



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.07.2023  
Kabul Tarihi : 30.09.2023

Received Date : 18.07.2023  
Accepted Date : 30.09.2023

## KİLİN MUKAVEMETİ VE DONMA-ÇÖZÜLME SONRASI MUKAVEMETİ ÜZERİNDE BİYOPOLİMER VE LİF KATKISININ ORTAK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

### INVESTIGATION THE COMBINED EFFECT OF BIOPOLYMER AND FIBER ADDITIVES ON STRENGTH AND POST FREEZING-THAWING STRENGTH OF CLAY

Büşra GÜVEN<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-7255-3307)

Şifa GÜNEK<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-0446-2056)

Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0002-6323-8652)

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK, znkurt@atauni.edu.tr

#### ÖZET

Kil zeminler, suyla karşılaştıklarında hacimsel stabiliteyi kaybettikleri için problemlerli zeminler olarak bilinmektedir. Ayrıca donma-çözülme olayı bu zeminlerin mühendislik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen önemli bir parametredir. Kil zeminlerin bu gibi durumlara karşı özelliklerini iyileştirmek amacıyla birçok iyileştirme yöntemi bulunmaktadır. Katkı malzemeleri ile zemin iyileştirme yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Katkılar arasında geleneksel olarak kullanılan çimento, kireç gibi kimyasal malzemeler yer alırken uçucu kül gibi atık malzemeler de kullanılmaktadır. Son yıllarda bu malzemelerin çevreye verdikleri zarar göz önüne alınarak araştırmacılar tarafından karbon salınımına neden olmayan malzeme arayışına gidilmiştir. Bu bağlamda çevre dostu, yeşil polimerler olarak tabir edilen biyopolimerler ile zemin iyileştirmesi yaygın olarak çalışılmaya başlanmıştır. Bunlara ilaveten lifler de zemin iyileştirmesinde alternatif olarak kullanılan malzemeler arasında yer almaktadır. Literatürde biyopolimer ve liflerin bir arada kullanılması ile zeminlerin iyileştirilmesi ise yeni bir konudur. Bu çalışma kapsamında bir biyopolimer olan keçiyoynuzu gam ile sentetik bir lif olan polyester iplik farklı yüzdelerde kullanılarak kil bir zeminin mukavemet ve donma çözülme sonrası mukavemet davranışı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, biyopolimer ve lifin bir arada kullanılmasının kil zeminin serbest basınç ve donma çözülme sonrası mukavemetini yalnız lif ve yalnız biyopolimer içeren kile göre daha fazla iyileştirdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kil, lif, biyopolimer, donma-çözülme, serbest basınç mukavemeti

#### ABSTRACT

Clay soils are known as problematic soils because they lose volumetric stability when they encounter water. Additionally, freeze-thaw phenomenon is an important parameter adversely affects the properties of soils. There are many improvement methods to improve the properties of clay soils to prevent such conditions. Soil improvement with additives is one of the commonly used methods. Among the additives, traditionally chemical materials (i.e. cement, lime) are used, while waste materials (i.e. fly ash) are also used. In recent years, considering environmental damage of these materials, researchers have been searched for materials that don't cause carbon emissions. In this context, improvement with biopolymers, that called environmentally friendly, green polymers started to be studied. In addition to these, fibers are also used in soil improvement. In literature, the improvement of soils by biopolymers and fibers combined is a new topic. In this study, locust bean gum, a biopolymer, and polyester fiber, a synthetic fiber, were used in different percentages to investigate the strength and post-freeze-thaw strength of clay soil. As a result of the study, it was observed that combination of biopolymer and fiber improved the unconfined compressive strength and post freeze-thaw strength of clay soil more than fiber and biopolymer.

ToCite: GÜVEN, B., GÜNEK, Ş., & KURT ALBAYRAK, Z. N., (2023). KİLİN MUKAVEMETİ VE DONMA-ÇÖZÜLME SONRASI MUKAVEMETİ ÜZERİNDE BİYOPOLİMER VE LİF KATKISININ ORTAK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 951-961.

**Keywords:** Clay, fiber, biopolymer, freezing-thawing, unconfined compression strength

## GİRİŞ

Zemin mekaniğinde zeminlerin taşıma gücü ve oturma davranışları önem taşımaktadır. Özellikle kil zeminler, suyla karşılaştıklarında hacimsel stabiliteyi kaybederek oturma-şişme davranışları sergilemekte ve suyla etkileşim sonucunda taşıma güçlerinde azalma meydana gelmektedir. İlâveten soğuk iklim bölgelerinde zeminlerin donma-çözölmeye maruz kalması, mühendislik özelliklerini etkilemektedir (Rezai Fard vd., 2020; Zaimoglu, 2010). Kil zeminlerin bu davranışlarının iyileştirilmesi için birçok iyileştirme yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında katkılarla zemin iyileştirme yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olup katkı olarak çimento, kireç gibi geleneksel malzemeler kullanılmaktadır (Dahale vd., 2017). Atık malzemeler de katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve böylece kil zemin iyileştirilirken, atık malzemelerin neden olduğu depolama probleminin de önüne geçilmektedir. Bu tür atık malzemeler arasında uçucu kül, silis dumanı ve kırmızı çamur sayılabilir (Ekmen vd., 2020; Çelik, 2017; Kalkan ve Akbulut, 2004). Son yıllarda yapılan araştırmalar, bu tür kimyasal malzemelerin çevreye CO<sub>2</sub> gazı salgıladıklarını göstermiştir (Chang vd., 2016). Bunun sonucunda, araştırmacılar tarafından karbon salınımına neden olmayan malzeme arayışına gidilmiştir. Bu bağlamda çevre dostu, yeşil polimerler olarak tabir edilen biyopolimerler ile zemin iyileştirmesi son yıllarda çalışılmaya başlanmıştır (Fatehi vd., 2021). Chang vd. (2015a), biyopolimerle iyileştirilen zeminlerin mukavemetlerinin, daha fazla miktarda çimento ile iyileştirilen zeminlerin mukavemetinden daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Biyopolimerler, selüloz gibi polisakkaritler, jelatin, kazein ve ipek gibi proteinler ve deniz prokaryotları gibi doğal kaynaklardan üretilen polimerlerdir (Chang vd., 2020). Taşıma gücü ve sıvılaşma direncinin artırılması, zemin erozyonu ve yer altı suyu kontrolü, zemin suyu ve yer altı suyunun artırılması, geçirimsiz şilte oluşturulması, tarama malzemelerinin stabilizasyonu gibi birçok uygulamada kullanılan biyopolimerlerin birçok çeşidi bulunmaktadır. Ayhan (2011), biyopolimerlerin kaolin ve bentonit killerinin likit limit değerlerini arttırdığını ve şişme potansiyeline sahip killi zeminlerin şişme potansiyellerinin düşürülmesinde biyopolimerlerin kullanılabilirliğini belirtmiştir. Literatürde biyopolimerlerin zeminlerin serbest basınç mukavemetini arttırdığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Smitha ve Sachan, 2016; Chang vd., 2015b; Khatami ve O’Kelly, 2013). İnce daneli zeminlerle daha iyi etkileşime giren biyopolimerler, zeminlerin hidrolik iletkenliğini de azaltmaktadır (Chang vd., 2016; Wiszniewski ve Cabalar, 2014). Biyopolimerler, zemin iyileştirmesinde kullanılan birçok malzemeye göre daha maliyetli olmalarına rağmen çok küçük yüzdelerde kullanıldıklarında dahi zemin özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilmektedirler. Bu nedenle zemin iyileştirmesinde kullanıldıklarında büyük miktarlara ihtiyaç duyulmayacak olması nedeni ile daha az bir maliyet ile iyileştirme yapılabilir. Chang vd. (2016), biyopolimerlerin gıda maddelerinde kıvam artırıcı olarak kullanıldıkları için yüksek saflıkta üretildiğinden ve bunun maliyeti arttırdığından bahsetmiş ve geoteknik uygulamalarda kullanılan biyopolimerlerin yüksek saflıkta olması gerekmediğinden, bu uygulamalar için üretildiklerinde daha düşük maliyetlere sahip olmasının beklendiğini ifade etmişlerdir. Ticari olarak satılmakta olan biyopolimerlere çeşitli yerli ve yabancı firmalardan kolaylıkla ulaşabilmek mümkün olup, biyopolimerlerin zemin iyileştirmesinde kullanımı yaygınlaştıkça, bu amaca yönelik üretilecek biyopolimerlerin daha makul maliyetler ile temin edilebileceği düşünülmektedir.

Zemin iyileştirmesinde kullanılan bir diğer malzeme olan lifler ile güçlendirilmiş zeminler, nispeten yüksek çekme dayanımına sahip liflerin, zemin içerisine katıldığı kompozit bir malzeme gibi davranır ve zeminin kayma mukavemeti ve taşıma gücü artar (Çelik vd., 2017; Jamshidi vd., 2010). Zaimoglu (2010), çalışmasında farklı oranlarda polipropilen lifler kullanarak ince daneli bir zeminin mukavemet davranışını incelemiş ve numunelerin donma çözölmeye sonrası serbest basınç dayanımlarının artan lif içeriği ile arttığını ortaya koymuştur. Zemin iyileştirmesinde kullanılan lifler doğal (bambu lifi, hindistan cevizi lifi, saman, vb.) veya sentetik (polipropilen, polyester, polietilen, cam lifler, vb.) olabilir (Hejazi vd., 2012).

Biyopolimerler ile yapılmış zemin iyileştirme çalışmaları incelendiğinde, keçiboynuzu gam ile zemin iyileştirme konusunda yapılmış az sayıda çalışmada, keçiboynuzu gamın zeminin geoteknik özelliklerini olumlu yönde geliştirdiği belirlenmiştir (Cheng ve Geng 2021, Kurt Albayrak ve Altun 2021, Kurt Albayrak ve Gencer 2021). Zemin iyileştirmesinde liflerin ve biyopolimerlerin bir arada kullanılması güncel bir konu olup, bu konuda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Chen vd. (2022), siltli kil bir zemine farklı oranlarda polipropilen lif ve zantan gam ilave ederek elde ettiği katkılı killerin mukavemet özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmanın amacı, kil bir zeminin iyileştirmesinde keçiboynuzu gam biyopolimeri ile sentetik bir lif olan polyester ipliğın bir arada kullanılmasının kilin mukavemet ve donma-çözölmeye sonrası mukavemet özelliklerini nasıl değiştirdiğinin araştırılması ile literatüre

katkı sağlanmasıdır. Bu kapsamda, kil bir zemine farklı yüzdelerde keçiyoynuzu gam (%0.5, %1 ve %1.5) ve 5mm uzunluğunda kesilmiş polyester iplik (%0.15, %0.30 ve %0.60) ilave edilerek katkılı killer elde edilmiştir. Elde edilen katkılı killer 1 gün ve 28 gün küre tabi tutulmuştur. Katkılı killerin serbest basınç mukavemeti ve donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemet değerleri doğal kilin, yalnız biyopolimer katkılı kil numunelerin ve yalnız lif katkılı numunelerin değerleri ile karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### *Kil*

Çalışma kapsamında kullanılan kil, Oltu (Erzurum) Havzasından temin edilmiş, kırmızı renkli, yüksek plastisiteli (CH) bir kildir (Şekil 1a). Kil ile ilgili geoteknik özellikler Tablo 1’de görülmektedir. Doğal kil laboratuvara getirildikten sonra 105°C sıcaklıktaki etüvde 24 saat kurutulmuştur. Kuruyan numuneler öğütülmüş ve deneylerde kullanılmıştır. Yapılan hidrometre analizinde, kil yüzdesi (<0.002mm) %58 olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Kilin Özellikleri

Özellik	Kil
Geçen Yüzde (<0.002mm) (%)	58
Özgül Ağırlık	2,72
Optimum su içeriği (%)	21
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı, (kN/m <sup>3</sup> )	16,3
Likit Limit (%)	59
Plastik Limit (%)	26
Plastisite İndisi (%)	33
Zemin Sınıfı (USCS*)	CH

\*Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

### *Biyopolimer*

Çalışmada keçiyoynuzu gam biyopolimeri (KBG) kullanılmıştır (Şekil 1b). Keçiyoynuzu gam, Smart Kimya’dan temin edilmiştir. Keçiyoynuzu gam, hidrokolloidlerin bir çeşidi olan Galaktomannan olup viskozitesi 2000-3500, pH’ı 5-7 arasındadır. Baklagiller grubu içerisinde yer alan karob ağacından elde edilen keçiyoynuzu gamın, jelleştirici, dengeleyici ve kıvam artırıcı özellikleri bulunmaktadır (Dey vd., 2012).

### *Lif*

Çalışmada kullanılan sentetik lif, 2H Tekstil’den temin edilen 0.15mm kalınlıkta polyester ipliktir. Polyester iplik 5mm uzunluklarda kesilerek deneylerde kullanılmıştır (Şekil 1c).



**Şekil 1.** a) Kil Numunesi b) Keçiyoynuzu Gam c) Polyester İplik

### *Biyopolimer Katkılı Kil Numunelerin Elde Edilmesi*

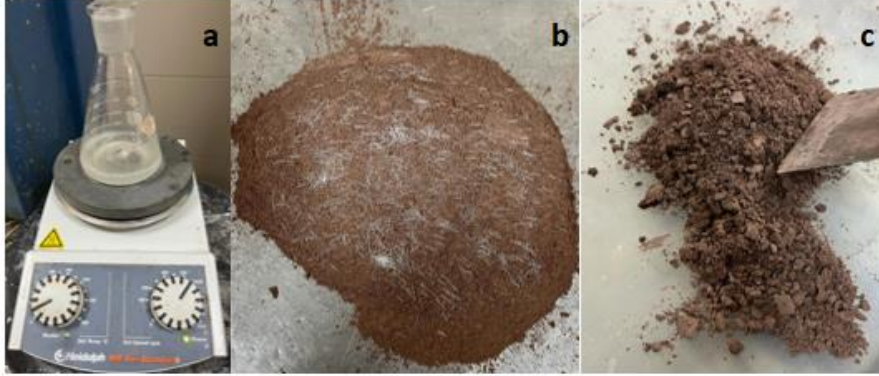
Biyopolimer katkılı kil numunelerin elde edilmesi için, öncelikle kilin optimum su içeriği kadar su tartılmıştır. Daha sonra bu su miktarının ağırlıkça yüzdesi (%0.5, %1, %1.5) kadar tartılan biyopolimer, belirlenen su içerisine ilave edilmiş ve 1000rpm hızda manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür (Kurt Albayrak ve Altun 2021, Kurt Albayrak ve Gencer 2021). Çözülen biyopolimer, kil içerisine katılarak homojen hale gelinceye kadar karıştırılmış ve böylece biyopolimer katkılı kil numuneler elde edilmiştir.

### *Lif Katkılı Kil Numunelerin Elde Edilmesi*

Lif katkılı kil numunelerin elde edilmesi için kilin ağırlıkça yüzdesi cinsinden tartılan lif, kil içerisine ilave edilmiş ve homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra optimum su muhtevasında su eklenerek karıştırma işlemine devam edilmiş ve lif katkılı kil numuneler elde edilmiştir.

### **Biyopolimer-Lif Katkılı Kil Numunelerin Elde Edilmesi**

Biyopolimer-lif katkılı numuneler elde edilirken öncelikle kil ve kilin ağırlıkça yüzdesi (%0.15, %0.30, %0.60) cinsinden belirlenmiş olan lif tartılarak kuru halde karıştırılmıştır. Ardından kilin optimum su muhtevası kadar su ve su miktarının ağırlıkça yüzdesi (%0.5, %1, %1.5) kadar biyopolimer tartılmış ve biyopolimer 1000rpm hızda manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür (Kurt Albayrak ve Gencer 2021, Kurt Albayrak ve Altun 2021). Karıştırılmış olan kil-lif karışımı içerisine biyopolimer-su karışımı ilave edilerek homojen bir şekilde karıştırılmış ve biyopolimer-lif katkılı kil numuneler elde edilmiştir (Şekil 2). Katkı yüzdeleri Tablo 2’de görülmektedir.



**Şekil 2.** a) KBG Suda Çözünürken b) Kil-Lif Karıştırılırken c) Kil-Lif-Biyopolimer Karışımı

**Tablo 2.** Katkı Yüzdeleri

Numune	Lif (%)	Biyopolimer (%)
B0-L0	-	-
B0.5-L0	-	0,5
B1-L0	-	1
B1.5-L0	-	1,5
B0-L0.15	0,15	-
B0-L0.3	0,30	-
B0-L0.6	0,60	-
B0.5-L0.15	0,15	0,5
B1-L0.15	0,15	1
B1.5-L0.15	0,15	1,5
B0.5-L0.3	0,30	0,5
B1-L0.3	0,30	1
B1.5-L0.3	0,30	1,5
B0.5-L0.6	0,60	0,5
B1-L0.6	0,60	1
B1.5-L0.6	0,60	1,5

B: Biyopolimer, L: Lif

### **Deneyler**

Numunelerin kompaksiyon parametreleri, Harvard minyatür kompaksiyon deneyi ile belirlenmiştir. Numunelere su ilave edilerek yoğrulmuş, 71 mm yüksekliğinde ve 32 mm çapında metal silindir kompaksiyon kalıbı içerisine her tabakaya 10’ar vuruş yapılmak suretiyle 5 tabaka halinde sıkıştırma yapılmıştır. Bu işlem numunelere su ilave edilerek farklı su içeriklerinde tekrarlanmış ve kompaksiyon parametreleri belirlenmiştir. Numunelerin serbest basınç mukavemetleri, ASTM D 2166 esas alınarak yapılan serbest basınç deneyi ile elde edilmiştir. Serbest basınç deneyinde yükleme hızı 0.8 mm/dak. olarak seçilmiştir. Numuneler, otomatik donma-çözülme kabini kullanılarak 10 çevrim donma-çözülme tabi tutulmuş ve donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Bir çevrim, donma aşaması 6 saat -20°C ve çözülme aşaması 6 saat +25°C olmak üzere 12 saatte gerçekleştirilmiştir (Akbulut ve Zaimoğlu, 2019; Ghazavi ve Roustaie, 2010). Numuneler 22 ± 2°C sıcaklığa, %18.5 nem oranına sahip laboratuvar ortamında 1 ve 28 gün bekletilerek küre tabi tutulmuştur. 1 gün ve 28 günlük kür süreleri sonunda numunelerin serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Ayrıca 1 ve 28 gün bekletilen numuneler donma çözülme



çevrimine tabi tutulduktan sonra numunelerin serbest basınç mukavemetleri bulunmuştur. Her bir katkı oranı için 3'er adet numune hazırlanarak deneyler gerçekleştirilmiş ve deney sonuçlarının ortalamaları alınmıştır.

## ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### *Kompaksiyon Deney Sonuçları*

Doğal kilin ve keçiyoynuzu gam katkılı kil numunelerin kompaksiyon parametreleri Tablo 3'de görülmektedir. Tablo 3 incelendiğinde, keçiyoynuzu gam yüzdesi arttıkça, optimum su içeriğinin arttığı görülmektedir. Maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde ise önemli bir değişimin meydana gelmediği söylenebilir. Biyopolimer içeriğindeki artış, kil danelerinin difüzyon çift tabakasının viskozitesini artırarak kil danelerinin topak yapıya kavuşmasına neden olur. Bu da optimum su içeriğini artırır (Singh ve Das, 2020).

**Tablo 3.** Kompaksiyon Parametreleri

Numune	Optimum su içeriği (%)	Maksimum kuru birim hacim ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )
B0-L0	21	16,3
B0.5-L0	22,5	16,4
B1-L0	23	15,5
B1.5-L0	24	15,6

### *Serbest Basınç Deney Sonuçları*

1 günlük ve 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olan serbest basınç deney sonuçları incelendiğinde, biyopolimer ve lif yüzdesi arttıkça numunelerin serbest basınç mukavemetinin arttığı görülmektedir (Şekil 3, Şekil 4). Doğal kile göre katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen artış yüzdeleri Tablo 4'de verilmiştir.

1 günlük numunelerde keçiyoynuzu gam ve polyester ipliğın ortak etkisi incelendiğinde B1.5-L0.60 numunesinin serbest basınç mukavemetinin doğal kilin serbest basınç mukavemetinden %280 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Doğal kilin serbest basınç mukavemetinde, yalnız %1.5 biyopolimer katkısı (B1.5-L0) %132 oranında, yalnız %0.6 lif katkısı (B0-L0.60) %188 oranında artışa neden olmuştur. 1 gün küre tabi tutulan %1.5 biyopolimer-%0.6 lif katkılı numunenin serbest basınç mukavemetinin (1482kPa), yalnız biyopolimer (903kPa) ve yalnız lif (1123kPa) katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinden sırasıyla, %64 ve %32 oranında daha yüksek olduğu bulunmuştur.

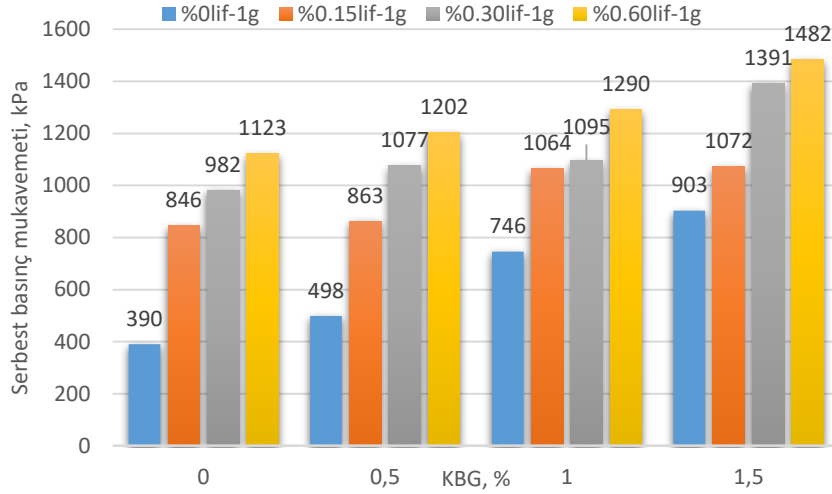
28 günlük numunelerde keçiyoynuzu gam ve polyester ipliğın ortak etkisi incelendiğinde B1.5-L0.60 numunesinin serbest basınç mukavemetinin doğal kilin serbest basınç mukavemetinden %1101 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Doğal kilin serbest basınç mukavemetinde, yalnız %1.5 biyopolimer katkısı (B1.5-L0) %916 oranında, yalnız %0.6 lif katkısı (B0-L0.60) %925 oranında artışa neden olmuştur. 28 gün küre tabi tutulan %1.5 biyopolimer-%0.6 lif katkılı numunenin serbest basınç mukavemetinin (4682kPa) yalnız biyopolimer (3964kPa) ve yalnız lif (3999kPa) katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinden sırasıyla, %18 ve %17 oranında daha yüksek olduğu bulunmuştur. Serbest basınç mukavemetinde meydana gelen artışların 28 günlük numunelerde daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 4).

Biyopolimerler elektrik yüklü geniş özgül yüzeylere sahip oldukları için ince taneli zeminlerle etkileşime girebilirler, bunun sonucunda da yüksek mukavemetli biyopolimer-zemin matrisleri meydana gelir (Chang vd., 2016). Biyopolimerler, zemin içerisinde hidrojel oluşturarak, daneler arası boşlukları doldurur ve zemin danelerini birbirine bağlar (Latifi vd., 2016, Jang 2020). Ayeldeen vd., (2016), zemin biyopolimer karışımlarının kayma mukavemetindeki iyileşmenin, biyopolimerlerin hidroksiller, esterler veya aminler gibi farklı kimyasal fonksiyonel gruplara sahip olmasından kaynaklandığı belirtmişlerdir. Bu nedenlerle, biyopolimer yüzdesi arttıkça serbest basınç mukavemetinde artış meydana geldiği düşünülmektedir. Lif yüzdesinin artmasıyla serbest basınç mukavemetinde meydana gelen artışın ise lifin çekme dayanımının kil daneleri arasındaki bağı güçlendirmesinden kaynaklandığı söylenebilir (Ma vd., 2018).

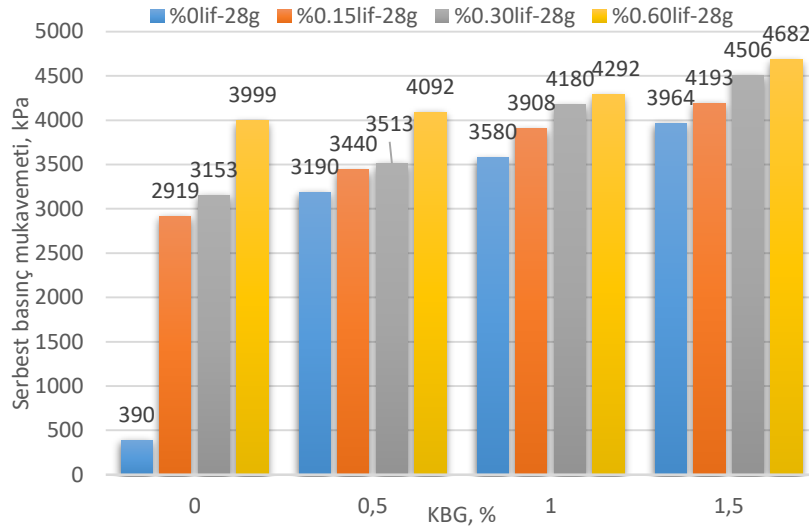
### *Donma-Çözülme Çevrimleri Sonrası Serbest Basınç Deney Sonuçları*

10 çevrim donma-çözülme tabi tutulmuş 1 günlük ve 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olan serbest basınç deney sonuçları incelendiğinde, biyopolimer ve lif yüzdesi arttıkça donma-çözülme sonrası serbest basınç

mukavemetinin arttığı görülmektedir (Şekil 5, Şekil 6). Doğal kile göre katkılı numunelerin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen artış yüzdeleri ise Tablo 5' de görülmektedir.



Şekil 3. 1 Günlük Numunelerin Serbest Basınç Mukavemetlerinde Meydana Gelen Değişim



Şekil 4. 28 Günlük Numunelerin Serbest Basınç Mukavemetlerinde Meydana Gelen Değişim

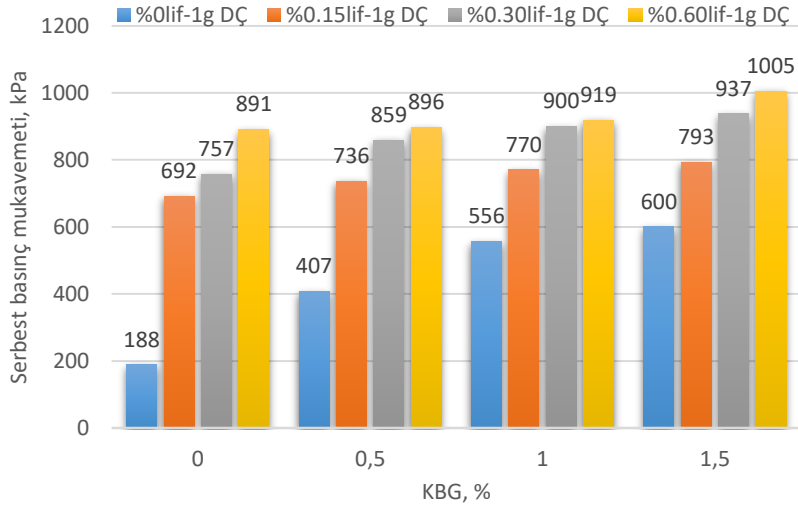
1 günlük numunelerde keçiboynuzu gam ve polyester ipliğin ortak etkisi incelendiğinde B1.5-L0.60 numunesinin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetinin doğal kilin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetinden %435 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Doğal kilin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetinde, yalnız %1.5 biyopolimer katkısı (B1.5-L0) %219 oranında, yalnız %0.6 lif katkısı (B0-L0.60) %374 oranında artışa neden olmuştur. 1 gün küre ve 10 çevrim donma-çözölmeye tabi tutulan %1.5 biyopolimer-%0.6 lif katkılı numunenin donma-çözölme sonrası serbest basınç mukavemetinin (1005kPa), yalnız biyopolimer (600kPa) ve yalnız lif (891kPa) katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinden sırasıyla %67.5 ve %13 oranında daha yüksek olduğu bulunmuştur.”

28 günlük numunelerde keçiboynuzu gam ve polyester ipliğin ortak etkisi incelendiğinde B1.5-L0.60 numunesinin donma-çözölme sonrası serbest basınç mukavemetinin doğal kilin donma-çözölme sonrası serbest basınç mukavemetinden %1259 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Doğal kilin donma-çözölme sonrası serbest basınç mukavemetinde, yalnız %1.5 biyopolimer katkısı (B1.5-L0) %938 oranında, yalnız %0.6 lif katkısı (B0-L0.60) %607 oranında artışa neden olmuştur (Tablo 5). 28 gün küre ve 10 çevrim donma-çözölmeye tabi tutulan %0.6 lif-%1.5 biyopolimer katkılı numunenin donma-çözölme sonrası serbest basınç mukavemetinin (2554kPa), yalnız biyopolimer (1952kPa) ve lif (1330kPa) katkılı numunenin donma-çözölme sonrası serbest basınç mukavemetlerinden sırasıyla %31 ve %92 oranında daha yüksek olduğu bulunmuştur. Donma-çözölme zemin iskeletinde ve dane yapısında değişikliğe neden olmakta ve buna bağlı olarak donma-çözölme etkisi altında zeminin

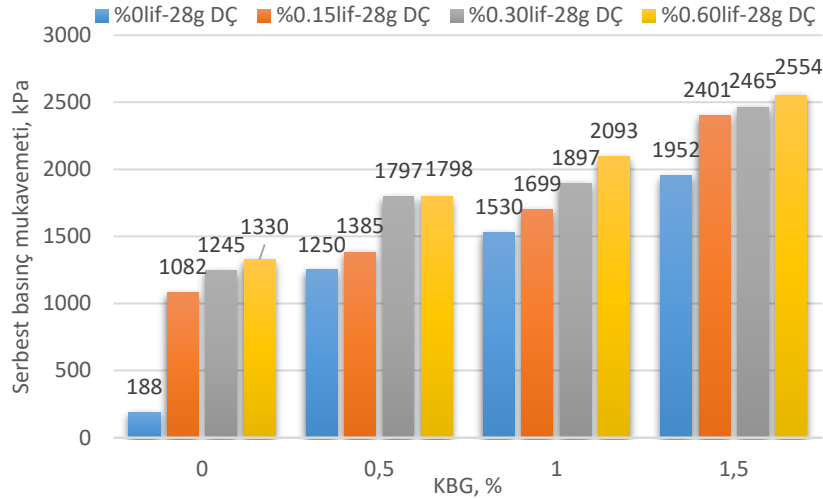
dayanımı değişmektedir (Hohmann-Porebska, 2002). Lif ve biyopolimer katkısının kilin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Lif takviyesi, donma-çözülme döngülerinin etkilerini azaltmaktadır (Liu vd., 2020). Biyopolimer ile iyileştirilmiş zeminin boşluklarında oluşan ve danelerin etrafını saran hidrojel, donma-çözülme sırasında zeminin nem kaybını azaltır (Hamza vd., 2023). Bu nedenle donma-çözülme davranışı iyileşir.

**Tablo 4.** Serbest Basınç Mukavemetlerinde Meydana Gelen Artış Yüzdeleri

Numune	1 gün	28 gün
B0-L0	0	0
B0.5-L0	28	718
B1-L0	91	818
B1.5-L0	132	916
B0-L0.15	117	648
B0-L0.3	152	708
B0-L0.6	188	925
B0.5-L0.15	121	782
B1-L0.15	173	902
B1.5-L0.15	175	975
B0.5-L0.3	176	801
B1-L0.3	181	972
B1.5-L0.3	257	1055
B0.5-L0.6	208	949
B1-L0.6	231	1001
B1.5-L0.6	280	1101



**Şekil 5. 1** Günlük Numunelerin Donma-Çözülme Sonrası Serbest Basınç Mukavemetlerinde Meydana Gelen Değişim



**Şekil 6.** 28 Günlük Numunelerin Donma-Çözülme Sonrası Serbest Basınç Mukavemetlerinde Meydana Gelen Değişim

**Tablo 5.** Donma-Çözülme Sonrası Serbest Basınç Mukavemetlerinde Meydana Gelen Artış Yüzdeleri

Numune	1 gün	28 gün
B0-L0	0	0
B0.5-L0	116	565
B1-L0	196	714
B1.5-L0	219	938
B0-L0.15	268	476
B0-L0.3	303	562
B0-L0.6	374	607
B0.5-L0.15	291	637
B1-L0.15	310	804
B1.5-L0.15	322	1177
B0.5-L0.3	357	856
B1-L0.3	379	909
B1.5-L0.3	398	1211
B0.5-L0.6	377	856
B1-L0.6	389	1013
B1.5-L0.6	435	1259

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, kil bir zemine farklı yüzdelerde keçiyoynuzu gam (%0.5, %1 ve %1.5) ve 5mm uzunluğunda kesilmiş polyester iplik (%0.15, %0.30 ve %0.60) ilave edilerek katkılı killer elde edilmiştir. Elde edilen katkılı killeri 1 gün ve 28 gün küre tabi tutulmuştur. Küre tabi tutulan numunelerin serbest basınç mukavemetleri ve 10 çevrim donma-çözülme tabi tutulmuş numunelerin serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 28 gün küre tabi tutulan numunelerin serbest basınç mukavemeti ve donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemeti değerleri, 1 gün küre tabi tutulan numunelerin serbest basınç mukavemeti ve donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemeti değerlerinden daha yüksektir.

- Keçiyoynuzu gam ve polyester ipliğin ortak etkisi, doğal kilin 390kPa olan serbest basınç mukavemetini, 1 gün küre tabi tutulan %1.5 keçiyoynuzu gam ve %0.6 polyester iplik katkılı numunede, 1482kPa değerine artırmıştır. 28 günlük numunede ise bu değer 4682kPa olarak bulunmuştur.

- Keçiyoynuzu gam ve polyester iplik yüzdesinde meydana gelen artış ile serbest basınç mukavemetleri artmıştır. Doğal kilde 390kPa olan serbest basınç mukavemeti, 1 gün küre tabi tutulan %0.5, %1 ve %1.5 keçiyoynuzu gam katkılı numunelerde, sırasıyla 498kPa, 746kPa ve 903kPa değerlerini almıştır. %0.15, %0.30 ve %0.60 lif katkılı numunelerde ise serbest basınç mukavemetleri, 846kPa, 982kPa ve 1123kPa'dır. 28 günlük %0.5, %1 ve %1.5 keçiyoynuzu gam katkılı numunelerde, serbest basınç mukavemetleri, 3190kPa, 3580kPa ve 3964kPa iken %0.15,



%0.30 ve %0.60 lif katkılı numunelerde ise serbest basınç mukavemetleri sırasıyla 2919kPa, 3153kPa ve 3999kPa olarak belirlenmiştir.

- Keçiboynuzu gam ve polyester ipliğin ortak etkisi, doğal kilde 188kPa olan donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetini, 1 gün küre tabi tutulan %1.5 keçiboynuzu gam ve %0.6 polyester iplik katkılı numunede, 1005kPa değerine artırmıştır. 28 günlük numunede ise bu değer 2554kPa olarak bulunmuştur.

- Keçiboynuzu gam ve polyester iplik yüzdesinde meydana gelen artış ile donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetleri artmıştır. Doğal kilde 188kPa olan donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemeti, 1 gün küre tabi tutulan %0.5, %1 ve %1.5 keçiboynuzu gam katkılı numunelerde, sırasıyla 407kPa, 556kPa ve 600kPa değerlerini almıştır. %0.15, %0.30 ve %0.60 lif katkılı numunelerde ise donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetleri, 692kPa, 757kPa ve 891kPa'dır. 28 günlük %0.5, %1 ve %1.5 keçiboynuzu gam katkılı numunelerde, donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemetleri, 1250kPa, 1530kPa ve 1952kPa iken %0.15, %0.30 ve %0.60 lif katkılı numunelerde ise serbest basınç mukavemetleri sırasıyla 1082kPa, 1245kPa ve 1330kPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonuçları, bir biyopolimer olan keçiboynuzu gam ile sentetik bir lif olan polyester ipliğin bir arada kullanılmasının özellikle soğuk iklimlere maruz bölgelerde yer alan yüksek plastisiteli killerin donma-çözülme çevrimlerinden daha az etkileneceğini göstermektedir. Bu çalışma kapsamında, %1.5 keçiboynuzu gam-%0.6 polyester iplik katkılarının ortak etkisi ile elde edilmiş olan numunenin en yüksek serbest basınç mukavemeti ve en yüksek donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemeti değerine sahip olmasından dolayı soğuk iklim bölgelerinde yapılacak iyileştirmelerde belirtilen oranlar kullanılarak donma-çözülme karşı dayanım sağlanabileceği söylenebilir. İlerleyen çalışmalarda, lif ve biyopolimer katkılı killerin şişme-oturma ve eğilme davranışlarının da incelenmesi ve mekanizmanın tam olarak anlaşılabilmesi için mikro analizlerin yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akbulut, R. K., & Zaimoğlu, A. Ş. (2019). Effect of aspect ratio on the freezing thawing of a CH clay. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 7, 66-74. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2019.182>
- Ayeldeen, M. K., Negm, A. M., El Sawwaf, M. A. (2016). Evaluating the physical characteristics of biopolymer/soil mixtures. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 371. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2366-1>
- Ayhan, A. (2011). Biyopolimer Katkıları İle Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- ASTM D 2166-00, 2000. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM West Conshohocken, PA.
- Chang, I., Im, J., & Cho, G.C. (2016) Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally-friendly and sustainable geotechnical engineering. *Sustainability*, 8(3), 251. <https://doi.org/10.3390/su8030251>
- Chang, I., Im, J., Prasadhi, A. K., & Cho, G.C. (2015b) Effects of xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Construction and Building Materials*, 74, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.026>
- Chang, I., Lee, M., Tran, A. T. P., Lee, S., Kwon, Y. M., Im, J., & Cho, G. C. (2020). Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in geotechnical engineering practices. *Transportation Geotechnics*, 24, 100385. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100385>
- Chang, I., Prasadhi, A. K., Im, J., & Cho, G. C. (2015a). Soil strengthening using thermo-gelation biopolymers. *Construction and Building Materials*, 77, 430-438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.116>
- Chen, C., Wei, K., Gu, J., Huang, X., Dai, X., & Liu, Q. (2022). Combined effect of biopolymer and fiber inclusions on unconfined compressive strength of soft soil. *Polymers*, 14, 787. <https://doi.org/10.3390/polym14040787>
- Cheng, Z., & Geng, X. (2021). Soil consistency and interparticle characteristics of various biopolymer types stabilization of clay. *Geomechanics and Engineering*, 27(2), 103-113. <https://doi.org/10.12989/gae.2021.27.2.103>

- Çelik, S., Ghalehjough, B. K., Majedi, P., & Akbulut, S. (2017). Effect of randomly fiber reinforcement on shear failure surface of soil, behind flexible retaining walls at different conditions. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 46(10), 2097-2104.
- Çelik, S. (2017). An Experimental Investigation of Utilizing Waste Red Mud in Soil Grouting. *KSCE Journal Of Civil Engineering*, 21(4), 1191-1200. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0774-0>
- Dahale, P. P., Nagarnaik, P. B., & Gajbhiye, A. Y. (2017). Engineering behavior of remolded expansive soil with lime and flyash. *Materials Today: Proceedings*, 4(2017), 10581–10585. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.423>
- Dey, P., Maiti, S., & Sa, B. (2012). Locust bean gum and its application in pharmacy and biotechnology: An overview. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 4(1), 7-11.
- Ekmen, A. B., Algin, H. M., & Özen, M. (2020). Strength and stiffness optimisation of fly ash-admixed DCM columns constructed in clayey silty sand. *Transportation Geotechnics*, 24, 100364. [doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100364](https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100364)
- Fatehi, H., Ong, D. E. L., Yu, J., & Chang, I. (2021). Biopolymers as green binders for soil improvement in geotechnical applications: A review. *Geosciences*, 11, 291. <https://doi.org/10.3390/geosciences11070291>
- Ghazavi, M., & Roustai, 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. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.12.005>
- Hamza, M., Nie, Z., Aziz, M., Ijaz, N., Akram, O., Fang, C., Ghani, M. U., Ijaz, Z., Noshin, S., & Madni, M. F. (2023). Geotechnical behavior of high-plastic clays treated with biopolymer: macro–micro-study. *Environmental Earth Sciences*, 82, 91. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10760-2>
- Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M., & Zadhoush, A. (2012). A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 30, 100-116. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045>
- Hohmann-Porebska, M. (2002). Microfabric effects in frozen clays in relation to geotechnical parameters. *Applied Clay Science*, 21(2002), 77 – 87. [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(01\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(01)00094-1)
- Jamshidi, R., Towhata, I., Ghiassian, H., & Tabarsa, R. (2010). Experimental evaluation of dynamic deformation characteristics of sheet pile retaining walls with fiber reinforced backfill. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(6), 438–446. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2009.12.017>
- Jang, J., (2020). A review of the application of biopolymers on geotechnical engineering and the strengthening mechanisms between typical biopolymers and soils. *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, Article ID: 1465709, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2020/1465709>
- Kalkan, E., & Akbulut, S. (2004). The positive effects of silica fume on the permeability, swelling pressure and compressive strength of natural clay liners. *Engineering Geology*, 73, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.01.001>
- Khatami, H. R., & O’Kelly, B. C. (2013). Improving mechanical properties of sand using biopolymers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(8),1402-1406. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.000086](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.000086)
- Kurt Albayrak, Z. N., & Altun, B. (2021). Strength properties of biopolymer treated clay/marble powder mixtures. *Challenge Journal Of Concrete Research Letters*, 12(4), 131-137, <https://doi.org/10.20528/cjcr.2021.04.003>
- Kurt Albayrak, Z. N., & Gencer, G. (2021). The usability of clay/pumice mixtures modified with biopolymer as an impermeable liner. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(1), 28-36, <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1053-7>
- Latifi, N., Horpibulsuk, S., Meehan, C. L., Majid, M. Z. A., & Rashid, A. S. A. (2016). Xanthan gum biopolymer: an eco-friendly additive for stabilization of tropical organic peat. *Environmental Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5643-0>
- Liu, C., Lv, Y., Yu, X., & Wu, X. (2020). Effects of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of straw fiber-reinforced soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 48, 581-590. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.03.004>

- Ma, Q., Yang, Y., Xiao, H., & Xing, W. (2018). Studying shear performance of flax fiber-reinforced clay by triaxial test. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1290572. <https://doi.org/10.1155/2018/1290572>
- Rezaei Fard, A., Moradi, G., Karimi Ghalehjough, B., & Abbasnejad, A. (2020). Freezing-thawing resistance evaluation of sandy soil, improved by polyvinyl acetate and ethylene glycol monobutyl ether mixture. *Geomechanics and Engineering*, 23(2), 179-187. <https://doi.org/10.12989/gae.2020.23.2.179>
- Singh S. P., & Das, R. (2020). Geo-engineering properties of expansive soil treated with xanthan gum biopolymer, *Geomechanics and Geoengineering*, 15(2), 107-122, <https://doi.org/10.1080/17486025.2019.1632495>
- Smitha, S., & Sachan, A. (2016). Use of agar biopolymer to improve the shear strength behavior of Sabarmati sand. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 10(4),387-400. <https://doi.org/10.1080/19386362.2016.1152674>
- Wiszniewski, M., & Cabalar, A. F. (2014). Hydraulic conductivity of a biopolymer treated sand. *New Frontiers in Geotechnical Engineering*, 243, 19-27. <https://doi.org/10.1061/9780784413456.003>
- Zaimoglu, A. (2010). Freezing–thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers. *Cold Regions Science and Technology*, 60(1), 63-65. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.07.001>