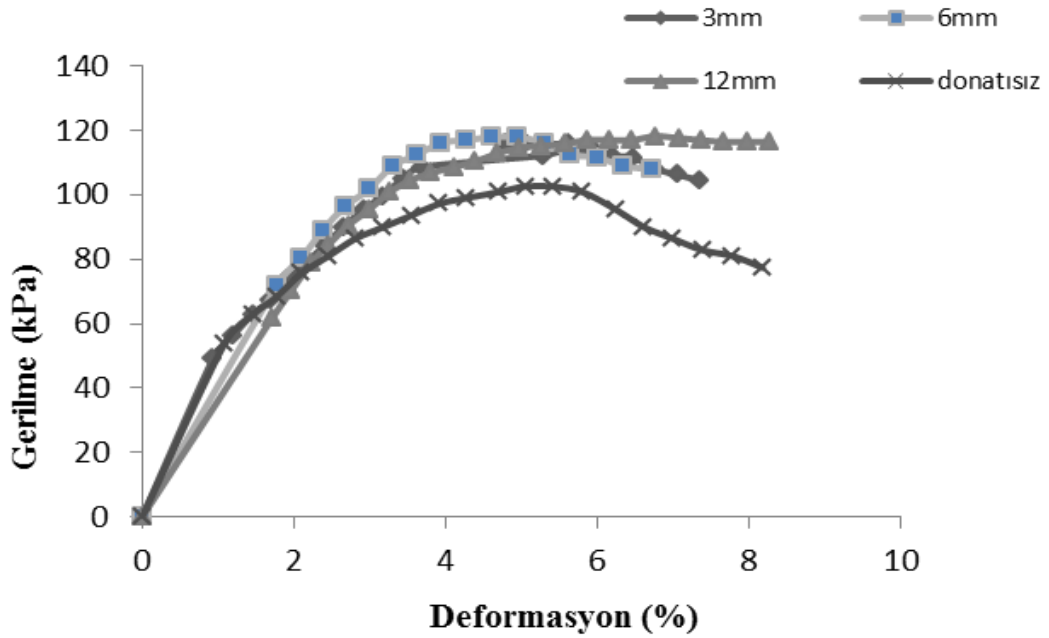
Şekil 4.24. %0.20 fiber ile donatılan CL zeminin 1 donma-çözülme çevrimine ait gerilme-deformasyon eğrileri



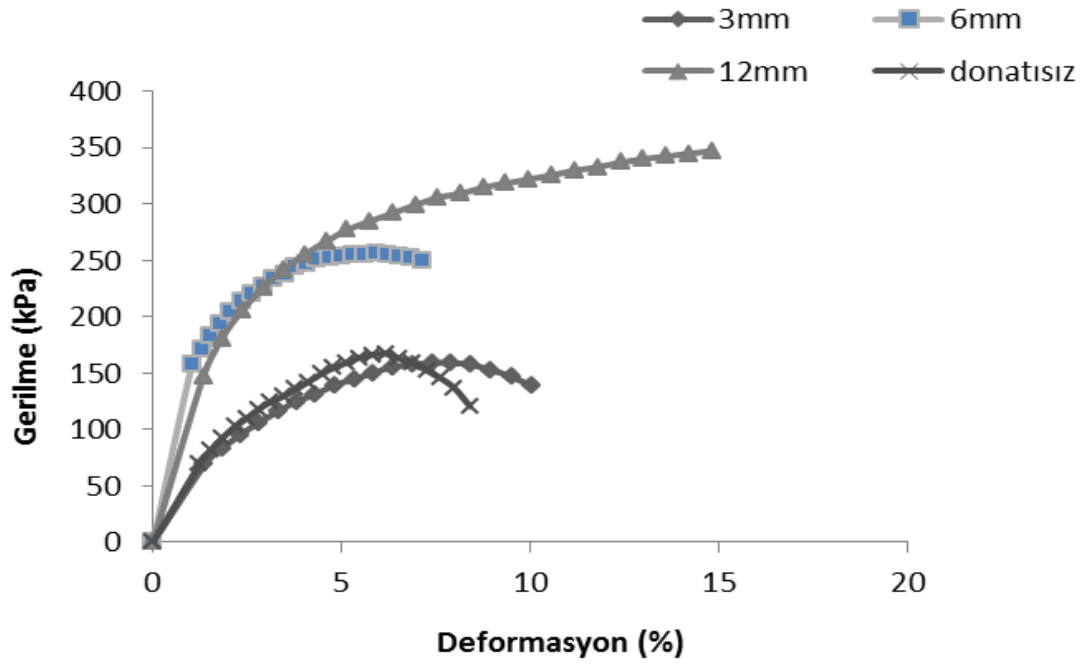
Şekil 4.25. %0.20 fiber ile donatılan CL zeminin 3 donma-çözülme çevrimine ait gerilme-deformasyon eğrileri



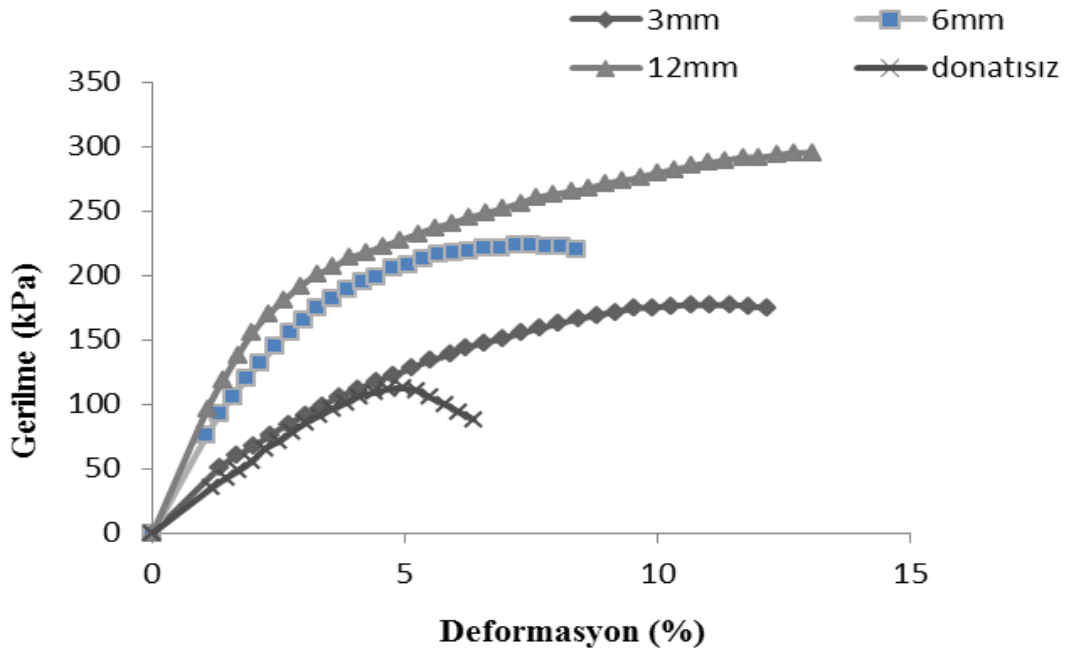
Şekil 4.26. %0.20 fiber ile donatılan CL zeminin 5 donma-çözülme çevrimine ait gerilme-deformasyon eğrileri



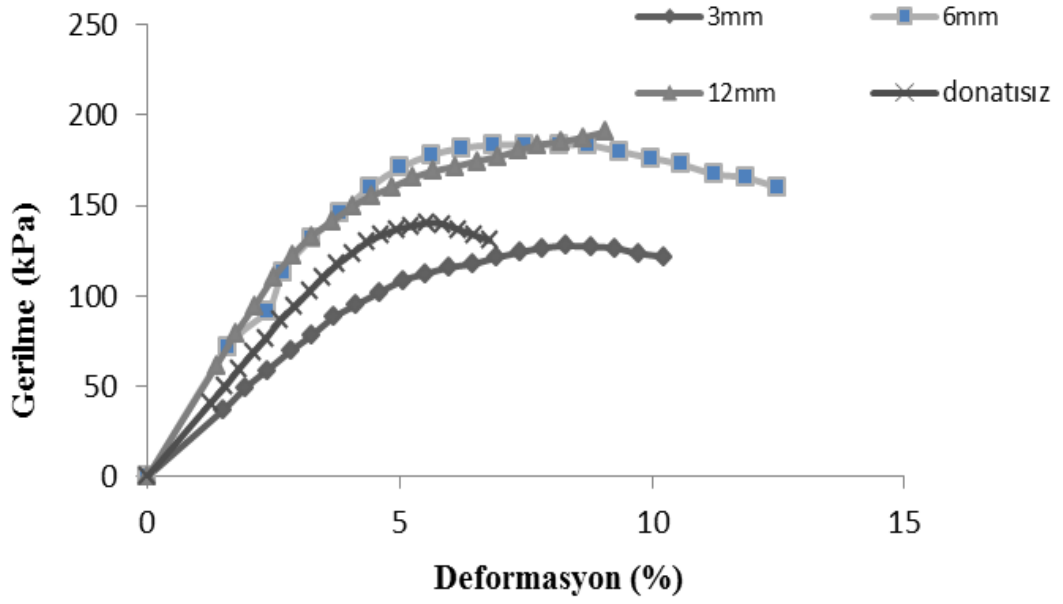
Şekil 4.27. %0.20 fiber ile donatılan CL zeminin 10 donma-çözülme çevrimine ait gerilme-deformasyon eğrileri



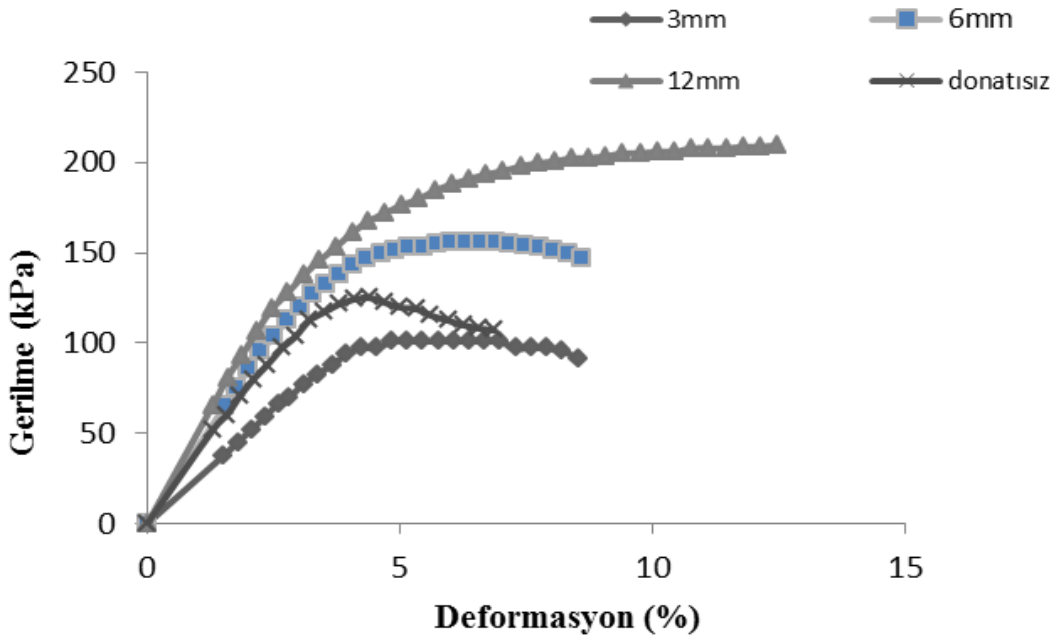
Şekil 4.28. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 0 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



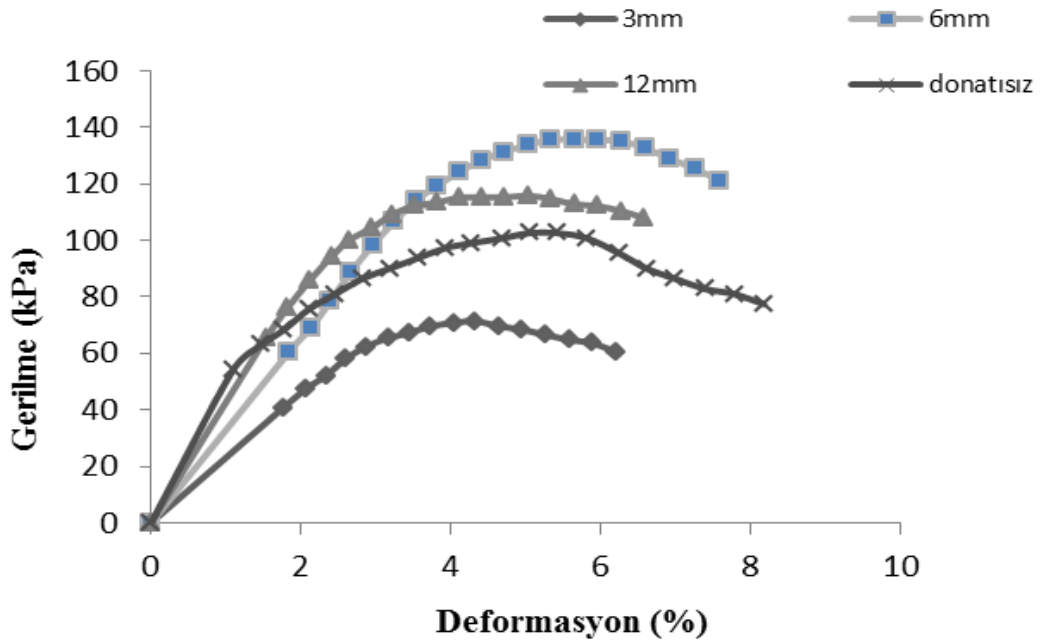
Şekil 4.29. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 1 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



Şekil 4.30. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 3 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



Şekil 4.31. %0.25 fiber ile donatlandırılmış CL zeminin 5 donma-çözülme çevrime ait gerilme-deformasyon eğrileri



Şekil 4.32. %0.25 fiber ile donatılan CL zeminin 10 donma-çözülme çevrimine ait gerilme-deformasyon eğrileri

Şekil 4.18-4.32 incelendiğinde polipropilen lif uzunluğu arttıkça her bir donma-çözülme çevriminde başlangıç elastisite modülünde genellikle bir azalma olduğu görülmektedir. Donma-çözülme çevrim sayısının artması ile düşük çevrimlerde (1-3-5) donatılı ve donatısız numunelerin pik gerilme değerlerinde genellikle azalma gözlenmektedir. Bu azalmaya polipropilen fiberlerin zemin içerisinde kılcal boşluklar oluşturmasının sebep olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan polipropilen liflerle donatılan numunelerde su drene olurken polipropilen fiberlerin bulunduğu yerlerde su muhtevasının artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla polipropilen fiber ile zemin arasındaki sürtünme azalmakta ve bu olayında gerilmenin düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir (Marandi *et al.* 2008; Singh and Bagra 2013). Buna ilaveten boşluk suyu donarak zeminin boşluklarında buz mercikleri oluşturmaktadır. Buz mercikleri hacimce genişleyerek zemin danelerini iten ve zemin daneleri arasındaki boşluğu artıran yayar gibi hareket etmektedirler (Tunç 2002). Bu olay her bir çevrimde tekrarlanarak polipropilen fiberin bulunduğu yerlerde gerilmelerin düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, zaman ve drenajın donatılı zeminlerde gerilmenin üzerinde etkili olduğu (Freilich *et al.* 2010) ve fiber ile kil arasındaki etkileşimin, fiber ile kum

arasındaki etkileşime nazaran daha kompleks olduğu (Li 2005) belirtilmiştir. Yüksek çevrimlerde (10 çevrim) ise donatılı numunelerin pik gerilmeleri donatısız numunelere göre daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Genel olarak polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış numunelerin, donatılandırılmamış numunelere göre daha duktıl bir davranış sergilemektedir (Yetimoğlu and Salbaş 2003; Freilich *et al.* 2010).

Şekil 4.18'de CL kili incelendiğinde donatı uzunluğunun artması ile pik gerilmenin donatısız zemine göre 3 mm, 6 mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zeminde sırasıyla yaklaşık %11.83, %7.89 ve %42.65 oranlarında artışlar neden olduğu görülebilir. Ayrıca farklı uzunluklardaki polipropilen lif ile donatılı zemin donatısız kil zemine göre daha duktıl bir davranış sergilediği de görülebilir (Yetimoğlu ve Salbaş 2003). Buna ilaveten Şekil 4.18'de başlangıç teğet modülünün özellikle 6 mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zeminde arttığı görülmektedir.

Şekil 4.21'de donma-çözülme çevrim sonunda en yüksek pik gerilme değeri ~180 kPa değeri ile 12 mm polipropilen lif ile donatılı zeminde gözlenmiştir. Ayrıca 3mm, 6mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zemin donatısız zemine göre daha duktıl davranış sergilemiş ve başlangıç teğet modüllerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir.

Öte yandan Şekil 4.22'de incelendiğinde 10 donma-çözülme çevrim sonunda en yüksek pik gerilme ~140 kPa değeri ile 12 mm polipropilen lif ile donatılı zemine ait olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle 12 mm polipropilen lif ile donatılı zemin 3 mm, 6 mm polipropilen lif ile donatılı zemin ve donatısız zemine göre donma-çözülme çevrim sayısının artmasına karşın en yüksek pik gerilme değerini göstermiştir. Buna uzun polipropilen lifin (3 mm ve 6 mm) kısa life göre zemin içerisinde daha iyi kenetlenmeye neden olduğu düşünülebilir. Şekil 4.18, 4.21 ve 4.22 genel olarak değerlendirildiğinde donma-çözülme çevrim sayısının artması serbest basınç mukavemetinin donatısız, 3mm, 6 mm ve 12 mm polipropilen lif ile donatılı zeminde sırasıyla yaklaşık %38.71, %40.38 %33.22 ve %39.70 oranlarında azalmasına neden olmuştur.

CL için %0.20 ve %0.25 oranda 3mm, 6 mm ve 12 mm polipropilen donatılandırılmış zeminlerde donma-çözülme çevrim sayısına göre yorum yapılabilir.

Deney sonuçlarından elde edilen CH ve CL killeri için serbest basınç mukavemetleri karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.31 toplu halde verilmiştir.

Çizelge 4.31. Deney sonuçlarından elde edilen CH ve CL killeri için serbest basınç mukavemetleri karşılaştırılmalı değerleri

%PP	Çevrim Sayısı	CH						CL							
		Serbest Basınç Dayanımı σ (kpa)	Donma-Çözülme Çevrim Sonrası Serbest Basınç Dayanımı σ (kpa)			DURUMU (%Artmış+//Azalmış(-))			Serbest Basınç Dayanımı σ (kpa)	Donma-Çözülme Çevrim Sonrası Serbest Basınç Dayanımı σ (kpa)			DURUMU (%Artmış+//Azalmış(-))		
			3mm	6mm	12 mm	3mm	6mm	12 mm		3mm	6mm	12mm	3mm	6mm	12mm
%0.15 PP	0 Çevrim	136,76	103,17	51,59	59,98	-24,56%	-62,28%	-56,14%	167,35	187,15	180,55	238,73	11,83%	7,89%	42,65%
	1 Çevrim	73,18	33,59	21,59	37,79	-54,10%	-70,50%	-48,36%	112,47	195,54	190,74	177,25	73,86%	69,59%	57,60%
	3 Çevrim	58,78	38,39	23,39	29,69	-34,69%	-60,21%	-49,49%	140,36	118,77	133,95	152,96	-15,38%	-4,57%	8,98%
	5 Çevrim	43,19	36,59	23,39	28,79	-15,28%	-45,84%	-33,34%	125,06	130,16	118,77	182,35	4,08%	-5,03%	45,81%
	10 Çevrim	17,99	44,09	24,59	29,69	145,08%	36,69%	65,04%	102,57	111,57	120,57	143,96	8,77%	17,55%	40,35%
%0.20 PP	0 Çevrim	136,76	91,17	61,18	53,38	-33,34%	-55,26%	-60,97%	167,35	215,94	129,56	305,31	29,03%	-22,58%	82,44%
	1 Çevrim	73,18	35,39	28,79	32,99	-51,64%	-60,66%	-54,92%	112,47	181,15	167,35	257,93	61,07%	48,80%	129,33%
	3 Çevrim	58,78	29,39	29,99	23,99	-50,00%	-48,98%	-59,19%	140,36	115,17	183,55	224,04	-17,95%	30,77%	59,62%
	5 Çevrim	43,19	30,59	27,59	29,99	-29,17%	-36,12%	-30,56%	125,06	112,77	143,06	149,36	-9,83%	14,39%	19,43%
	10 Çevrim	17,99	31,79	22,79	30,59	76,71%	26,68%	70,04%	102,57	115,77	117,87	118,17	12,87%	14,92%	15,21%
%0.25 PP	0 Çevrim	136,76	44,39	51,59	50,99	-67,54%	-62,28%	-62,72%	167,35	159,25	255,53	347,3	-4,84%	52,69%	107,53%
	1 Çevrim	73,18	20,39	34,19	30,59	-72,14%	-53,28%	-58,20%	112,47	176,95	223,14	295,11	57,33%	98,40%	162,39%
	3 Çevrim	58,78	25,19	28,79	26,39	-57,15%	-51,02%	-55,10%	140,36	127,76	183,55	190,74	-8,98%	30,77%	35,89%
	5 Çevrim	43,19	27,59	22,79	28,79	-36,12%	-47,23%	-33,34%	125,06	100,77	155,66	209,64	-19,42%	24,47%	67,63%
	10 Çevrim	17,99	27,59	29,69	34,19	53,36%	65,04%	90,05%	102,57	71,38	135,56	115,77	-30,41%	32,16%	12,87%

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı uzunluk ve oranlardaki polipropilen liflerle rastgele donatlandırılmış ince daneli zeminlerin CH-CL donma-çözülme davranışını incelemek üzere laboratuarda bir seri serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

-CH için:

- %0.15 ve %0.20 oranında polipropilen lifle donatlandırılmış numunelerde 1-3-5 çevrim sayılarında donma-çözülme dayanımının genelde azaldığı görülmüştür.
- %0.25 polipropilen lif ilave edilen numunelerde 10 çevrimde donma-çözülme dayanımında artış gözlenmiştir.
- Lif boyunun uzun olması (12mm) yüksek çevrimlerde donma-çözülme dayanımı üzerinde olumlu etki oluşturmuştur.
- Genel olarak kil zemin için donatılı numuneler donatısız numunelere göre çevrim sayısının artması ile donma-çözülme dayanımının azaldığı izlenmiştir.
- Serbest basınç deneylerinden polipropilen lif uzunluğu arttıkça her bir donma-çözülme çevriminde başlangıç elastisite modülünde genellikle bir azalma olduğu görülmüştür.
- Genel olarak polipropilen lif ile rastgele donatlandırılmış numunelerin, donatlandırılmamış numunelere göre daha duktıl bir davranış sergilemektedir.

-CL için:

- %0.15 ve %0.20 oranında polipropilen lifle donatlandırılmış numunelerde 1-3-5 çevrim sayılarında donma-çözülme dayanımının genelde azaldığı görülmüştür.
- %0.25 polipropilen lif ilave edilen numunelerde 10 çevrimde donma-çözülme dayanımında artış gözlenmiştir.

- Lif boyunun uzun olması (12mm) yüksek çevrimlerde donma-çözülme dayanımı üzerinde olumlu etki oluşturmuştur.
- Genel olarak kil zemin için donatılı numuneler donatısız numunelere göre çevrim sayısının artması ile donma-çözülme dayanımının azaldığı izlenmiştir.
- Serbest basınç deneylerinden polipropilen lif uzunluğu arttıkça her bir donma-çözülme çevriminde başlangıç elastisite modülünde genellikle bir azalma olduğu görülmüştür.
- Genel olarak polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış numunelerin, donatılandırılmamış numunelere göre daha duktıl bir davranış sergilemektedir.

Konuyla ilgili daha gerçekçi yargılara ulaşabilmek için, farklı polipropilen lif uzunlukları, zemin türü, donma çözülme çevrim sayısı, drenaj şartlar, zaman ve polipropilen oranlarında deneylerin devam ettirilmesi ileriki çalışmalar için önerilir.

KAYNAKLAR

- Adams, M. T., and Collin, J. G., 1997. Large Model Spread Footing Load Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Foundation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(1):66-72. . [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Aiban, S. A., and Ali, S. M., 2001. Nonwoven Geotextile-Sabkha and -Sand Interface Friction Characteristics Using Pull-Out Tests. *Geosynthetics International*, 8(3):193- 220. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Akbulut R.K., 2008. *Yüzey Aktif Madde Ile Muamele Edilen Kilin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2008
- Aksoy, İ.M., 1993, *Modern Yol İnşaatında Geotekstil Ve Geogrid Uygulaması Konularında Arastırma, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 115 s.
- Alawajı, H. A., 2001. Settlement and Bearing Capacity of Geogrid-Reinforced Sand over Collapsibe Soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 19:75-88. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Al Wahab, R.M., El-Kedrah, M.A., 1995. Using polipropilen fibers to reduce tension cracks and shrink/swell in a compacted clay, *Geotechnical Special Publication* 46/1, 791-805.
- Andersland, O.B., Ladanyi B., 2004. *Frozen Ground Engineering*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, USA.
- Ang, E.C., Erik, L.J., 2003. Specimen size effects for polipropilen fiber-reinforced silty clay in unconfined compression, *Geotechnical Testing Journal* 26/2, 191-200.
- Anonymous, 2008. <http://www.iihw.org/clay.html>. (06/06/08). (18:40). [Akbulut R.K., 2008. “Yüzey Aktif Madde Ile Muamele Edilen Kilin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri” Erzurum’da referans gösterilmiştir.]
- Anonymous, 2012. <http://www.polyfibers.com>. (08/01/12). (17:00).
- Anonymous, 2016. www.uspto.gov
- ASTM D 2166. Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM D 698-78. Fundamental principles of soil compaction, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Atalar, C., Das., M. B., Omar, M. T., ve Shin, E. C., 2002. Geogrid Takviyeli Zemin Yastık Altında Gerilme Dağılımı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Cilt II,, Eskişehir*, s.509-518. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Baykal, G., Saygılı, A., 2012. A new technique to improve freeze-thaw durability of fly ash, *Fuel* (102), 221-226.

- Bhargava AK, Engineering Materials-Polymers, Ceramics, Composites, Prentice Hall Limited, 2004. [Teker S.Z.,2012. “Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” Gümüşhane’de referans gösterilmiştir.]
- Burd, H. J. ,1995. Analysis of Membrane Action in Reinforced Unpaved Roads. Canadian Geotechnical Journal, 32:946-956. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Cindemir, Y.O., 1997, Yeni Bir İnsaat Malzemesi Olarak Geotekstiller, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 111 s. [Bağcı F., 2007. “Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin-Geosentetik Arayüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türler Açılarının Araştırılması” İzmirde referans gösterilmiştir.]
- Cruzda, K.A., Hohmann, M., 1997. Freezing effect on strength of clayey soils. Applied Clay Science 12, 165-187.
- Daniele, C., Picarelli L., Ricciuti A., and Rimold P., 1993. Laboratory Investigations on The Shear Strength of Geogrid Reinforced Soils. ASTM Special Technical Publication Symposium on Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures, 1190:119-137. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Erol A., 2007. C Sınıfı Uçucu Kül Katkılı siltlerin Dayanım ve Donma-Çözülme Direncinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- Ersoy H.Y., 2001. ‘Kompozit Malzemeler’ Literatür Yayıncılık Dağıtım, Pazarlama Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. İstanbul. [Teker S.Z.,2012. “Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” Gümüşhane’de referans gösterilmiştir.]
- Fakher, A., and Jones, C., 2001. When the Bending Stiffness of Geosynthetic Reinforcement is Important. Geosynthetics International, 8:445-460[Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Freilich, B.J., li, C., Zornberg, J.G., 2010. Effective shear strength of fiber-reinforced clays, 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil.
- Ghazavi, M., Roustaie, M., 2010. The influence of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay, Cold Regions Science and Technology 61, 125-131.
- Grim, R. E., 1959. Physico-Chemical properties of soils: Clay Minerals, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.85, No.SM2, pp 1-17. [Akbulut R.K., 2008. “Yüzey Aktif Madde İle Muamele Edilen Kilin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri” Erzurum’da referans gösterilmiştir.]
- Guerra D.L., Airolti, C., Sousa, S.K., 2008. Adsorption and thermodynamic studies of Cu(II) and Zn(II) on organofunctionalized-kaolinite. Applied Surface Science. 254, 5157–5163. [Akbulut R.K., 2008. “Yüzey Aktif Madde İle Muamele Edilen Kilin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri” Erzurum’da referans gösterilmiştir.]

- Gullu, H., Hazirbaba, K., 2010. Unconfined compressive strength and post-freeze-thaw behavior of fine-grained soils treated with geofiber and synthetic fluid, *Cold Regions Science and Technology* 62, 142-150.
- Haeri, S. M., Noorzad, R., and Oskoorouchi, A. M., 2000. Effect of Geotextile Reinforcement on The Mechanical Behavior of Sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 18(6):385-402. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Han, J. and Gabt, M. A., 2002. Numerical Analysis of Geosynthetic-Reinforced and Pile-Supported Earth Platforms Over Soft Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128:44-53. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Hazirbaba, K., Gullu, H., 2010. California bearing ratio improvement and freeze-thaw performance of fine-grained soils treated with geofiber and synthetic fluid, *Cold Regions Science and Technology* 63, 50-60.
- Hejazi, S.M., M. Sheikzadeh, S.M. Abtahi and A. Zadhoush, 2012. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers, *Construction and Building Materials* 30, 100-116.
- Holtz, R. D. and Kovacs, W. D., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey. [Akbulut R.K., 2008. "Yüzey Aktif Madde İle Muamele Edilen Kilin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri" Erzurum'da referans gösterilmiştir.]
- Jones, C., and Agaiby, S. W., 1995. Design of Reinforced Fill Systems Over Voids. *Canadian Geotechnical Journal*, 32:939-945. Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Kalkan, E., 2003. Oltu (Erzurum) killerinin bariyer olarak kullanımında geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. [Akbulut R.K., 2008. "Yüzey Aktif Madde İle Muamele Edilen Kilin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri" Erzurum'da referans gösterilmiştir.]
- Kamei T., Ahmed A., Shibi T., 2012. Effect of freeze-thaw cycles on durability and strength of very soft clay soil stabilised with recycled bassanite, *Cold Regions Science and Technology* 82, 124-129.
- Konta, J., 1995. Clay and man: Clay raw materials in the service of man. *Applied Clay Science*, 10, 275 – 335. [Akbulut R.K., 2008. "Yüzey Aktif Madde İle Muamele Edilen Kilin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri" Erzurum'da referans gösterilmiştir.]
- Kumar, A., Walia, B.S., Mohan, J., 2006. Compressive strength of polipropilen fiber reinforced highly compressible clay, *Construction and Building Materials* 20/10, 1063-1068.
- Kumar, A., OHRİ, L. M., and Bansal, K. R., 2007. Bearing Capacity Tests of Strip Footings on Reinforced Layered Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25:139-150. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]

- Kváernó, H.S., Øygarden, L., 2006. The influence of freeze-thaw cycles and soil moisture on aggregate stability of three soils in Norway, *Catena* 67, 175-182.
- Laman, M., and Yıldız, A. A., 2003. Model Studies of Ring Foundations on Geogrid-Reinforced Sand. *Geosynthetics International*, 10(5):142-152. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Lee, K. M., and Manjunath, V. R., 2000. Soil-Geotextile Interface Friction by Direct Shear Tests. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(1):238-252. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Li, C., 2005. Mechanical Response of Fiber-reinforced Soil, Thesis of PhD, The University of Texas, Austin.
- Liu, J., Wang, T., Tian, Y., 2010. Experimental study of the dynamic properties of cement- and lime- modified clay soils subjected to freeze-thaw cycles, *Cold Regions Science and Technology* 61, 29-33.
- Long, P.V, Bergado, D.T, Balasubramaniam A.S, Delmas P.,1997. Interaction Between Soil and Geotextile Reinforcement. *Proceedings of the 1997 1st National Conference of the ASCE Geo-Institute, Geo-Logan, USA*, pp. 560-578. . [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Love, J. P., 1984. Model Testing Of Geogrids in Unpaved Roads. Oxford University, Doctor's Thesis, Oxford, 219p. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Maher, M.H., Ho, Y.C., 1994. Mechanical properties of kaolinite/fiber soil composite, *Journal of Geotechnical Engineering* 120, 1381-1393.
- Marandi SM, Bagheripour MH, Rahgozar R, Zare H.,2008 Strength and ductility of randomly distributed palm fibers reinforced silty-sand soils, *American Journal of Applied Sciences* 209–220
- Mollamahmutoğlu M.,Kayabalı K. 2005 Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar Donald P.Coduto "Gazi Kitabevi .Ankara.
- Qi, J., Wei, M., Song, C., 2008. Influence of freeze-thaw on engineering properties of silty soil, *Cold Regions Science and Technology* 53, 397-404.
- Önalp, A., 2002. *Geotechnical Information I, Soils and Mechanics with Solving Problems*, Birsen Publisher, İstanbul, Turkey, (in Turkish).
- Ö, A., 2007. Ankara Kilinin Bazı Geoteknik Özelliklerine F Tipi Polifiber Malzemenin Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Özcan A., 2006. "Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması" Yüksek Lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Özdemir, A., 2007. Ankara Kilinin Bazı Geoteknik Özelliklerine F Tipi Polifiber Malzemenin Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Özkul, Z.H., Baykal, G., 2007. Shear behavior of compacted rubber polipropilen fiber-clay composite in drained and undrained loading, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 133/7, 767-781.

- Öztürk, E., 2006. Adapazarı Ovasındaki Zeminlerin Genel Dağılımı ve Uygun Zemin İyileştirme Yöntemlerinin Belirlenmesi. Sakarya Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 196s
- Patra, C. R., Das, M. B., and Shin, E. C., 2005. Ultimate Bearing Capacity of Eccentrically Loaded Strip Foundations on Sand Reinforced With Geogrids. Paper Presented in International Symposium on Tsunami Reconstruction with Geosynthetics, 1:335-344. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Rafalko, S.D., Brandon, T.L., Filz, G.M., Mitchell, J.K., 2007. Polipropilen fiber reinforcement for rapid stabilization of soft clay soils, Transportation Research Record 2026, 21-29.
- Ramaji, A.E., 2012. A review on the soil stabilization using low-cost methods, Journal of Applied Sciences Research 8(4), 2193-2196.
- Saçak M., 2010. "Polimer Kimyası" Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara [Teker S.Z.,2012. "Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi" Gümüşhane'de referans gösterilmiştir.]
- Sawyer L, Grubb D and Meyers G, Polymer Microscopy, Springer, Third Edition, 2008. [Teker S.Z.,2012. "Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi" Gümüşhane'de referans gösterilmiştir.]
- Shah, B., (1995). Fiber Reinforced Composites, American Concrete Institute, Detroit USA, pp. 142-149. [Özcan A., 2006. "Endüstriyel Atıklar ve Polipropolen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması" Zonguldak'da referans gösterilmiştir.]
- Shin, E. C., Das, M. B., 2000. Experimental Study of Bearing Capacity of a Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand. Geosynthetics International, 7(1):59-71. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Shita S.A., Baghdadi Z., 2001. Simplified method to assess freeze-thaw durability of soil cement, Journal of Materials in Civil Engineering, July/August 2001, 243-247.
- Singh Hp, Bagra M, 2013. Strength and sti_ness response of Itanagar soil reinforced with jute fiber, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology,4358–4367.
- Tan, S. A., Chew, S. H., Wong, W. K., 1998. Sand-Geotextile Interface Shear Strength by Torsional Ring Shear Tests. Geotextiles and Geomembranes, 16(3):161-174. [Akyüz İ., 2009. "Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Şanlıurfa'da referans gösterilmiştir.]
- Taşpolat, L.T., Zorluer, İ., Koyuncu, H., 2006. Effect of waste marble powder on freezing-thawing of impermeable clay liners, Technical Research 2, 11-16 (in Turkish).
- Teker S.Z.,2012. Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012

- Tulumer, G.,2006. Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- Tunç A., 2002. Geotechnic and Its Applications on Road Engineering, Atlas Publisher, İstanbul, Turkey, (in Turkish).
- Türker, S., Balanlı, A., (1992). Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 45-72. [Özcan A., 2006. “Endüstriyel Atıklar ve Polipropolen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması” Zonguldak’da referans gösterilmiştir.]Turkish State Meteorological Service (Erzurum 12th Regional Offices).
- Uzuner, B.A., 2007. “Temel Zemin Mekaniği”, Derya Kitabevi Yayınevi, Trabzon.
- Villard, P., and Giraud, H., 1998. Three-Dimensional Modeling of The Behavior of Geotextile Sheets as Membranes. Textile Research Journal, 68:797-806. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Wasti, Y., 1992, İnsaat Mühendisliğinde Geotekstil ve Geomembran Uygulamaları Eğitim Semineri, 98 s. [Bağcı F.,2007. “Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin–Geosentetik Arayüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türler Açılarının Araştırılması”İzmirde referans gösterilmiştir.]
- Yarbaşı, N., Kalkan, E., Akbulut, S., 2007. Modification of the geotechnical properties, as influenced by freeze-thaw, of granular soils with waste additives, Cold Regions Science and Technology 48, 44-54.
- Yetimoglu T., Salbas, O., 2003. A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete polipropilen fibers, Geotextiles and Geomembranes 21, 103-110.
- Yetimoğlu, T., WU, J., and Sağlamer, A., 1994. Bearing Capacity of Rectangular Footing on Geogrids-Reinforced Sand. Journal of Geotechnical Eng. ASCE, 120(12):2083-2099. . [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Yıldırım S., 2002. “Zemin İncelemesi ve Temel Tasarım” , Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Yıldız, A. A., Laman, M., Örnek, M., ve Demir, A., 2006. Donatılı Kum Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Sayısal Analizi, İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, s.75-84.[Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Yılmaz, Y., ve Özaydin, V., 2008. Gölet Veya Sulama Kanalı Projelerinde Kullanılan Örselenmiş Zeminlerin İndeks Özellikleri İle Kompaksiyon Karakteristiklerinin İlişkilendirilebilirliği. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, ZM.12, 16-17 Ekim, Selçuk Üniversitesi, Konya, 339-350 [Sevencan, Ü., 2009. “Polipropilen fiber ve uçucu kül katkıları Ankara kilinin geoteknik özelliklerinin araştırılması”. Kırıkkale’de referans gösterilmiştir.]
- Zaimoğlu, A.S., 2010. Freezing-thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers, Cold Regions Science and Technology 60, 63-65.
- Zaimoglu AS, Çalik Y., Akbulut R.K, Yetimoglu T, 2016. A Study on Freeze-Thaw Behavior of Randomly Distributed Fiber-Reinforced Soil, Periodica Polytechnica Civil Engineering 60(1).

- Zhan, C., and Yin, J. H., 2001. Elastic Analysis of Soil-Geosynthetic Interaction. *Geosynthetics International*, 8:27-48. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]
- Zhang, M. X, Javadi, A. A., and Min, X., 2006. Triaxial Tests of Sand Reinforced with 3D Inclusions. *Geotextiles and Geomembranes*, 24(4):201- 209. [Akyüz İ., 2009. “Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Şanlıurfa’da referans gösterilmiştir.]



ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Ağrı Eleşkirt’de doğdu. Sırasıyla 70.Yıl İlköğretim Okulu ve liseyi Kars Sarıkamış Lisesi’nde okudu. 1999 yılında Erzurum Atataük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başladı ve Üniversiteden 2003 yılında mezun oldu. 2006 yılında Erzurum Bayındırlık İl Müdürlüğüne Kontrol Mühendisi olarak atandım. 2009 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

