



YÜKE MARUZ İNCE DANELİ ZEMİNLERİN DONMA-ÇÖZÜLME DAVRANIŞI

FREEZING-THAWING BEHAVIOUR OF FINE GRAINED SOILS SUBJECTED TO SURCHARGE LOADS

A. Şahin ZAIMOĞLU¹, Fatih HATTATOĞLU², R. Kağan AKBULUT^{1*}

¹İnşaat Bölümü, Erzurum Meslek Yüksekokulu, Atatürk Üniversitesi, 25240, Erzurum.
zaimoglu@atauni.edu.tr, rkakbulut@atauni.edu.tr

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, 25240, Erzurum.
fhattat@atauni.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 21.05.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 25.07.2012

doi: 10.5505/pajes.2013.35744

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Özet

Mevsimsel donma görülen soğuk iklim bölgelerinde karayolu, demiryolu, sulama kanalı gibi mühendislik yapılarına ait yüzeysel temel zeminleri bu yükler altında donma-çözülme maruz kalmaktadır. Bu çalışmada bu tür zeminleri temsil etmek amacıyla donma-çözülme deneyi geleneksel yöntemin yani numune üzerinde yük olmamasının yanı sıra numuneler üzerine yük uygulanması hali için de yapılmıştır. Deneyler, bir ince daneli zeminin standart proktor enerjisi altında sıkıştırılması ile hazırlanan numuneler üzerinde yürütülmüştür. Geleneksel yöntemde yapılan deneylerde 1, 3, 5 ve 10 çevrim sonunda numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri belirlenmiştir. Daha sonra bu değerlerin % 25, % 35 ve % 50'sine karşılık gelen yük numuneler üzerinde iken donma-çözülme deneyleri tekrarlanmıştır. Her iki yöntem ile yapılan deneyler sonucunda numunelerin donma-çözülme dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçlarından üzerinde yük olan zeminlerin donma-çözülme dayanım değerlerinin geleneksel yöntem ile bulunanlardan daha az olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yüke maruz kil, Donma-çözülme, Serbest basınç mukavemeti.

Abstract

In cold climate zones, the shallow foundation soils belonging to civil engineering constructions such as highways, railways, irrigation channels are subject to freezing-thawing under these loads. In this study, with the purpose of representing such soils the freeze-thaw experiment has been carried out for the situation where load is applied on the samples in addition to the traditional method where there is no load on the sample. The experiments have been conducted on samples prepared with the compaction under standard proctor energy of fine grained soils. In the experiments conducted in the traditional method the unconfined compressive strength values of samples after 1, 3, 5 and 10 cycles have been determined. Then the freeze-thaw experiments were repeated while a load representing 25 %, 35 % and 50 % of these values was on the samples. As a result of the experiments conducted with both methods, the freeze-thaw resistances of the samples have been determined. It was observed that the freeze-thaw resistance values of soils under load are less than those found by the traditional method.

Keywords: Subject to loads of clay, Freezing-thawing, Unconfined compression strength.

1 Giriş

Soğuk iklim bölgeleri mevsimsel, sürekli ve süreksiz olmak üzere üç ana başlıkta incelenmektedir. Bunlardan birinci sırada yer alan soğuk iklim bölgelerinde zemin mevsimlere göre donma olayına maruz kalırken sürekli soğuk iklim bölgelerinde zeminin tamamının süreksiz soğuk iklim bölgelerinde ise zeminin bazı bölgelerinin donması söz konusu olmaktadır [1]. Mevsimsel donma görülen soğuk iklimin hâkim olduğu bölgelerde zeminler yılda en az bir kez donma-çözülme maruz kalmaktadırlar. Bu durum ince daneli zeminlerin su içeriği, taşıma gücü ve geçirimsizlik gibi bazı mühendislik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. İnce daneli zeminler donma olayına maruz kaldığında buz parçacıkları ilk olarak su potansiyeli en fazla olan ve donma noktasının en yüksek olduğu en büyük gözeneklerde oluşurken, sonrasında daha küçük gözeneklerdeki sular donmaktadır [2]. Suyun donmasıyla artan hacim artışı ince daneli zeminlerde boşluklar oluşturmakta ve sonuç olarak zeminin taşıma gücü büyük oranda azalmaktadır. Bu durum, karayolu, demiryolu, toprak dolguları ve sulama kanalları gibi birçok üst yapı elemanında belli hasarlara neden olabilmektedir.

Mevsimsel olarak 0 °C'nin altında kalan bölgelerdeki yapıların dizayn ve inşasında bu termal duruma maruz kalacak zeminin mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir [3]. Yapılan

çalışmaların çoğunda zeminin donma-çözülme direncini arttırmak için bir takım katkıları ile fiber kullanılmış ve zeminlerin donma-çözülme çevriminde mühendislik özellikleri incelenmiştir [4]-[7]. Ancak literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğu yüke maruz kalmayan ince daneli zemin numuneleri üzerinde yürütülmüştür. Oysaki soğuk iklim bölgelerinde karayolu, demiryolu, sulama kanalı gibi mühendislik yapılarının oturdukları temel zeminleri bu üst yapı yükleri altında donma-çözülme maruz kalmaktadır. Bu çalışmanın amacı yüke maruz ince daneli zeminlerin donma-çözülme davranışının yüke maruz olmayan durumdaki ile karşılaştırılmasıdır. Dolayısıyla, çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada laboratuvarında hazırlanmış numuneler üzerinde geleneksel yöntemle (yüke maruz kalmayan hale) uygun olarak donma-çözülme deneyi yapılmış ve 1, 3, 5 ve 10 çevrim sonucunda donma-çözülme dayanıklılıkları (donma-çözülme dane kaybı) ile serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir. İkinci aşamada serbest basınç mukavemetinin % 25, % 35 ve % 50'sine karşılık gelen yük miktarları numune üzerine üniform olarak etki ettirilmiştir. Bu yükler altında donma-çözülme deneyi tekrar edilmiştir. Deney sonuçları birbiri ile kıyaslanarak tartışılmıştır.

2 Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan kil zemin Erzurum-Oltu yöresinden temin edilmiştir. Kil zemine ait bazı mühendislik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılacak kil zemin 24 saat süre ile 105 ± 5 °C’de etüvde bekletilmiştir. Likit ve plastik limit deneyleri [8]’e göre yürütülmüş olup çalışmada kullanılan zemin örneği plastisite kartı yardımı ile CH olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 1: Deneylerde kullanılan kilin bazı özellikleri.

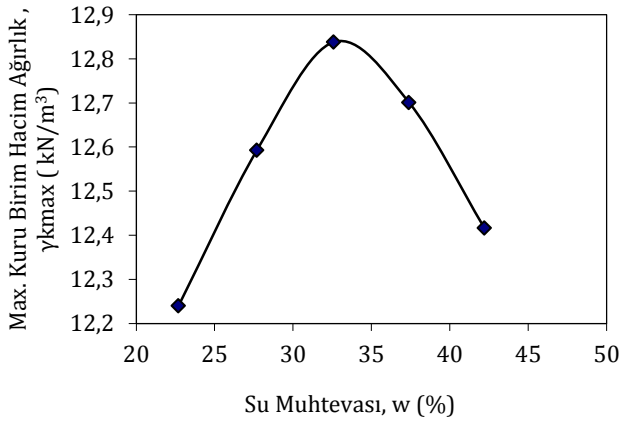
Özellik	Değer
Özgül Ağırlık, G_s	2.67
Likit Limit, w_L (%)	83
Plastik Limit, w_P (%)	34
Plastisite İndisi, I_P (%)	49
Optimum Su Muhtevası ¹ , w_{opt} (%)	32.7
Mak. Kuru Birim Hacim Ağırlık ¹ , γ_{kmax} (kN/m ³)	12.8
Serbest Basınç Mukavemeti ² , (kPa)	136.3
Zemin Sınıfı ³ ,	CH

¹ Standart Proktor deneyinden elde edilmiştir,

² Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelerden elde edilmiştir,

³ USCS zemin sınıflandırma sistemine göre belirlenmiştir.

Zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için [9]’a uygun olarak standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Belirlenen optimum su seviyesi (Şekil 1) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik numuneler hazırlanarak ağırlıkları tartılmıştır.



Şekil 1: Deneylerde kullanılan kile ait kompaksiyon eğrisi.

Su muhtevalarında değişme olmaması için numuneler alüminyum folyo ile sarılmıştır [10]. Ayrıca alüminyum folyonun numunelere yapışmasını önlemek amacı ile folyo üzerine çok az miktarda vazelin sürülmüş [11]-[12] ve numuneler 110 cm x 55 cm x 55 cm boyutlarında minimum sıcaklığı -25 °C maksimum sıcaklığı +60 °C olan programlanabilen donma kabinine yerleştirilmiştir. Literatürde killer üzerinde değişik çevrim sayısı, sıcaklık ve zaman dilimi kullanılarak donma-çözülme altında birçok çalışma bulunmaktadır [13]-[14]. Bu çalışmada donma-çözülme çevrim sayısı 1, 3, 5 ve 10 sıcaklık değerleri donma için -20 °C çözülme için +25 °C ve her bir sıcaklıkta bekleme süresi 6 saat olarak seçilmiştir [7]. Numuneler deney

süresince donma-çözülme kabininden çıkarılmamıştır. Her bir donma-çözülme çevrimi sonunda ilgili numuneler donma-çözülme kabininden çıkarılarak kopan parçalar uzaklaştırıldıktan sonra ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra serbest basınç mukavemetleri [15]’e uygun olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Serbest basınç deney aletinin yükleme hızı 0.8 mm/dk olarak seçilmiştir [15]. Her bir çevrim sonunda belirlenen serbest basınç mukavemetinin % 25, % 35 ve % 50 sine karşılık gelen yük miktarları önceden hazırlanmış silindirik numuneler üzerine üniform olacak şekilde özel bir düzenek yardımı ile yüklenmiştir. Numuneler bu şekilde otomatik donma çözülme kabinine yerleştirilmiştir (Şekil 3). Numuneler üzerlerinde yük varken donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Her bir çevrim sonunda numunelerdeki donma-çözülme dayanıklılığı belirlenmiştir. Ayrıca geleneksel yöntem ile yapılan deney numunelerinin her biri için gerilme-deformasyon grafikleri de çizilmiştir. Sonuçların güvenilirliği açısından her bir çevrim birbirinin muadili 4 adet numune üzerinde tekrarlanmış ve değerlendirilmelerde bunların ortalaması kullanılmıştır.



Şekil 2: Serbest basınç deney aleti.



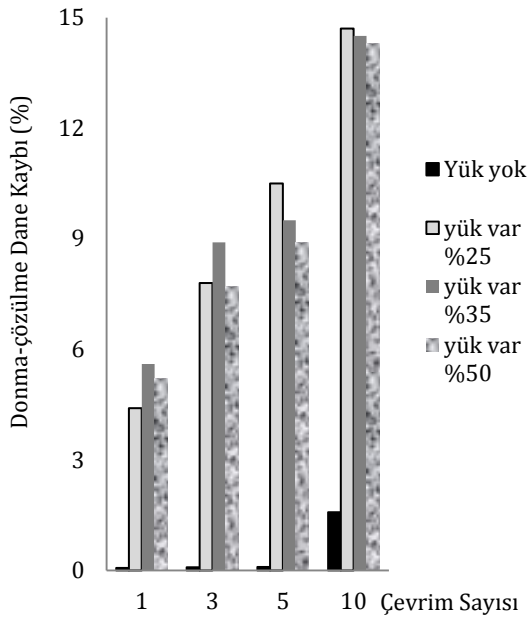
Şekil 3: Yük altında donma-çözülme deneyi (Özel yükleme mekanizmaları ve otomatik donma-çözülme deney kabini).

3 Bulgular ve Tartışma

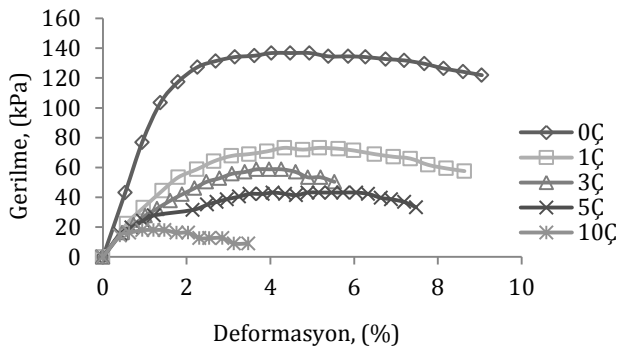
Çalışmanın birinci ve ikinci aşamasında yapılan donma-çözülme deneylerinde her bir çevrim sonunda elde edilen donma-çözülme dayanıklılığı grafikleri Şekil 4' de, geleneksel yöntemle göre yapılan deney numunelerine ait gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 5'de gösterilmiştir. Numunelerin belirlenen donma-çözülme çevrim sayıları sonunda serbest basınç mukavemetleri ile bu mukavemetlerin % 25, % 35 ve % 50' sine karşılık gelen yük değerleri ise Tablo 2'de toplu halde verilmiştir.

Tablo 2: Serbest basınç mukavemetleri ile bu mukavemetlerin % 25, % 35 ve % 50' sine karşılık gelen yük değerleri.

Donma-Çözülme Çevrim Sayısı	Serbest Basınç Mukavemeti (kPa)	Serbest Basınç Mukavemeti Yüzdeleri (kPa)		
		25	35	50
0	136.3	34	48	68
1	73.5	18	26	37
3	58.8	15	21	29
5	43.1	11	15	22
10	17.6	4	6	9



Şekil 4: Donma-çözülme dayanıklılığı grafiği.



Şekil 5: Tüm çevrimlere ait gerilme-deformasyon eğrileri.

Çevrim sayısının artması geleneksel yöntem ile yapılan deneylerde serbest basınç mukavemetinin azalmasına neden olmuştur öte yandan donma-çözülme çevrimleri sonunda, Bağntı (1)'e göre bulunan dane kayıplarının en az olması numunelerin donma-çözülme dayanıklılıklarının en yüksek olduğunu göstermektedir [16]. Şekil 4'te belirtilen numunelerin donma-çözülme dayanıklılıkları, numunelerin donma-çözülme dane kayıpları yüzdesi olarak alınmıştır. Numunelerin donma-çözülme sonrası dane kaybı (DÇD) yüzde cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

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

Burada;

BA: Numunelerin başlangıç ağırlıkları,

DÇSA: Numunelerin donma-çözülme sonrası ağırlıkları olarak alınmıştır.

Şekil 4 incelendiğinde hem geleneksel yöntem hem de numuneler üzerinde yük varken yapılan deneylerde çevrim sayısının artması ile donma-çözülme dayanıklılığının azaldığı görülmektedir [7]-[17]. Geleneksel yöntem ile yapılan deneylerde 1, 3, 5 ve 10 donma -çözülme çevrim sayılarında önemli bir dane kaybı olmazken (en fazla yaklaşık % 2), numuneler üzerinde yük varken bu kayıplar (yaklaşık % 15 kadar) hatırı sayılır mertebelerde artışlar göstermiştir. Bu artışların yaklaşık değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Diğer bir değişle yüke maruz kalan numunelerin geleneksel yöntemdeki numunelere göre donma-çözülme dayanıklılıkları önemli derecede azalma göstermiştir. Buna donma-çözülme süresince, boşluklardaki suyun buza dönüşmesi ile oluşan buz kuvvetinin zemin danelerini birbirinden ayırması ve boşluk hacminin artmasının [17] neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3: Yüke maruz numunelerde yaklaşık dane kayıpları değerleri.

Yük	Donma-çözülme dane kaybı (≈%)			
	Çevrimler			
	1	3	5	10
% 25	4	8	11	15
% 35	6	9	10	15
% 50	5	8	9	14

Öte yandan Tablo 2' de, geleneksel yöntem ile yapılan donma-çözülme deneylerinden çevrim sayısındaki artış serbest basınç mukavemeti değerini 136.3 kPa'dan 17.6 kPa'ya düşürerek yaklaşık % 87 azaltmıştır. Numuneler üzerinde yük varken yapılan donma-çözülme deneylerinde numunelerde çatlama gözlemlendiğinden serbest basınç deneyi yapılmamıştır.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada yüke maruz ve yüke maruz olamayan kil zeminler üzerinde laboratuvarında bir seri donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

- Yüke maruz kalan numunelerin geleneksel yöntemdeki numunelere göre donma-çözülme dayanıklılıkları önemli derecede azalmıştır.
- Çevrim sayısının artması geleneksel yöntem ile yapılan deneylerde serbest basınç mukavemetinin azalmasına neden olmuştur.

Farklı zemin ve farklı deney koşulları altında donma-çözülme davranışının nasıl değişeceği tam olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla, farklı mühendislik problemlerine çözüm teşkil etmesi açısından ileriki çalışmalarda benzer araştırmaların diğer zemin sınıfları üzerinde devam ettirilmesinde yarar görülmektedir.

5 Teşekkür

Bu araştırma çalışmasına, Atatürk Üniversitesi bilimsel araştırma projesi kapsamında destek sağlamıştır. Yazarlar bu destekten dolayı Atatürk Üniversitesi'ne teşekkürü bir borç bilirler.

6 Kaynaklar

- [1] Andersland, O. B., Ladanyi, B., *Frozen Ground Engineering*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, USA, 2004.
- [2] Erol, A., *C sınıfı uçucu kül katkılı siltlerin dayanım ve donma-çözülme direncinin deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [3] Cruzda, K.A., Hohmann, M., "Freezing effect on strength of clayey soils", *Applied clay science*, 12., 165-187, 1997.
- [4] Zaimoğlu, A.S., "Freezing-thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers", *Cold regions science and technology*, 60., 63-65, 2010.
- [5] Yarbaşı, N., Kalkan, E., Akbulut, S., "Modification of the geotechnical properties, as influenced by freeze-thaw, of granular soils with waste additives", *Cold regions science and technology*, 48., 44-54, 2007.
- [6] Hazirbaba, K., Gullu, H., "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, 2010.
- [7] Ghazavi, M., Roustaie, M., "The influence of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay", *Cold regions science and technology*, 61., 125-131, 2010.
- [8] BS 1377, Part 2, *Methods of test for soils for civil engineering purposes*, Classification tests. British standards institution, 1990.
- [9] ASTM D 698-78, *Fundamental principles of soil compaction*, American society for testing and materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- [10] Kværnø, H.S., Øygarden, L., "The influence of freeze-thaw cycles and soil moisture on aggregate stability of three soils in Norway", *Catena*, 67., 175-182, 2006.
- [11] Qi, J., Wei, M., Song, C., "Influence of freeze-thaw on engineering properties of silty soil", *Cold regions science and technology*, 53., 397-404, 2008.
- [12] Gullu, H., Hazirbaba, K., "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, 2010.
- [13] Liu, J., Wang, T., Tian, Y., "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, 2010.
- [14] Hazirbaba, K., Zhang, Y., Hulsey, J.L., "Evaluation of temperature and freeze-thaw effects on excess pore pressure generation of fine-grained soils", *Soil dynamics and earthquake engineering*, 31., 372-384, 2011.
- [15] ASTM D 2166., *Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil*, American society for testing and materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- [16] Taşpolat, L.T., Zorluer, İ., Koyuncu, H., "Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma-çözülme etkisi", *Yapı teknolojileri elektronik dergisi*, 2., 11-16, 2006.
- [17] Wang, D., Ma, W., Niu, Y.H., Chang, X., Wen, Z., "Effects of cyclic freezing and thawing on mechanical properties of Qinghai-Tibet clay", *Cold regions science and technology*, 48., 34-43, 2007.