

TEKRARLI DONMA VE ÇÖZÜLMENİN KİREÇ İLE STABİLİZE EDİLMİŞ KİL ZEMİNLERİN MUKAVEMET VE PERMEABİLİTESİNE ETKİSİ

Ali Sinan Soğancı^{1*}, Mustafa Yıldız¹

¹ Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
42075, Konya, Türkiye

Özet

Killi zeminler, uzun ömürlü veya dayanıklı yolların inşasında önemli problemler ortaya çıkarır. İki ana problem, killerin büzülmesi ve şişmesi, bir dizi su koşulları altında malzeme özelliklerinin değişmesidir. Kildeki hacim değişimleri önemli olabilir, hacimsel değişimler yolun duraysızlığına, yol kaplamasının şeklinin bozulmasına, yolun kullanılsız hale dönüşmesine neden olur. Kil zeminlerin diğer özelliği de kuru oldukları zaman taşıma güçlerinin yüksek olması, su muhtevalarının artması halinde plastisitesinin artarak taşıma gücünün azalmasıdır. Killi zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için bunların kireç ve çimento ile karıştırılması yöntemi özellikle karayolları ve hava meydanları alt yapıları için uzun süredir başarı ile uygulanmaktadır. Uygulamanın başarı derecesini belirleyen etkenlerin belli başlıları zemin cinsi, uygulama yöntemi, kür süresi, katkı malzemesi tip ve oranları, ekonomik kaygılar olarak sıralanabilir. Bu çalışmada donma ve çözülme gibi fiziksel olayların kireç ile stabilize edilmiş kil zeminlerin mukavemet ve permeabilitesine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla düşük ve yüksek plastisiteli iki sınıf kil literatürde belirlenen oranlarda kireç ve çimento ile stabilizasyona tabi tutulmuş, bu numuneler stabilize edilmeden ve edildikten sonra değişik sayıda donma-çözülme çevrimine maruz bırakılarak mukavemet ve permeabilite belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Donma-Çözülme, Kireç stabilizasyonu, Serbest basınç mukavemeti, Permeabilite

^{1*} Arş. Gör. Dr. Ali Sinan Soğancı, Tel.:+90-332-2231986; Fax: +90-332-2410635
E-mail. adres: alisoganci@selcuk.edu.tr

EFFECT OF FREEZING AND THAWING ON STRENGTH AND PERMEABILITY OF LIME-STABILIZED CLAYS

Abstract

Clay soils present unique problems to engineers in the construction of durable roads. The two principal concerns are shrinking and swelling of clays and changes in material properties under a range of moisture conditions. Volume change in clays can be significant and occur as the moisture content changes. Low-volume roads constructed on clays subgrades are a particular challenge to engineers because the volumetric changes cause instability of the road, resulting in an uneven pavement surface, detrimental cracking and ultimately, premature deterioration and replacement. Property changes of the clays are also problematic. When dry, clays are quite strong. However, as moisture increases, plasticity of the clay increases and strength decreases. Support of the pavement base layer by the clay subgrade is dramatically reduced because significant maintenance or premature road replacement is being a quite important problem. The method for improving the mechanical properties of clayey soils that are mixed with lime and cement has been successfully used in various field of construction such as subbase construction of high ways and air fields. The main factors that effect the success of the application method used in also embankments, fills behind bridge abutments, soil exchange in sliding slopes are the type of soil considered, application method, curing time, percentage of additives and economical considerations. In this study, the effect of the physical events such as freezing and thawing to strength and permeability of soils which are stabilized with lime will be investigated. For this purpose, two class of clays (high and low plasticity clays) will be stabilized with lime described in literature. Before stabilization and after stabilized, the permeability and strength of specimens will be determined with various freeze-thaw cycles.

Keywords: Freeze-Thaw, Lime stabilization, Clay soils, unconfined compression test, Permeability.

1. Giriş

Zemin stabilizasyonu, zeminin stabilitesini arttırarak uzun vadede dengeli durumda kalmasını sağlamak amacıyla yapılır. Uygun su muhtevasında iyi sıkıştırılmış ince daneli zeminlerin taşıma kapasiteleri yeterli seviyede görülse bile, su muhtevasının çoğalması durumunda dengelerini kaybetme riskini taşır. Bu gibi durumlarda uzun vadede mukavemeti yahut suya karşı direnci arttırmak amacıyla uygulanan stabilizasyon yöntemlerinden en eskisi kireçle stabilizasyondur. Bu uygulamaya sonraki yıllarda çimento üretiminin başlamasıyla çimento stabilizasyonu da eklenmiştir. Stabilizasyon sayesinde zeminin plastisitesi düşürülmekte dolayısıyla da zemin daha işlenebilir bir hal alıp basınç dayanımı ve yük taşıma özellikleri de gelişmektedir. Zemin kireç stabilizasyonunda kimyasal ve fiziksel olmak üzere iki olay meydana gelir. Bu olay çimento için de benzer şekildedir [1]. Kimyasal olaylar; katyon değişimi, çimentolanma ve karbonatlaşmadır. Rutubetle birlikte killi zeminlere kireç ilave edilip bir müddet bekletildiğinde killi zeminler kolay dağılabilir ve siltimsi bir hal alır. Killi bir zeminin kireç ilavesi ile siltimsi bir duruma dönüşmesi iki nedenden dolayıdır. Birincisi, kil daneciğinin yüzeyindeki Sodyum ve Potasyum gibi zayıf metalik katyonlarla, kirecin kuvvetli Kalsiyum katyonları arasında katyon değişimi meydana gelir. Diğer neden ise kil partikülleri Kalsiyum katyonlarını yüzeyde tutarlar. Her ne kadar kil partikülleri üzerinde başka katyonlar varsa da partikül yüzeyindeki Kalsiyum katyonları hakim durumdadır. Her iki olay da kil partiküllerinin yüzeyindeki elektrik yüklerinin sayısını değiştirmektedir. Kil partikülleri arasında yapışma katyonların yük ve büyüklüğüne bağlı olduğundan, tek değerlikli katyonların yerini alan iki değerli kalsiyum katyonları, kil partiküllerini birbirine çeker. Bu reaksiyon olurken killi zeminlerin plastisitesi düştüğü gibi zemin daha gevşek bir hal alır.

Zemin kireç karışımında önemli reaksiyonlardan biri de çimentolaşma olayıdır. Kireçte mevcut olan Kalsiyum katyonu, zeminde mevcut olan Alüminyum ve Silikat mineralleri ile reaksiyona girerek Kalsiyum Alüminat ve Kalsiyum Silikatlar meydana getirirler. Meydana gelen bu bileşikler çimentonun hidrasyonundan meydana gelen bileşiklere benzer. Bu olaya çimentolaşma denir. Zemin kireç karışımında meydana gelen fiziksel olaylar ise; topaklanma, plastisite de azalma, hacim değişiminde azalma,

su muhtevası-birim hacim ağırlık ilişkisinde değişme, mukavemet ve deformasyon özelliklerindeki değişme olarak sıralanabilir.

İnce daneli bir zemin donduğunda, oluşan buz mercikleri ilkönce su potansiyeli ve donma noktasının en yüksek olduğu en büyük gözeneklerde meydana gelir. Daha sonra küçük gözeneklerdeki suyun donması şeklinde oluşur. Su buza dönüştüğünde hacmi, yaklaşık olarak %9 artar. Bu durum zemin içinde çatlakların oluşmasına neden olur. Bununla ilgili Chamberlain, Iskandar ve Hunsicker [2], donmuş zemin numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada zeminden alınan ince kesitler üzerinde çatlakları açıkça görmüşler ve taramalı elektron fotomigrografla yaptıkları incelemede donmadan sonra zemin dokusunda önemli değişimlerin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Wong ve Haug [3], yaptıkları çalışmada kapalı sistem donma-çözülme çevrimlerinin kil, silt ve kum-bentonit karışımlarının permeabilitesi üzerindeki etkisini bir laboratuvar deney programında incelediler. Deney programının sonuçlarına göre, kil ve silt numunelerinin permeabilitelerinin donma-çözülme çevrimlerinden dolayı arttığını gözlemlemişlerdir.

Donma-çözülmenin kilin mukavemet özelliklerini nasıl etkilediği fazla araştırılmayan konular içerisindedir. Pousette ve Macsik [4], su muhtevası %200 dolaylarında değişen turbalık zeminler için, donma/çözülme sayısının mukavemet kazanımını olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Araştırmalarında, stabilize edilmiş turba zemin örneklerini sekiz defa donma/çözölmeye maruz bırakmışlar ($-10^{\circ}C/+20^{\circ}C$) ve donma/çözölmeye maruz bırakılmayanlara göre mukavemetlerinde %30 azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Thompson ve Dempsey [5], yeterli kireç mevcut ise puzzolanik reaksiyonların donma/çözölme esnasında uygun koşullar altında devam edeceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada kireç stabilizasyonunda, zeminin donması aşamasında meydana gelen kimyasal reaksiyonların durup durmadığı, durduktan sonra tekrar eski özelliğinde devam edip etmediği veya donmanın kimyasal stabilizasyonu ne derecede etkilediği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Malzeme

Deneyleerde plastisiteleri farklı yüksek ve düşük plastisiteli iki çeşit kil kullanılmıştır. Yüksek plastisiteli kil Aksaray ili Ortaköy mevkiindeki kil yatağından temin edilmiş, düşük plastisiteli kil ise Konya ili, Doğanhisar ilçesinden temin edilmiştir. Tablo 1’de Aksaray ve Doğanhisar kilinin geoteknik özellikleri belirtilmiştir. Kireç olarak piyasada mevcut sönmüş kireç Ca(OH)_2 kullanılmıştır.

Tablo 1. Aksaray ve Doğanhisar Kilinin Geoteknik Özellikleri

Özellikler	Aksaray Kili	Doğanhisar Kili
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı (kN/m^3)	14,21	16,32
Optimum su muhtevası (%)	26.46	17.50
Dane birim hacim ağırlığı (kN/m^3)	27,40	27,00
Likit Limit (%)	72	46
Plastik Limit (%)	27	24
Plastisite İndisi (%)	45	22

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Saf kil numunelerin hazırlanış şekli, kireç ile stabilize edilmiş numunelerden bazı farklılıklar göstermiştir. Saf kilden hazırlanan numuneler için toz halindeki kuru kil üzerine su, püskürtülmek suretiyle azar azar verilmiştir. Bu işlem için distile edilmiş saf su kullanılmıştır. Kireçle stabilize edilen kil numunelerinde % 6 oranındaki kireç, önce toz halindeki zemin ile karıştırılmış, zemine su daha sonra vermeye başlanılmıştır. Kompaksiyon deneyinde ASTM D 698–78 A metodu uygulanmıştır.

Hem kil hem de kireç Daniel ve Benson’un [6] önerdiği şekilde, optimum su muhtevasının ıslak tarafında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma su muhtevası optimum değerinin %2 üzerinde seçilmiştir.

Kireç ile stabilize edilmiş numuneler normal oda sıcaklığında sırasıyla 1, 3, 7, 21 ve 28 gün kür’e tabi tutulmuştur. Numuneler küre tabi tutulmadan önce naylon bir film ile daha sonra ise alüminyum folyo ile sarılmış ve naylon bir torba içine konulmuştur. Kür süreleri dolan numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyi ile permeabilite deneyleri yapılmıştır.

Aynı numuneler bu kez 1, 3, 7, 21 ve 28 gün kürden sonra 3 cycle (devir) yani 3 gün donma 3 gün çözülmeye tabi tutulmuş aynı numuneler içinde tek eksenli basınç deneyi ve permeabilite deneyleri yapılmıştır.

2.3. Permeabilite Deneyi

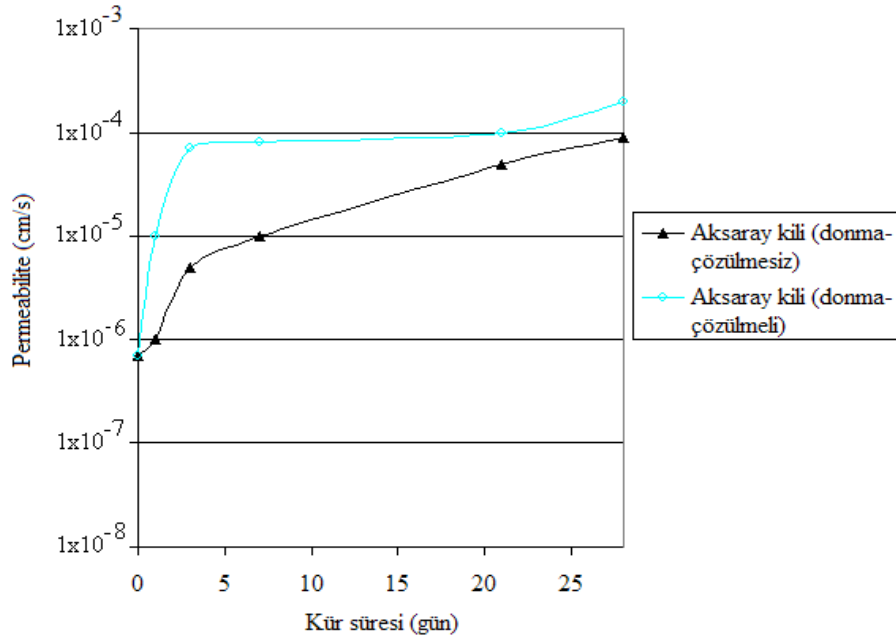
Numuneler 102 mm çapındaki kompaksiyon kalıplarında hazırlanmış ve yine aynı kalıplar içinde muhafaza edilerek değişik donma-çözülme sayısına maruz bırakılmış daha sonra permeabilite deneyine tabi tutulmuştur. Numuneleri suya tam doygun hale getirebilmek için kalıp su içinde bırakılmış hem alttan hem de üst cam borudan gelen su ile doygun hale getirilmiştir. Kullanılan permean distile edilmiş sudur. Bütün deneyler sırasında giren ve çıkan su miktarları ölçülmüştür. Deneylere permeabilite değeri sabit oluncaya kadar devam edilmiştir. Değişik kür süreleri için donma çözülme çevrimine maruz bırakılmamış ve bırakılmış Aksaray ve Doğanhisar killeri için permeabilite deney sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3’de ve Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Aksaray Kilinin Permeabilite Deneyi Sonuçları

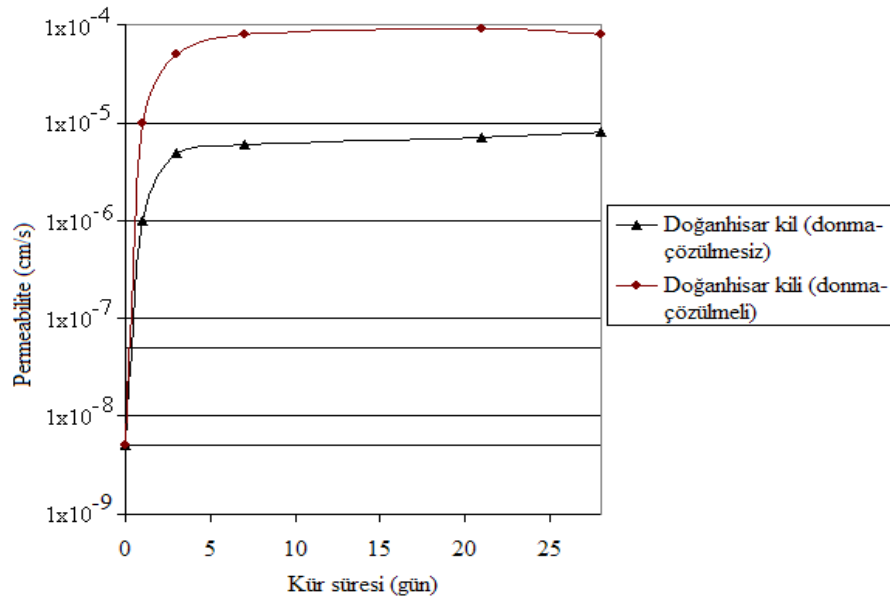
Numune	Kür süresi (gün)	k (cm/sn) (Donma-Çözülmesiz)	k (cm/sn) (Donma-Çözülmeli)
Kireçsiz	0	7×10^{-7}	7×10^{-7}
%6 kireçli	1	1×10^{-6}	1×10^{-5}
%6 kireçli	3	5×10^{-6}	7×10^{-5}
%6 kireçli	7	1×10^{-5}	8×10^{-5}
%6 kireçli	21	5×10^{-5}	1×10^{-4}
%6 kireçli	28	9×10^{-5}	2×10^{-4}

Tablo 3. Doğanhisar Kilinin Permeabilite Deneyi Sonuçları

Numune	Kür süresi (gün)	k (cm/sn) (Donma-Çözülmesiz)	k (cm/sn) (Donma-Çözülmeli)
Kireçsiz	0	5×10^{-9}	5×10^{-9}
%6 kireçli	1	1×10^{-6}	1×10^{-5}
%6 kireçli	3	5×10^{-6}	5×10^{-5}
%6 kireçli	7	6×10^{-6}	8×10^{-5}
%6 kireçli	21	7×10^{-6}	9×10^{-5}
%6 kireçli	28	8×10^{-6}	8×10^{-5}



Şekil 1. %6 kireç katkılı Aksaray kili için Permeabilite– kür süresi ilişkisi

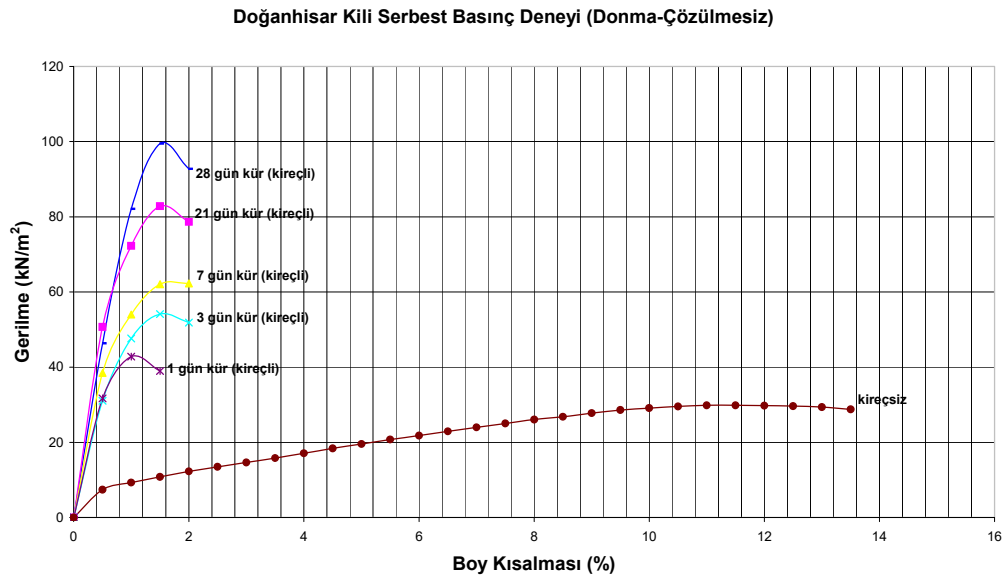


Şekil 2. %6 kireç katkılı Doğanhisar kili için Permeabilite– kür süresi ilişkisi

2.4. Tek Eksenli Basınç Deneyi

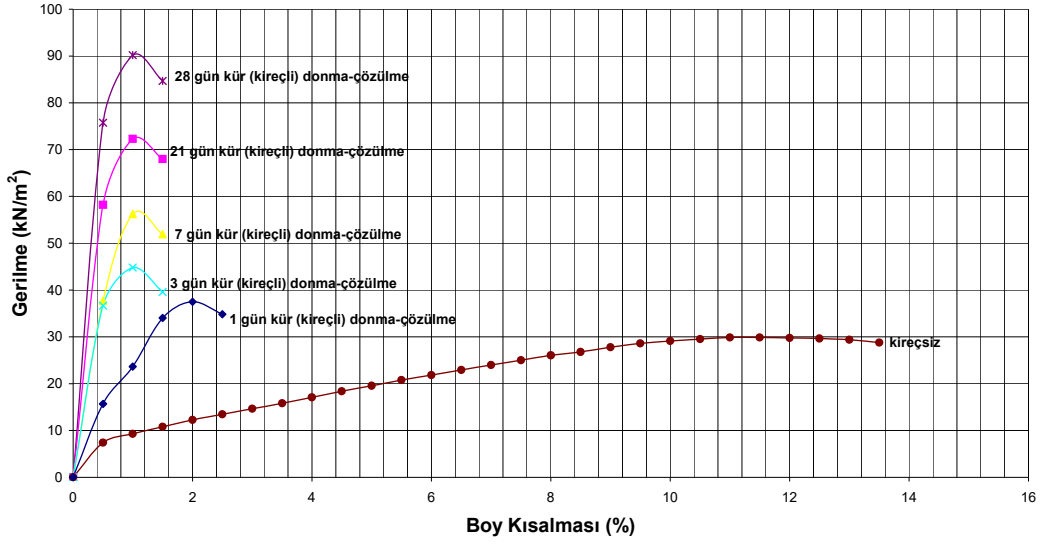
Serbest basınç mukavemeti belirlenecek olan numuneler, ASTM D698 standardındaki Metot A'da belirtildiği şekilde Standart Proctor deneyi ile elde edilen optimum su muhtevasında %6 kireç katılarak hazırlanmışlardır. Kireç ile stabilize edilmiş numuneler permeabilite deneyinde olduğu gibi sırasıyla 1, 3, 7, 21 ve 28 gün kür'e tabi tutulmuştur. Numunelerin bir kısmı donma-çözülme evrimine maruz

bırakılmıştır. Hazırlanmış olan numuneler serbest basınç aletine konarak yükleme düzeneğinde merkezlenmiştir. Yükleme plakası numuneye değinceye kadar yüklenmiş ve bu noktada deformasyon saati sıfırlanmıştır. Eksenel yük ve deplasman okumaları, yükleme işlemine başladıktan sonra ilk iki 0.1mm de ve daha sonra ise 0.2 mm deplasman aralıklarıyla deformasyon saatinden ve yatay yük okuma düzeneğinden okumalar alınarak kaydedilmiştir. Yükleme işlemine kırılma olmaması durumunda %15 lik deformasyona kadar devam edilmiş ve bu deformasyonda kırılma olmaması durumunda bu noktadaki kırılma yükü maksimum yük olarak belirlenmiştir. Aksaray ve Doğanhisar killeri için serbest basınç mukavemet deney sonuçları Şekil 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir. Kür süresi ve donma-çözülme etkisinin kireç ile stabilize edilmiş numunelerin mukavemetine etkisi ise her iki kil için Tablo 4'de verilmiştir.



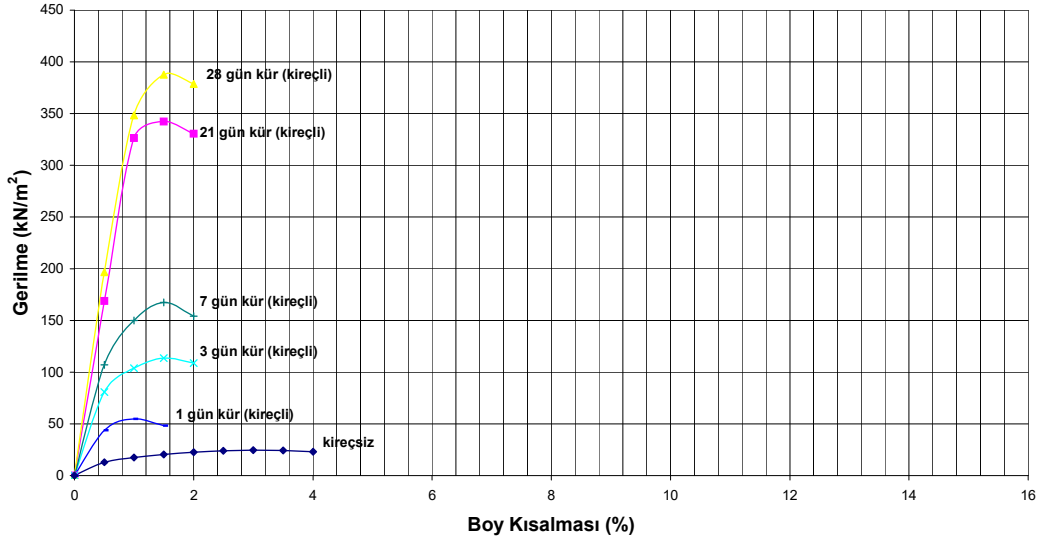
Şekil 3. % 6 kireç katkılı Doğanhisar Kili Serbest Basınç Deneyi Sonuçları
(Donma-Çözülmesiz)

Doğanhisar Kili Serbest Basınç Deneyi (Donma-Çözülmeli)



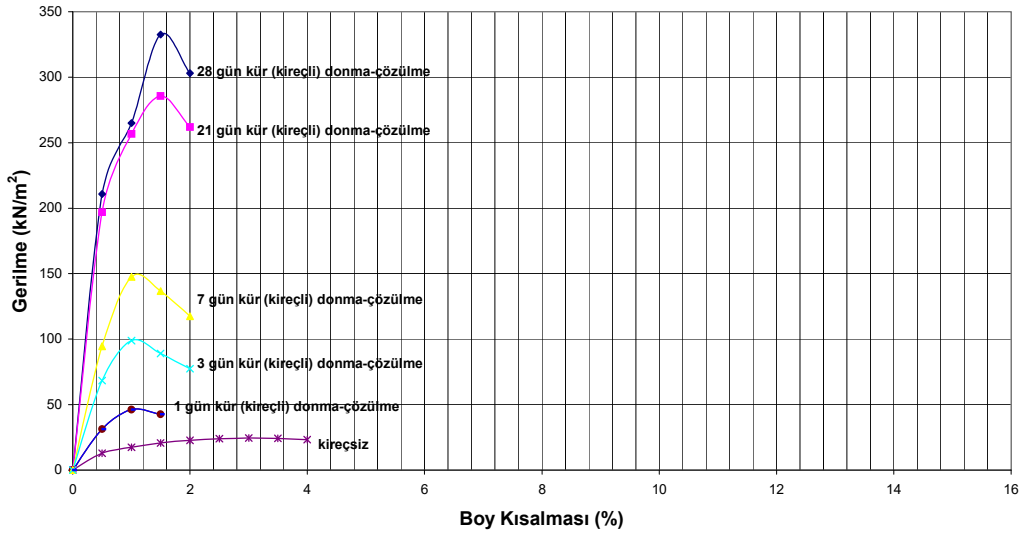
Şekil 4. %6 kireç katkılı Doğanhisar Kili Serbest Basınç Deneyi Sonuçları
(Donma-Çözülmeli)

Aksaray Kili Serbest Basınç Deneyi (Donma-Çözülmesiz)



Şekil 5. % 6 kireç katkılı Aksaray Kili Serbest Basınç Deneyi Sonuçları
(Donma-Çözülmesiz)

Aksaray Kili Serbest Basınç Deneyi (Donma-Çözülmeli)



Şekil 6. %6 kireç katkılı Aksaray Kili Serbest Basınç Deneyi Sonuçları
(Donma-Çözülmeli)

Tablo 4. %6 kireç katkılı Aksaray ve Doğanhisar Kili Serbest basınç deneyi sonuçları

Numune	Kür süresi (gün)	Serbest Basınç Muk.	
		Donma-çözülmesiz q_u (kN/m ²)	Donma-çözülmeli q_u (kN/m ²)
Doğanhisar Kili	1	42,8	37,5
	3	54,2	44,8
	7	62,3	56,2
	21	82,8	72,3
	28	99,5	90,2
Aksaray Kili	1	54,8	46,1
	3	113,8	98,9
	7	167,6	147,4
	21	342,2	285,6
	28	387,8	332,6

3. Sonuçlar

- Aksaray ve Doğanhisar killerine % 6 kireç katılarak kompaksiyonla numuneler hazırlanmış ve değişik günlerde küre tabii tutulmuştur. Düşen seviyeli permeabilite deneyi ile permeabilite katsayıları, serbest basınç deneyi ile de mukavemet parametreleri belirlenmiştir. Aynı numuneler tekrar % 6 kireç

katılarak küre tabi tutulmuş ve daha sonra 1gün donma 1 gün çözülme olmak üzere 3 defa tekrar yapılarak permeabilite ve mukavemet parametrelerindeki değişim gözlenmiştir.

- Bu çalışma donma-çözülme etkisinin sıkıştırılmış kilin yapısında ve hidrolik geçirgenliğinde artışa neden olduğu teoremini doğrulamıştır. Her iki kil tipi için de kireç ilavesi ile kilin yapısı floküle hale gelmiş ve permeabilite değerinde de 1000 kat artış olduğu gözlenmiştir. Donma-Çözülme uygulanmasında hidrolik geçirgenliğin yaklaşık 10~20 kat arasında artış göstermiştir. Numunelerde, donma-çözülme esnasında oluşmuş olan birçok yatay ve düşey çatlaklar görülmüştür. Bu çatlakların oluşması da hidrolik geçirgenliğin yani permeabilitenin arttığını doğrulamıştır.
- Mukavemet parametrelerinde meydana gelen değişim ise her iki kil tipi için de farklı sonuçlar vermiştir. Yüksek plastisiteli kil olan Aksaray kilinin serbest basınç mukavemeti 28 gün kür sonucunda yaklaşık olarak 15 kat artmıştır. Düşük plastisiteli kil olan Doğanhisar kilinde ise mukavemet 28 gün kür sonunda yaklaşık 3 kat artmıştır. Donma-çözülme sonucunda ise her iki kil tipinde de serbest basınç mukavemetinde %10–15 arasında azalma meydana gelmiştir.
- Donma-Çözülme etkisi kireç katkılı kil zeminlerdeki puzolanik (kimyasal) reaksiyonu yavaşlatmakla birlikte durdurmamakta, bu durum soğuk mevsimlerde bile kil zeminlerin kireç ile stabilize edilebileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 2003/054 no'lu proje kapsamında Selçuk Üniversitesi BAP tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Çiniçioğlu FÖ. İnce Taneli Zeminlerde Kireç ve Çimeto Katkının Etkileri. Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, 8-11 Eylül 1993.

- [2] Chamberlain EJ, Iskander I, Hunsiker SE. Effect of freeze-thaw on the permeability and macrostructure of soils. Proc., Int. Symp. on Frozen Soil Impacts of Agric., Range, and Forest Lands, Spokane, Wash., 1990; 145-155.
- [3] Wong LC, Haug MD. Cyclical Closed-system freeze-thaw permeability testing of soil liner and cover materials, Can. Geotech. Jour. 28, 1991; 784-793.
- [4] Pousette K, Macsik J, Jacobsson, A, Andersson R, Lahtinen P. Peat soil samples stabilised in the laboratory – Experiences from manufacturing and testing. Dry mix methods for Deep Soil Stabilisation. Brenderberg, Holm, and Broms, eds. Balkema, Rotterdam. 1999; 85-92.
- [5] Thompson, MR, Dempsey, BJ. Autogenous Healing of Lime Soil Mixture, Highway Research Board No. 263; 1969.
- [6] Daniel, DE, Benson, CH. Water content – density criteria for compacted soil liners, Jour. Geotech. Eng., Vol: 116, No: 12, 1990; 1811-1830.