

## Polipropilen Lif ile Rastgele Donatılan Bir CH Kil Zemininin Donma-Çözülme Çevrimlerinde Serbest Basınç Dayanımının Araştırılması

Yasin ÇALIK<sup>1</sup>; Rahim Kağan AKBULUT<sup>2\*</sup>, Ahmet Şahin ZAİMOĞLU<sup>3</sup>, Temel YETİMOĞLU<sup>4</sup>

**ÖZET:** Katkı ve donatı malzemeleri, ince ve kaba daneli zeminlerin bazı mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacı ile uygulamada sıkça kullanılmaktadır. Fakat sınırlı sayıdaki çalışmada ayrık polimer lifler ile donatılı ince daneli zeminler konu edilmiştir. Bu çalışmada, yüksek plastisiteli bir kil (CH) zemin içerisine rastgele dağıtılmış farklı uzunluktaki (3 mm, 6 mm ve 12 mm) polipropilen liflerin donma-çözülme davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için laboratuvarında bir seri serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Polipropilen lif oranı, donatılı zeminin toplam kuru ağırlığının %0.15, %0.20 ve %0.25'i olarak seçilmiştir. Bu oranlar her bir propilen lif uzunluğu için aynı seçilmiştir. Donma-çözülme çevrim sayısı 1, 3, 5 ve 10 olarak alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda polipropilen lif uzunluğu arttıkça her bir donma-çözülme çevriminde başlangıç elastisite modülünün azaldığı belirlenmiştir. Donatılı numuneler, daha duktıl bir davranış sergilemiştir. %0.15 ve %0.20 polipropilen lifle donatılan zemin numunelerinin 1, 3 ve 5 çevrim sayılarında donma-çözülme dayanımının azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Donma-çözülme, Serbest basınç dayanımı, polipropilen lif, ince daneli zemin

### Investigation of Unconfined Compressive Strength in a Freezing-Thawing Cycle of a CH Clay Soil Randomly Equipped with Polypropylene Fiber

**ABSTRACT:** Additives and reinforcing materials are frequently used in practice with the aim of improving some engineering properties of fine and coarse grained soils. However, separate polymer fibers and fine-grained soils have been mentioned in some limited number of studies. In this study, a series of unconfined compression and freeze-thaw tests were conducted in laboratory in order to investigate the effects of polypropylene fibers of different lengths (3 mm, 6 mm, and 12 mm) dispersed in high plasticity clay (CH) randomly on freeze-thaw behaviors. Fiber percentage for each length was chosen as 0.15%, 0.20%, and 0.25% of the total dry weight of the reinforced soil. Number of freeze-thaw cycles was taken as 1, 3, 5, and 10. As a result of the experiments, it was determined that, the initial modulus of elasticity of each freeze-thaw cycle decreases as the polypropylene fiber length increases. Reinforced samples behaved more ductile. As the number of cycles increased, freeze-thaw resistance in reinforced (0.15%-0.20%) samples decreased in general for 1-3-5 cycles.

**Keywords:** Freeze-thaw, unconfined compression strength, polypropylene fiber, fine-grained soil

<sup>1</sup>Yasin CALIK (Orcid ID: 0000-0002-8728-0126), Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup>Rahim Kağan AKBULUT (Orcid ID: 0000-0002-6342-1019), Atatürk Üniversitesi, Erzurum MYO, İnşaat Bölümü, Erzurum, Türkiye

<sup>3</sup>Ahmet Şahin ZAİMOĞLU (Orcid ID: 0000-0001-5245-0212), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Erzurum, Türkiye

<sup>4</sup>Temel YETİMOĞLU (Orcid ID: 0000-0001-5603-2229), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü (Emekli), Erzurum, Türkiye

\*Sorumlu yazar/Corresponding Author: Rahim Kağan AKBULUT, e-mail: rkakbulut@atauni.edu.tr

\* Bu çalışma Yasin ÇALIK'ın Yüksek Lisans tezinin bir bölümüdür. Makalenin bir kısmı 4-5 Ekim 2012 tarihinde Isparta'da düzenlenen Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresinde bildiri olarak sunulmuştur.

## GİRİŞ

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, tamamı sürekli don halde olan ve belirli kesimleri don halde olan zeminler olarak alt kısımlara ayrılabilir (Andersland ve Ladanyi, 2004). Mevsimsel iklim değişikliklerinin yaşandığı bölgelerde sıcaklık değişimlerinin etkisi ile zeminler yılda birkaç kez donma-çözülme 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 ve Hohmann, 1997; Shita ve Baghdadi, 2001; Qi ve ark., 2008; Kamei ve ark., 2012; Baykal ve Saygılı, 2012). Donma-çözülme 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 ve Hohmann, 1997). Bu nedenle son yıllarda zeminlerin donma-çözülme sonucu geoteknik özelliklerinde meydana gelen değişim ile ilgili çalışmalar literatürde yaygın olarak yer almaktadır (Yarbaşı ve ark., 2007; Zaimoğlu, 2010; Hazirbaba ve Güllü, 2010; Ghazavi ve 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 ve ark., 2010; Hazirbaba ve Güllü, 2010; Kamei ve ark., 2012; Baykal ve Saygılı, 2012) ve donatı (Yetimoğlu ve Salbas, 2003; Hazirbaba ve Güllü, 2010; Hejazi ve ark., 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 ve El-Kedrah, 1995; Ang ve Erik, 2003; Kumar ve ark., 2006; Özkul ve Baykal, 2007; Rafalko ve ark., 2007).

Çalışmada kil zemini içerisine düzensiz bir şekilde dağıtılan polipropilen lifler ilave edilerek elde edilen rastgele donatılı zemin numuneleri üzerinde donma – çözülme davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla laboratuvarında serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Literatürde polipropilen liflerin zemin içerisine bu şekilde ilave edilmesi çok az sayıda çalışmada konu edinmiştir. Deneylerde polipropilen lif uzunlukları ile donma-çözülme çevrimi parametre olarak seçilmiştir. Donatılı deneylerden elde edilen sonuçlar donatısız deneylerden elde edilen sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan ince daneli zemin Erzurum ili Oltu ilçesinden temin edilmiştir. Erzurum Meteoroloji Bölge Müdürlüğü İstasyonlarından 2008-2019 yılları arasında bölgeye ait şu ana kadar zeminin 5-10-20-50 ve 100 cm derinliklerindeki kayıt edilen ortalama aylık zemin sıcaklıkları Çizelge 1'de verilmiştir. Donatı malzemesi olarak "M" tipi polipropilen lif kullanılmıştır (3 mm, 6 mm ve 12 mm) (Şekil 1). Zeminlere ait bazı özellikler Çizelge 2'de, Polipropilen liflere ait üretici firma tarafından temin edilen fiziksel ve mukavemet özellikler Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Derinliğe bağlı olarak aylık ortalama zemin sıcaklık verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 12. Bölge Erzurum'dan elde edilmiştir.)

YIL		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DERİNLİK	AYLAR	AYLIK ORTALAMA SICAKLIKLAR (°C)											
5 cm Derinlik	1	-10.6	-8.1	-1	-5.2	-5.4	-5.9	-4.7	-1.4	-3.3	-5.5	-1.8	-1.2
	2	-8.6	-1.7	0	-3.9	-6.5	-	-2.5	-1.5	-1.2	-4.6	-0.5	-
	3	1.8	1.2	3	1.5	-2.7	-	5.3	2.6	3.9	3.0	5.1	-
	4	8.6	6.3	6.4	7.3	9.6	-	9.9	8.2	10.8	8.6	10.4	-
	5	12.6	14.1	14	13.9	14.8	-	14.9	14.7	14.7	14.0	13.6	-
	6	19.7	17.6	20	20	21	-	22.6	23.3	19.3	22.2	18.2	-
	7	25.2	21	23.8	24.1	23	0	28.3	29.4	24.3	28.2	24.2	-
	8	23.4	20.9	23.5	23.8	23.2	0	28.3	27.2	24	25.9	21.2	-
	9	17.9	15.2	19.9	17.7	18.4	0	20.7	23.6	15	21.2	17.6	-
	10	10.2	10.3	10.8	8.6	10.8	7.9	10.7	11.1	9.9	9.4	11.6	-
	11	2.3	2.1	2	-1.1	4.7	5.0	2.4	3.2	1.5	3.1	3.6	-
	12	-5.8	-0.8	-1.8	-5.8	-1.5	-5.3	0.8	-4.3	-5.2	-1.2	1	-
10 cm Derinlik	1	-10.5	-7.7	-0.8	-4.5	-5.6	-6	-4	-0.7	-2.5	-4.4	-3	-1.9
	2	-8.6	-1.6	-0.2	-3.3	-6.6	-	-2.4	-1	-1.1	-3.8	-2.1	-
	3	1.2	0.7	3.3	1.1	-2.9	-	5.3	2.4	4.2	2.8	3.9	-
	4	8.1	6.1	6.7	6.7	8.8	-	9.7	8.1	10.8	7.9	9.3	-
	5	12.1	13.8	13.5	13.2	14.5	-	14.8	14.3	14.7	13.2	12.7	-
	6	19	17.5	19.7	19.1	20.2	-	22.2	22.8	19.1	21.1	17.7	-
	7	24.3	21	23.1	23.4	21.5	0	27.8	28.4	24.6	27.2	24	-
	8	23.2	20.5	23.3	23.1	22	0	28.1	26.8	24.1	25.6	21.4	-
	9	18	15.2	19.6	17.4	17.9	0	21.2	23.7	15.7	20.9	17.6	-
	10	10.3	10.5	11.4	9.4	11	8.4	11.3	12.1	10.5	9.2	11.3	-
	11	2.5	2.8	2	-0.2	4.9	5.7	3.2	4.3	2.5	2.5	2.8	-
	12	-5.4	-0.6	-0.6	-5.3	-1.1	-3.8	1.4	-2.9	-4	-2.2	0	-
20 cm Derinlik	1	-10	-6.9	-0.3	-3.5	-4.1	-5	-3.5	0	-1.8	-3.4	-2.3	-1.1
	2	-8.2	-1.8	-0.3	-3.1	-2.8	-	-2.5	-0.8	-1.2	-3.2	-2.2	-
	3	0.1	0.1	3.1	0.5	-	-	4.8	1.7	4	1.9	3.4	-
	4	7.1	5.9	6.9	5.6	7.8	-	8.8	7.4	10.3	7.1	8.6	-
	5	11.2	12.4	13.2	10.5	13.8	-	14	13.2	14.1	12.3	11.9	-
	6	17.6	16.4	18.7	16.6	19.2	-	20.8	21.3	18.2	19.5	16.7	-
	7	22.7	20.4	22.5	21.9	20.6	0	26.4	26.9	24.1	25.4	22.9	-
	8	22.1	20	22.7	22.8	21.6	0	27.2	26	23.7	24.5	21.1	-
	9	17.5	15.6	19.9	17.6	17.8	0	21.4	23.4	16.3	20.6	17.7	-
	10	10.4	10.4	11.5	9.7	11.4	8.8	11.7	13	11	9.9	11.7	-
	11	3.1	3.4	2.7	0.8	5.5	6.3	4.1	5.3	3.5	3.2	3.4	-
	12	-4.3	-0.1	0.1	-4.6	-0.5	-2.0	1.8	-1.4	-2.5	-1.6	0.5	-

**Çizelge 1.** Derinliğe bağlı olarak aylık ortalama zemin sıcaklık verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 12. Bölge Erzurum'dan elde edilmiştir.) (devam)

<b>50 cm Derinlik</b>	<b>1</b>	-5.2	-3.5	0.7	-1.2	-1.9	-1	-0.9	2.2	0.9	-0.1	0.1	1.4
	<b>2</b>	-5.2	-1	0.1	-2	-3.1	-	-0.6	1	0.7	-0.6	-0.3	-
	<b>3</b>	-0.7	0.8	3	0.5	-2.1	-	4.5	2.2	4.7	1.7	3.3	-
	<b>4</b>	4.6	5.9	6	5.6	5.5	-	7.9	7	10	6.3	7.9	-
	<b>5</b>	10.2	11	10.9	10.3	12.4	-	13	11.7	13.7	11	11.2	-
	<b>6</b>	15.5	15	16.3	16.2	17.1	-	18.3	18.5	16.8	16.8	15.2	-
	<b>7</b>	20.2	19.1	20.6	20.7	18.9	0	23.9	23.9	22.8	22.3	20.8	-
	<b>8</b>	21.2	19.2	20.7	21.6	20.7	0	25.7	25.1	23.3	23	20.6	-
	<b>9</b>	18.2	16.6	19.2	18.2	18.1	0	22.3	23.7	18.5	20.6	18.4	-
	<b>10</b>	12.2	11.8	11.5	12.1	13.4	10.5	13.9	16.2	13	12.7	13.7	-
	<b>11</b>	6	6.1	4.9	4.7	7.9	8.6	7.2	8.9	6.9	6.1	6.2	-
	<b>12</b>	0.4	1.5	2.3	-1.2	2.6	2.3	4.1	3	1.5	1.2	3	-
<b>100 cm Derinlik</b>	<b>1</b>	1.1	0.8	4	3.5	1.8	2.9	2.9	4.8	4.9	3.7	2.9	4.3
	<b>2</b>	-0.9	1	3	1.1	0.5	-	2.1	3.5	4.1	2.6	1.9	-
	<b>3</b>	-0.4	2.1	4.3	1.5	0.2	-	4.3	3.3	6	2.8	3.2	-
	<b>4</b>	1.8	5.1	6.1	5	4	-	7	6.3	9.6	5.2	6.7	-
	<b>5</b>	8	8.9	10	8.6	9.9	-	11.1	9.6	12.5	8.8	9.7	-
	<b>6</b>	12.2	12.4	14.3	13.2	13.9	-	14.7	14.7	14.9	13.2	12.7	-
	<b>7</b>	16.2	15.6	17.5	17.3	16.1	0	19.8	19.4	19.5	17.9	17.2	-
	<b>8</b>	18.5	17.1	18.9	18.8	18.5	0	22.5	22.7	21.1	20.1	18.5	-
	<b>9</b>	17.3	16.1	18.8	17.8	17.7	0	21.6	23.4	19.5	19.3	17.9	-
	<b>10</b>	13.8	13.3	14.9	14.1	14.4	12.6	16	19.2	15.1	14.9	14.9	-
	<b>11</b>	9.4	9.3	10.1	8.9	10.5	11.2	10.6	12.9	10.5	9.6	9.3	-
	<b>12</b>	5.2	5.3	6.7	4.2	5.9	6.7	7	8	5.9	5	5.9	-



**Şekil 1.** Polipropilen lif

**Çizelge 2.** Deneylerde kullanılan CH kilinin bazı özellikleri (Çalik, 2017)

Özellikler	Değerler
Özgül Ağırlık, $G_s$	2.67
Likit Limit <sup>1</sup> , $w_L$ (%)	83
Plastik Limit <sup>2</sup> , $w_p$ (%)	34
Plastisite İndisi, $I_p$ (%)	49
Optimum Su Muhtevası <sup>3</sup> , $w_{opt}$ (%)	33
Mak. Kuru Birim Hacim Ağırlığı <sup>3</sup> , $\gamma_{kmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	13
Serbest Basınç Mukavemeti <sup>4</sup> , (kPa)	136
Zemin sınıfı (USCS <sup>5</sup> )	CH

<sup>1</sup> $w_L$ , BS 1377 (Part2-1990)'e göre bulunmuştur, <sup>2</sup> $w_p$ , ASTM D 4318-00 (2000)'e göre bulunmuştur, <sup>3</sup>Standart Proktor Deneyinden elde edilmiştir (ASTM D 698-78), <sup>4</sup>Serbest Basınç Deneyi, ASTM D 2166'e göre bulunmuştur, <sup>5</sup>USCS, ASTM D 2487-17'e göre bulunmuştur.

**Çizelge 3.** Polipropilen lif'in bazı özellikleri (Üreticiden alınmıştır)

Özellik	Değer
İçerik	% 100 saf Polipropilen
Görünüş	İnce Saç Telli
Uzunluk, (mm)	3-6-12
Çekme Dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )	500-700
Uzama, (%)	25
Renk	Şeffaf
Yumuşama	150 °C
Ergime	160 °C

Deneylerde kullanılan ince daneli zemin 24 saat süre ile  $105 \pm 5$  °C' de etüvde bekletilmiştir. Polipropilen lif uzunlukları 3-6-12 mm olarak seçilmiş ve zemin içerisine donatılı zeminin toplam kuru ağırlığının %0.15, 0.20 ve 0.25 oranlarında ilave edilmiştir. Bu oranlar polipropilen liflerin seçilen tüm uzunluklar aynı alınmıştır. Belirlenen orandaki polipropilen lif kuru haldeki zemin ile birlikte karıştırılmıştır. 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 amacıyla ASTM D 698-78'e uygun olarak kompaksiyon deneyi yapılmıştır.

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 2). Bu deneyler hem donatsız hem de donatılı kil zemin numuneleri

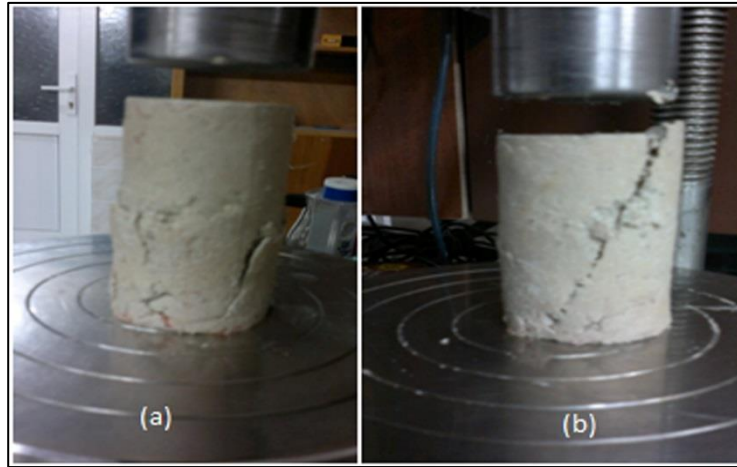
üzerinde yapılmıştır. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında hazırlanan numuneler su muhtevalarında değişiklik olmaması için alüminyum folyo ile sarılmıştır (Kvárnó ve Öygarden, 2006) (Şekil 2). Numunelerin alüminyum folyoya yapışmasını önlemek amacı ile folyo üzerine ince bir film tabakası olacak şekilde vazelin sürülmüştür (Qi ve ark., 2008; Güllü ve Hazırbaba, 2010). Hazırlanan numuneler 6 saat -20°C ve 6 saat 25°C'de alacak şekilde programlanabilir donma kabinine yerleştirilmiştir. Bu işlem 1 çevrim olarak isimlendirilmiştir (Ghazavi ve Roustaie, 2010). Donma-çözülme çevrim sayısı 1, 3, 5 ve 10 olarak belirlenmiştir. Polipropilen lif yüzdeleri ve uzunlukları ile donma-çözülme çevrim sayıları literatüre uygun olarak seçilmiştir (Ghazavi ve Roustaie, 2010; Liu ve ark., 2010; Hazırbaba ve ark., 2011). Deney süresince numuneler donma kabininden çıkarılmamıştır.



Şekil 2. Tam otomatik donma-çözülme kabini içi

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. 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'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Tipik kırılma yüzeyleri (a) Donatılı (b) Donatısız

Donma-çözülme dayanıklılıkları, numunelerin donma-çözülme dane kayıpları yüzdesi olarak alınmıştır. Numunelerin donma-çözülme sonrası dane kaybı (DÇD) yüzde cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Zaimoğlu ve ark., 2012):

$$DÇD (\%) = (BA - DÇSA) / BA * 100 \quad (1)$$

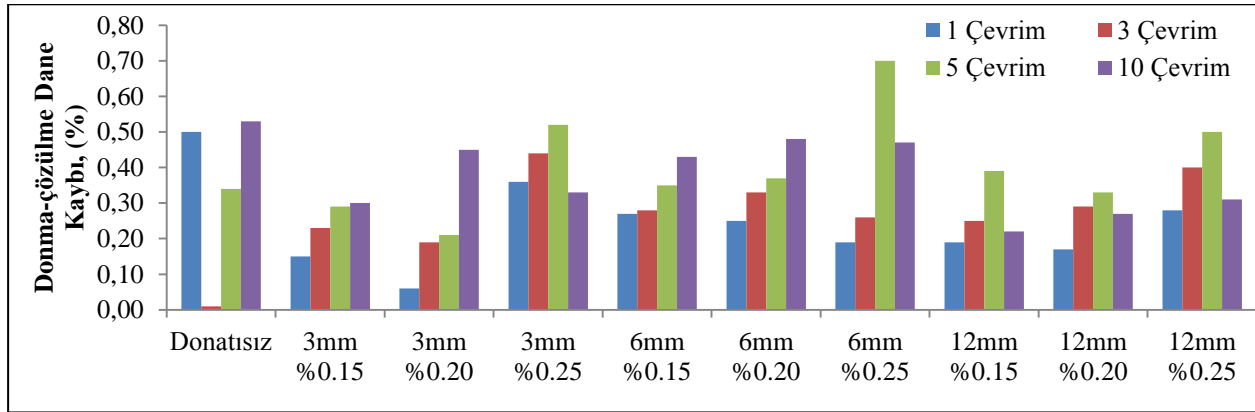
Burada;

BA: Numunelerin başlangıç ağırlıkları,

DÇSA: Numunelerin donma-çözülme sonrası ağırlıkları olarak alınmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı uzunluk (3 mm, 6 mm ve 12 mm) ve yüzdelerde (%0.15, %0.20 ve %0.25) polipropilen lif ile donatılı ve donatısız kil zemine ait 0, cümleler ile 1, 3, 5 ve 10 donma-çözülme çevrim sonrası elde edilen verilerden yararlanılarak çizilen donma-çözülme dane kaybı grafiği Şekil 4'de gösterilmiştir. %0.15, %0.20 ve %0.25 polipropilen lif ile donatılı numunelere ait gerilme-deformasyon ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) eğrileri ise Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Donma-çözülme dayanıklılığı değişimi (Donatılı ve donatısız numuneler)

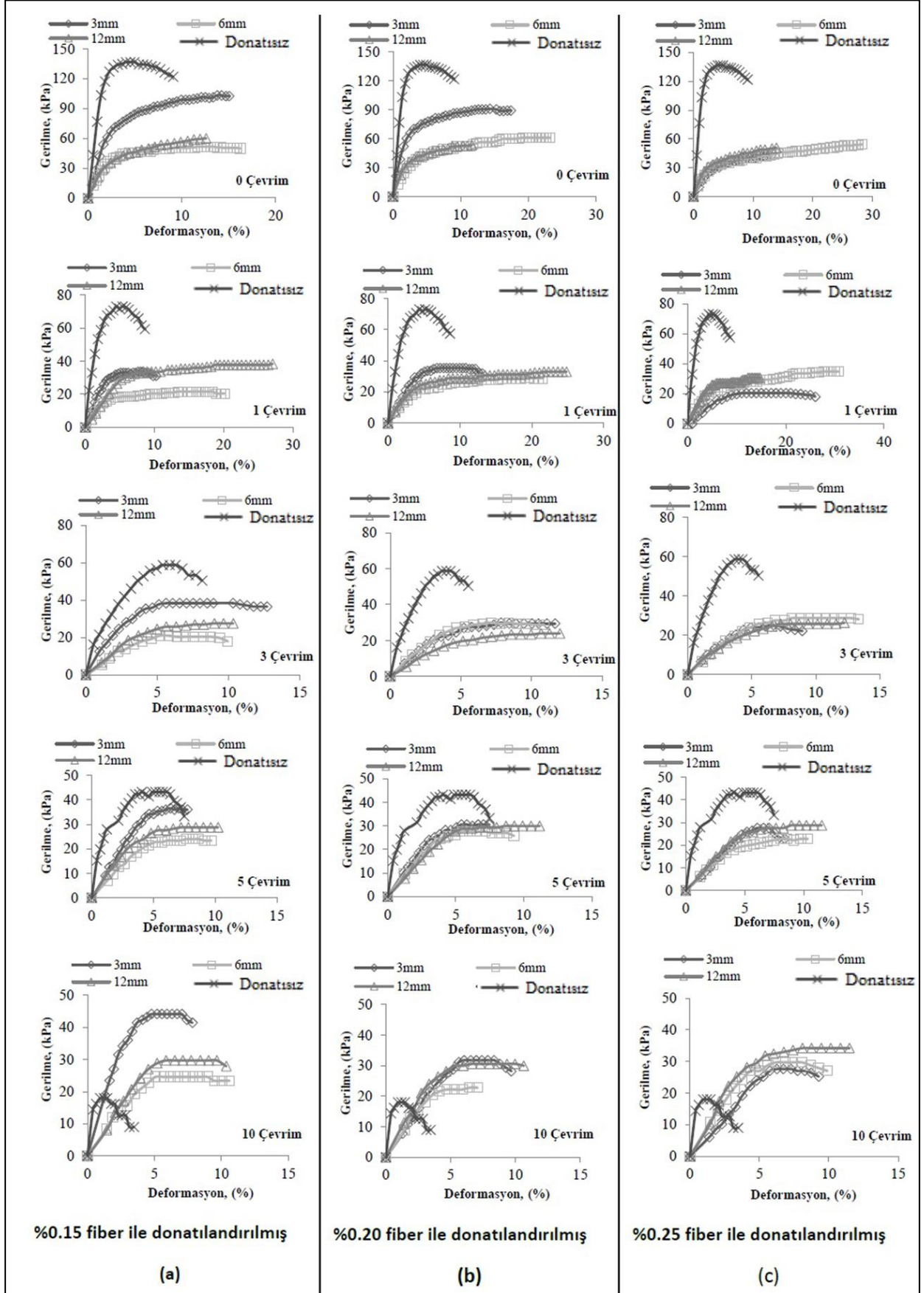
Şekil 4 incelendiğinde çevrim sayısının artmasıyla donatılı (düşük yüzde %0.15-%0.20) numunelerde düşük çevrimlerde (1-3-5) donma-çözülme dayanımının genelde azaldığı görülmektedir. Buna kil zeminin optimum su muhtevasının fazla olmasının yol açtığı düşünülmektedir. Zira literatürde ince daneli zeminlerin dokusu üzerinde su muhtevasının etkisi olduğu belirtilmektedir (Önalp, 2002).

Şekil 4'de %0.25 polipropilen lif ile donatılı numunelerde ise yüksek çevrimlerde (10) donma-çözülme dayanımında artış gözlenmiştir. Buna, numune içerisinde ağırlıkça daha fazla polipropilen lifin dane ile yer değişmesinin sebep olabileceği düşünülmektedir. Uzun polipropilen lifler (12 mm) ile donatılı zemin numunelerinde yüksek çevrimlerde donma-çözülme dayanımı artırıcı yönde etki ettiği görülmektedir. Genel olarak donatılı numunelerin artan çevrim sayısı ile donma-çözülme dayanımlarının azaldığı söylenebilir.

Şekil 5 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 donatılı numunelerde su drene olurken polipropilen fiberlerin bulunduğu yerlerde su muhtevasının artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla, polipropilen lif ile zemin arasındaki sürtünme azalmakta ve bunun da kılcal bir çatlak gibi zeminin basınç mukavemetinin düşmesine neden olabileceği sanılmaktadır (Maher ve Ho, 1994; Freilich ve ark., 2010). Ayrıca boşluk suyu donarak zeminin boşluklarında buz mercekleme oluşturmaktadır. Buz mercekleri 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 basınç mukavemetinin düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir. Yine, zaman ve drenajın donatılı zeminlerde basınç mukavemeti üzerinde etkili olduğu (Freilich ve ark., 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. Literatürdeki bulgulara paralel olarak polipropilen lif ile rastgele donatılı numunelerin, genelde donatısız numunelere göre daha duktıl bir davranış sergilediği görülmüştür (Yetimoğlu ve Salbaş, 2003; Freilich ve ark., 2010).

## Polipropilen Lif ile Rastgele Donatılan Bir CH Kil Zemininin Donma-Çözülme Çevrimlerinde Serbest Basınç Dayanımının Araştırılması



Şekil 5. Gerilme-deformasyon eğrileri (a) %0.15 donatı, (b) %0.20 donatı, (c) %0.25 donatı



## SONUÇ

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

- %0.15 ve %0.20 oranında polipropilen lifle donatılı 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.
- Polipropilen lif boyunun uzun olması (12 mm) 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 donatılı numuneler, donatısız numunelere göre daha düktil 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.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma çalışmasına, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında destek sağlamıştır. Yazarlar bu

destekten dolayı Atatürk Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirler.

## KAYNAKLAR

- Al Wahab RM, El-Kedrah MA, 1995. Using Polipropilen Fibers to Reduce Tension Cracks and Shrink/Swell in a Compacted Clay. Geotechnical Special Publication, 46(1): 791-805.
- Andersland OB, Ladanyi B, 2004. Frozen Ground Engineering, 2nd edn. USA: John Wiley & Sons.
- Ang EC, Erik LJ, 2003. Specimen Size Effects for Polipropilen Fiber-Reinforced Silty Clay in Unconfined Compression. Geotechnical Testing Journal, 26(2): 191-200.
- 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 2487-17. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM D 698-78. Fundamental Principles of Soil Compaction. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM D 4318-00, 2000. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Baykal G, Saygılı A, 2012. A New Technique to Improve Freeze-Thaw Durability of Fly Ash. Fuel 102: 221-226.

- BS 1377 Part 2 1990. Methods of Test For Soils for Civil Engineering Purposes. Classification Tests. British Standards Institution.
- Cruzda KA, Hohmann M, 1997. Freezing effect on Strength of Clayey Soils. *Applied Clay Science* 12: 165-187.
- Çalik Y, 2017. Ayrık Sentetik Liflerle Rastgele Donatılan İnce Daneli Zeminlerde Donatı Uzunluğunun Donma-Çözünme Davranışı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Freilich BJ, Li C, Zornberg JG, 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.
- Güllü 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.
- Hazirbaba K, Güllü 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.
- Hazirbaba K, Zhang Y, Hulseley JL, 2011. Evaluation of Temperature and Freeze-Thaw Effects on Excess Pore Pressure Generation of Fine-Grained Soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31: 372-384.
- Hejazi SM, Sheikhzadeh M, Abtahi SM, Zadhoush A, 2012. A Simple Review of Soil Reinforcement by Using Natural and Synthetic Fibers. *Construction and Building Materials*, 30: 100-116.
- 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.
- Kumar A, Walia BS, Mohan J, 2006. Compressive Strength of Polipropilen Fiber Reinforced Highly Compressible Clay. *Construction and Building Materials*, 20(10): 1063-1068.
- Kvárnó HS, Öygarden L, 2006. The Influence of Freeze-Thaw Cycles and Soil Moisture on Aggregate Stability of Three Soils in Norway. *Catena*, 67: 175-182.
- 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.
- Maher MH, Ho YC, 1994. Mechanical Properties of Kaolinite/Fiber Soil Composit. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120: 1381-1393.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü 12. Bölge Erzurum.
- 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. Geoteknik Bilgisi I Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.

- Özkul ZH, 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.
- Rafalko SD, Brandon TL, Filz GM, Mitchell JK, 2007. Polipropilen Fiber Reinforcement for Rapid Stabilization of Soft Clay Soils. *Transportation Research Record*, 2026: 21-29.
- Ramaji AE, 2012. A Review on the Soil Stabilization Using Low-Cost Methods. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(4): 2193-2196.
- Shita SA, Baghdadi Z, 2001. Simplified Method to Assess Freeze-Thaw Durability of Soil Cement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, July/August 2001, 243-247.
- Tunç A, 2002. *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*, Atlas Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- 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.
- Yetimoğlu T, Salbas O, 2003. A Study on Shear Strength of Sands Reinforced with Randomly Distributed Discrete Polipropilen Fibers. *Geotextiles and Geomembranes*, 21:103-110.
- Zaimoğlu AS, 2010. Freezing-Thawing Behavior of Fine-Grained Soils Reinforced with Polypropylene Fibers. *Cold Regions Science and Technology*, 60: 63-65.
- Zaimoğlu AS, Hattatoğlu F, Akbulut RK, Yetimoğlu T. 2012 Freeze-Thaw Behavior of Fine Grained Soils Subjected to Surcharge Loads, 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 28-30 June 2012, Near East University, Nicosia, North Cyprus.