

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇİMENTO STABİLİZE ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİNDE  
UÇUCU KÜL KULLANIMI**

**Mehmet Halil DORU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2014**



**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇİMENTO STABİLİZE ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİNDE  
UÇUCU KÜL KULLANIMI**

**Mehmet Halil DORU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2014**

Doç. Dr. H. Murat ALĞIN' in danışmanlığında, Mehmet Halil DORU' nun hazırladığı “Çimento Stabilize Zemin İyileştirmelerinde Uçucu Kül Kullanımı” konulu bu çalışma 19/08/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. H. Murat ALĞIN .....

Üye : Doç. Dr. Güzel YILMAZ .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Celal AĞAN .....

**Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.**

**Prof. Dr. Sinan UYANIK**  
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: 12093**

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

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KİLLİ ZEMİNLER ve ŞİŞME POTANSİYELİ.....	3
2.1. Şişen zeminlerin dünya üzerindeki dağılımı.....	4
2.2. Killerin minerolojik yapısı.....	4
2.3. Başlıca kil çeşitleri.....	6
2.3.1. Kaolin.....	6
2.3.2. İllit.....	7
2.3.3. Montmorillonit.....	8
2.4. Önceki çalışmalar.....	9
3. ZEMİN STABİLİZASYONU.....	17
3.1. Derin karıştırma yöntemi.....	17
3.2. Jet Grout yöntemi.....	18
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
4.1. Materyal.....	20
4.1.1. Çimento.....	20
4.1.2. Mineral katkıları.....	20
4.1.3. Zemin.....	21
4.2. Deneysel çalışma.....	21
4.2.1. Zemin numunesinin özellikleri.....	21
4.2.1.1. Elek analizi ve ıslak analiz deneyleri.....	21
4.2.1.2. Pipet yöntemiyle kil-silt yüzdesinin tespiti.....	23
4.2.1.3. Atterberg kıvam limitleri deneyleri.....	25
4.2.2. Zemin mukavemet parametrelerinin belirlenmesi.....	27
4.2.2.1. Serbest basınç deneyi.....	27
4.2.2.2. Kesme kutusu deneyi.....	29
4.2.3. Karışımların hazırlanması.....	31
4.2.4. Numunelerin kür süresi.....	34
4.2.5. Deneylerin yapılması.....	35
4.2.5.1. Serbest basınç deneyi.....	35
4.2.5.2. Basınç dayanımı deneyi.....	38
4.2.5.3. Yarmada çekme deneyi.....	42
4.2.5.4. Kılcal su geçirimsizliği deneyi.....	43
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	44
5.1. Serbest basınç dayanımı.....	44
5.2. Basınç dayanımı.....	44
5.3. Yarmada çekme deneyi.....	47
5.4. Kılcal su geçirimsizliği deneyi.....	47
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	54

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ÇİMENTO STABİLİZE ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİNDE UÇUCU KÜL KULLANIMI**

**Mehmet Halil DORU**

**Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. H. Murat ALĞIN  
Yıl: 2014, Sayfa: 54**

Uçucu kül (UK) katkılı çimento stabilizasyon uygulamaları ile zayıf zemin tabakaları iyileştirilirken, çimentonun kısmen UK ile yerdeğiştirilmesi bu işlemi daha ekonomik hale getirmektedir. Bu araştırmada Portlant Çimentosu (PÇ) ve ASTM sınıflandırma standardına göre F sınıfı UK kullanılmıştır. Harran Bölgesi killi zemininin bu yolla iyileştirilmesinin, zeminin mekanik ve geoteknik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, üç farklı karışım belirlenmiş olup, karışımlarda zemin miktarı, bağlayıcı malzeme dozajı ve su/bağlayıcı malzeme (S/B) oranı sabit tutularak değişen yüzdelerde çimento yerine UK kullanılmıştır. Karışımlarda bağlayıcı malzeme miktarı 500 doz, S/B oranı 1.00 olarak alınmıştır. Karışımlar sırasıyla %10, %30 ve %50 oranlarında çimento yerine UK içerecek şekilde düzenlenmiştir. Üretilen numunelerin mekanik ve geoteknik özellikleri 28 günlük kür süresi için incelenmiştir. Numunelerin UK içerikleri gözönünde bulundurulduğunda, % 10 UK içeren numunelerin daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. UK kullanım miktarının artması ile 28 günlük kür süresi için basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, serbest basınç dayanımı ve kılcal su geçirimsizliği üzerinde olumlu etkinin azaldığı görülmüştür.

**ANAHTAR KELİME:** Zemin stabilizasyonu, Çimento stabilize zemin, Uçucu kül, Killi zeminler

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **USING FLY ASH AS AN ADDITIVE IN CEMENT STABILIZATION OF SOILS**

**Mehmet Halil DORU**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. H. Murat ALĖİN  
Year: 2014, Page: 54**

As using Fly ash (FA) as an additive in cement stabilization of soft soil layers makes it possible to improve soil strength, it makes this application become more economical by using FA as a replacement material by Portland Cement (PC). In this study PC and FA classed as F according to ASTM standarts had been used. This study presents the influence of stabilization in this way on the mechanical and geotechnical properties of clayey soil of Harran region. For this purpose, three different mixtures were prepared. For all mixtures, the amount of soil, dosage of binder material and water/binder material (W/B) ratio were held constant and FA was used at different ratios as a replacement material by cement. For all mixtures, the amount of cement was taken as 500 dosage and the ratio of W/B was adopted as 1.00. Mixtures contain 10%, 30% and 50% FA. The properties of mixtures were investigated for the ages of 28 days. Desertation concluded that mixtures with %10 FA have a more positive effect on the performance. Increase in the FA content decreases the positive effect on compressive strength, splitting tensile strength, unconfined compressive strength and sorptivity at the age of 28 days.

**KEY WORDS:** Soil stabilization, Cement stabilized soil, Fly ash, Clayey soils

## TEŐEKKÖR

Tezin konusunun seçiminde, uygulamasında ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. H. Murat ALĖİN'a, ve tez çalışmamda bana yardımcı olan Arş. Gör. Zeynep ALĖİN ve Öğr. Gör. Serhat DEMİRHAN'a teşekkür ederim.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 2.1. Şişen zeminlerin yol açtığı hasarlar .....	3
Şekil 2.2. Şişen zeminlerin yeryüzü üzerindeki dağılımı .....	4
Şekil 2.3. Kil minerallerinin temel yapısı.....	5
Şekil 2.4. Kaolin.....	6
Şekil 2.5. İllit.....	7
Şekil 2.6. Montmorillonit .....	8
Şekil 2.7. Ottawa kilinin benzer su muhtevsındaki iki numunesine ait mikrografik görünümü .....	9
Şekil 2.8. %8.7 oranında PÇ ile stabilize edilmiş Nanticoke kilinin mikrografik görünümü.....	10
Şekil 2.9. Örselenmemiş, örselenmiş ve çimento stabilize numunelerin permeabilite değerleri.....	11
Şekil 2.10. Nanticoke, Ottawa ve EPK Kaolin killilerinin değişen su muhtevası ve çimento oranı değerleri için 28 günlük serbest basınç mukavemeti değerleri .....	12
Şekil 2.11. Karışımlar .....	12
Şekil 2.12. Serbest basınç mukavemeti deneyi sonuçları.....	13
Şekil 2.13. Uçucu kül, Desülfojips ve Kireç kullanımının Atterberg kıvam limitleri üzerine etkileri.....	15
Şekil 3.1. Derin karıştırma yöntemi .....	17
Şekil 3.2. Jet grout yöntemi.....	19
Şekil 4.1. Elek seti ve sarsma düzeneği .....	22
Şekil 4.2. Islak analiz .....	22
Şekil 4.3. Pipet yöntemi için hazırlanan süspansiyon .....	24
Şekil 4.4. Pipet yönteminde belli zaman aralıklarında alınan numuneler .....	24
Şekil 4.5. Zemin numunesinin gradasyon eğrisi .....	25
Şekil 4.6. Likit limit deneyi.....	26
Şekil 4.7. Likit limit ve Plastik limit değerlerinin belirlenmesi .....	26
Şekil 4.8. Likit limit değeri .....	27
Şekil 4.9. Serbest basınç deney numunesi.....	28
Şekil 4.10. Zemin numunelerinin serbest basınç deneyi .....	28
Şekil 4.11. Serbest basınç deneyi sonuçları .....	29
Şekil 4.12. Şematik olarak bir kesme kutusu deneyi aleti.....	30
Şekil 4.13. Kesme kutusu deney cihazı.....	30
Şekil 4.14. Kesme kutusu deney sonuçları.....	31
Şekil 4.15. Karışım işleminde kullanılan 25 lt. kapasiteli mikser .....	32
Şekil 4.16. 30x60 mm'lik Silindir numuneler .....	33
Şekil 4.17. 150x150x150 mm'lik Küp numuneler.....	33
Şekil 4.18. 100x200 mm'lik Silindir numuneler.....	33
Şekil 4.19. 30x60 mm'lik Silindir numunelerin poşette 28 gün kür edilmesi.....	34
Şekil 4.20. 1. Grup deney numunelerinin poşette 28 gün kür edilmesi.....	34
Şekil 4.21. Serbest basınç deney numunelerinin hazırlanması.....	36
Şekil 4.22. Serbest basınç deneyi.....	37
Şekil 4.23. Basınç dayanımı deney cihazı.....	38
Şekil 4.24. Basınç dayanımı deneyi .....	41
Şekil 4.25. Yarmada çekme deneyi .....	42
Şekil 4.26. Kılcal su geçirimsizliği deneyi.....	43
Şekil 5.1. 28 Günlük basınç dayanımları .....	46
Şekil 5.2. Kılcal su geçirimsizliği deneyi sonuçları .....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 2.1. Başlıca kil minerallerinin dane özellikleri.....	5
Çizelge 4.1. Çimento ve uçucu kül kimyasal kompozisyonları.....	20
Çizelge 4.2. Elek analizi ve ıslak analiz.....	23
Çizelge 4.3. Pipet yönteminde elde edilen sonuçlar.....	25
Çizelge 4.4. Zemin numunelerinin serbest basınç deneyi.....	29
Çizelge 4.5. Kesme kutusu deneyi sonuçları.....	30
Çizelge 4.6. Zemin numunelerinin karışım oranları.....	31
Çizelge 4.7. Serbest basınç deneyi.....	37
Çizelge 4.8. Kılcal su geçirimsizliği deneyi sonuçları.....	43
Çizelge 5.1. Serbest basınç deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	44
Çizelge 5.2. Basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	46
Çizelge 5.3. Yarmada çekme deneyi sonuçları.....	47
Çizelge 5.4. Kılcal su geçirimsizliği deneyi sonuçları.....	47

## SİMGELER DİZİNİ

UK	Uçucu Kül
S/B	Su/Bağlayıcı Malzeme
Ç	Çimento
Z	Zemin
PÇ	Portland Çimentosu
ASTM	Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği

## 1. GİRİŞ

Mühendislik çalışmalarında, zeminle ilgili karşılaşılan yaygın problemlerden bir tanesi killi zeminlerde meydana gelen şişme-büzülme mekanizmasıdır. Şişme potansiyeli olan zeminler, buldukları ortama su nüfuz ettiğinde şişerek hacimsel artış gösterirler, ortamdan su uzaklaştığında ise büzülürler. Bu durum, zamanında gerekli tedbirler alınmadığında yapılar (alt - üst yapı) üzerinde büyük hasarlar meydana getirebilirler.

Şişme potansiyeli yüksek zeminlere yaygın olarak kurak iklim bölgelerde rastlanır. Nemli iklimin hakim olduğu bölgelerde, yeraltı su seviyesi yüzeye yakın seviyededir. Bu nedenle, zeminin hacimsel artış göstererek deforme olmasına sebebiyet verecek su muhtevastındaki değişim düşük düzeydedir. Fakat bu bölgeler için uzun süren kuraklık şartlarında, bu durum aksi yönde değişir. Derin tabakalardaki zeminlerin suya doygunluk oranı yüzeye göre daha fazla olduğundan iklimsel değişimlerden en fazla etkilenen ve şişme-büzülme mekanizmasına maruz kalan bölge yüzeye yakın bölgelerdir.

Şişme potansiyeli yüksek zeminler üzerinde inşaa edilen mühendislik yapıları üzerinde özellikle de hafif yapılarda, zemin kabarmaları sonucunda birçok deformasyonlar oluşarak yapının fonksiyonunu sağlayamaması durumu oluşabilmektedir.

Amerika'da şişen zeminlerden dolayı meydana gelen alt ve üst yapı hasarlarının maddi kayıp tutarının yılda 2.3 milyar US \$ civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda oluşan hasarın, deprem, sel, fırtına vb. diğer doğal afetlerin iki katından fazla bir kayba karşılık geldiği görülmektedir (Kerrane, 2005).

Bu tür zeminlerin bulunduğu bölgelere yönelik projelerin tasarlanmasına ve inşasına başlanmadan önce, gerekli araştırmalar yapılarak zeminin hacimsel değişimi incelenmeli ve bulgular doğrultusunda gerekli zemin ıslahı yapılmalıdır. Bu

ön çalışma, daha sonra meydana gelmesi muhtemel problemleri ortadan kaldırmada etkili olmaktadır. Zemin stabilizasyonu yolu ile zeminlerin hacimsel değişimlerinin önlenmesinde çimento stabilizasyonunun etkili olduğu görülmüştür.

Beton üretiminde, çimento ile birlikte kullanıldığında bağlayıcı özellik gösteren uçucu kül vb. mineral katkıların kullanılmasının uygun olduğu bilinmektedir. Çimento ile zemin stabilizasyonunda da uçucu kül kullanımının benzer olumlu etkiler göstereceği öngörülür.

Bu tez çalışmasında, Yumurtalık-Sugözü Enerji Santrali'nden temin edilen F sınıfı uçucu külün Harran Bölgesi killi zemininin stabilizasyonunda kullanımının, zeminin geoteknik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, zeminin %15 su muhtevası için yapılmıştır. Öncelikle 40 No'lu elekten geçen zemin numunesinin kıvam limitleri belirlenerek daha sonra serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Stabilizasyon işlemleri için hazırlanan karışımların tümü için su/bağlayıcı malzeme oranı 1.00 olarak alınmıştır. Uçucu kül oranı için, kullanılan portland çimentonun %10, %30 ve %50'si kadar olacak şekilde üç farklı oran baz alınmıştır. Tüm grup numuneleri 28 günlük kür süresine tabi tutulmuştur. Kür süre sonunda numunelere; serbest basınç deneyi, basınç dayanımı deneyi, yarmada çekme dayanımı deneyi ve kılcal su geçirimsizliği deneyi uygulanmıştır.

**2. KİLLİ ZEMİNLER ve ŞİŞME POTANSİYELİ**

Şişen zeminler, su ile karşılaştıklarında büyük oranda hacimsel artış gösteren, genellikle yapısında montmorillonit minerali bulunan ince daneli zeminlerdir. Şişme, çeşitli çevresel kaynaklardan zemin ortamına nüfuz eden suyun zemin yüzeyinde bulunan yapılardan dolayı, buharlaşma yoluyla zemin ortamından yeterince hızlı bir şekilde uzaklaşmaması halinde meydana gelir (Şekil 2.1.).

Yüksek plastisiteli yarı doygun killer su içeriklerinde meydana gelen artış sonucu şişme, su içeriğindeki azalma meydana geldiğinde ise büzülme eğilimi gösterirler. Bu zeminler üzerine inşaa edilmiş veya edilecek yapılarda şişme sonucu ortaya çıkabilecek kabarma hareketleri hafif yapılarda, yol ve hava alanlarında, boru hatlarında önemli hasarlara (Şekil 2.1.) neden olurlar ve özel önlemlerin alınmasını gerektirirler.



(a) Kaldırım kaplama



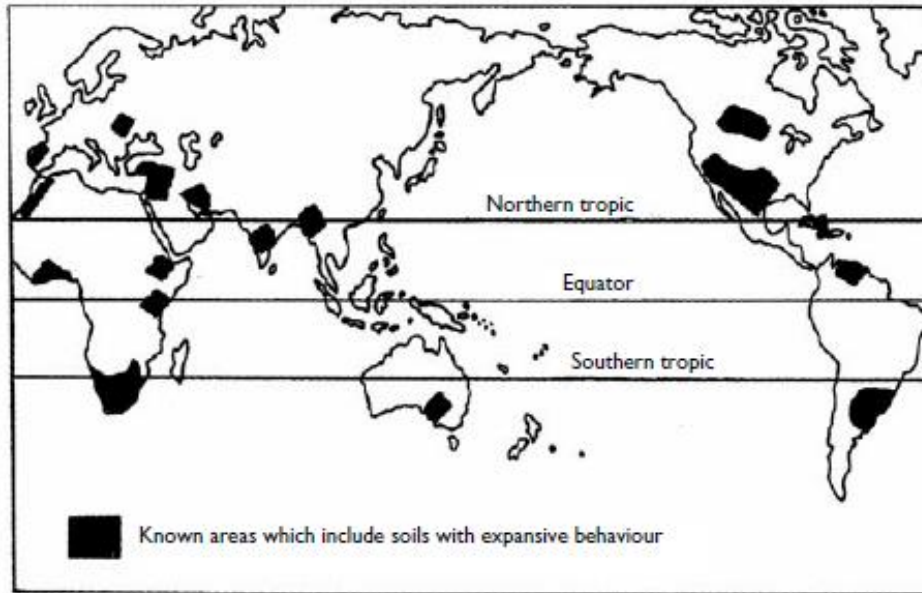
(b) Asfalt yol kaplaması

Şekil 2.1. Şişen zeminlerin yol açtığı hasarlar: (a) Kaldırım kaplama, (b) Asfalt yol kaplaması (Çokça, 2012)

Şişen zeminlerin yapılar üzerindeki etkileri zamana bağlı olarak yavaş bir biçimde meydana geldiğinden büyük ekonomik kayıplara sebebiyet verebilirler. Bu tip istenmeyen durumlarla karşılaşmamak için gerekli zemin iyileştirme uygulamalarından uygun olan bir yöntem ile zemin stabilizasyonu yapılmalıdır.

### 2.1. Şişen Zeminlerin Dünya Üzerindeki Dağılımı

Şişen zeminlerin yeryüzündeki dağılımı, bölgenin jeolojik geçmişi, iklim şartları, hidrolojik durumu ve jeomorfolojisi ile doğrudan ilgilidir. Şişen zeminlerden dolayı yapıların hasar gördüğü ülkelerin başında; Arjantin, Küba, Yunanistan, Meksika, Romanya, Türkiye, Australya, Kıbrıs, Hindistan, Fas, Güney Afrika, A.B.D., Burma, Etiyopya, İsrail, Norveç, İspanya, Venezuela, Kanada, Almanya, İran, Umman, İsviçre, Çin, Gana, Zimbabve ve Japonya gelmektedir (Al-Rawas ve Goosen, 2006) (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Şişen zeminlerin yeryüzü üzerindeki dağılımı (Donaldson, 1969)

### 2.2. Killerin Minerolojik Yapısı

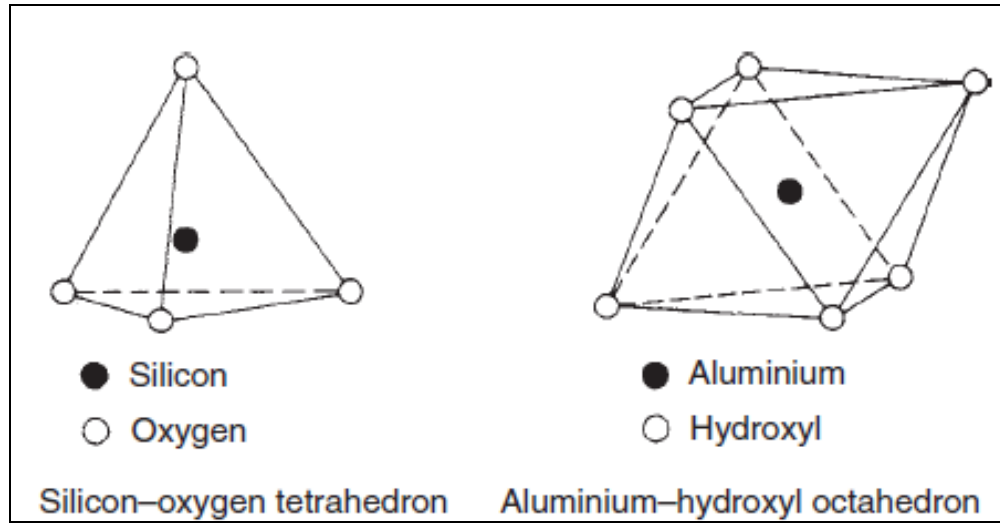
Killer, kayaların kimyasal ayrışmaları sonucu meydana gelen ince daneli zeminlerden oluşur. Kalınlıkları diğer boyutlarına oranla çok küçük olduğundan, kırılğan ve plakalı bir forma sahip olan mineraller çok küçük parçalara bölünerek ince daneli zeminleri oluştururlar. Bu daneler çok küçük olduklarından, biçimleri ancak mikroskop altında incelenebilir. Danelerin yüzey alanlarının hacimlerine (veya ağırlıklarına) oranı spesifik (özümlü) yüzey olarak tanımlanmaktadır.

Kil danelerinin boyutları ve spesifik yüzeyleri, sahip oldukları minerolojik yapıya bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 2.1. Başlıca kil minerallerinin dane özellikleri (Özaydın, 2011)

<b>Kil Minerali</b>	<b>Dane Kalınlığı (<math>\times 10^{-6}</math> mm)</b>	<b>Dane Çapı (<math>\times 10^{-6}</math> mm)</b>	<b>Spesifik Yüzey (<math>\text{km}^2/\text{kg}</math>)</b>
Kaolin	50-2000	300-4000	0.0015
Klorit	30	10 000	0.08
İllit	30	10 000	0.08
Montmorillonit	3	100-1000	0.8

Tipik olarak iyonlar molekülleri, moleküller levhaları, levhalar plakaları, plakalar ise killeri oluşturan kristalleri oluştururlar. Kimyasal bozunma ile ana kayanın parçalara ayrışmasıyla atomlar yeni kristal yapılar oluştururlar. Bu kristal yapılar, Silika Tetrahedron Levhalar ve Alumina Oktahedral Levhalar olmak üzere iki farklı yapıyı kapsamaktadır.



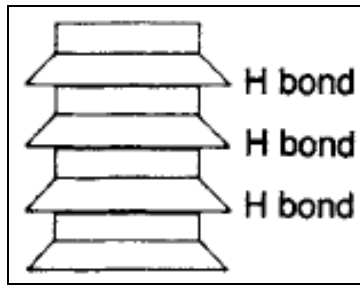
Şekil 2.3. Kil minerallerinin temel yapıları (Craig, 2004)



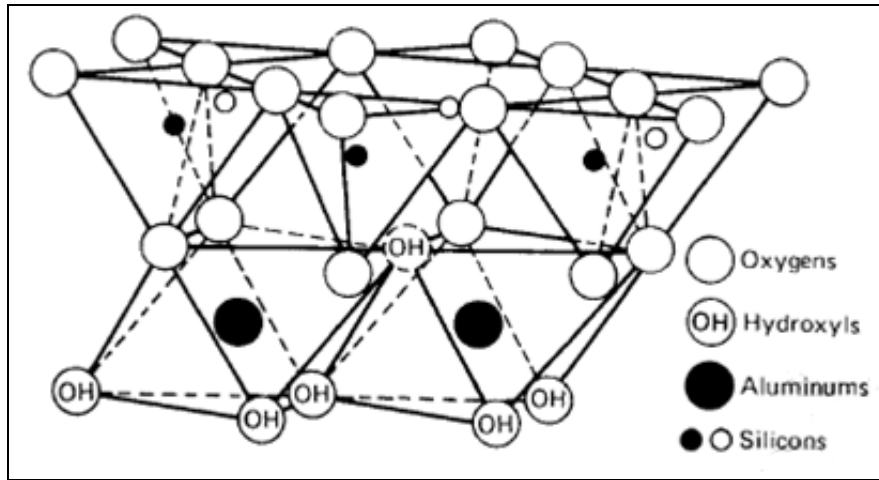
### 2.3. Başlıca Kil Çeşitleri

#### 2.3.1. Kaolin:

Kaolin, bir tek silika levha ile bir tek alüminyum-hidroksit minerali levhası birleşiminden meydana gelen bir yapıya sahiptir. Levhalar birbirine güçlü hidrojen bağları ile bağlıdır (Craig, 2004). Levhalar güçlü hidrojen bağlarıyla birbirine bağlı olduğundan bu tip killer su ile temas ettikleri zaman çok az şişerler.



(a) Kaolin (Craig, 2004)

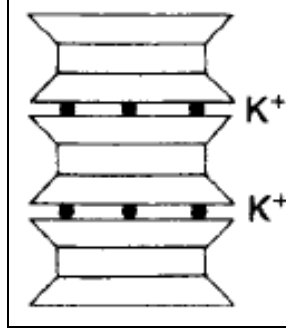


(b) Kaolin (Mitchell, 2005)

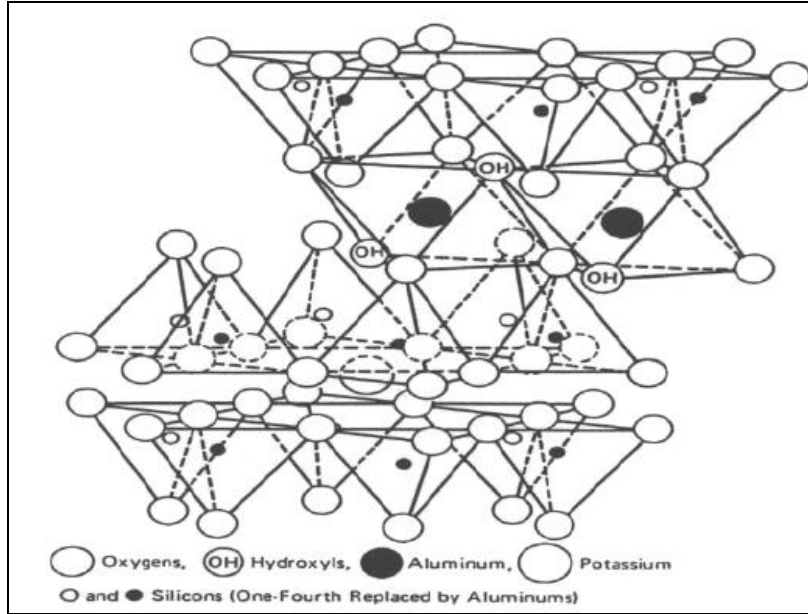
Şekil 2.4. Kaolin

### 2.3.2. İllit:

İllit, iki alüminyum-hidroksit minerali levhası ile birleşik bir tek silika levhadan oluşan bir yapıya sahiptir. Levhalar birbirine potasyum bağları ile bağlıdırlar (Craig, 2004). Bu tip killerin su ile temas etmeleri halinde şişme potansiyelleri kaolin'e göre daha fazla olup montmorillonit'e göre daha azdır.



(a) İllit (Craig, 2004)

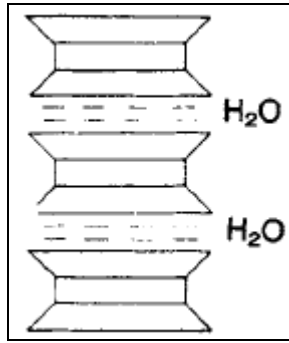


(b) İllit (Mitchell, 2005)

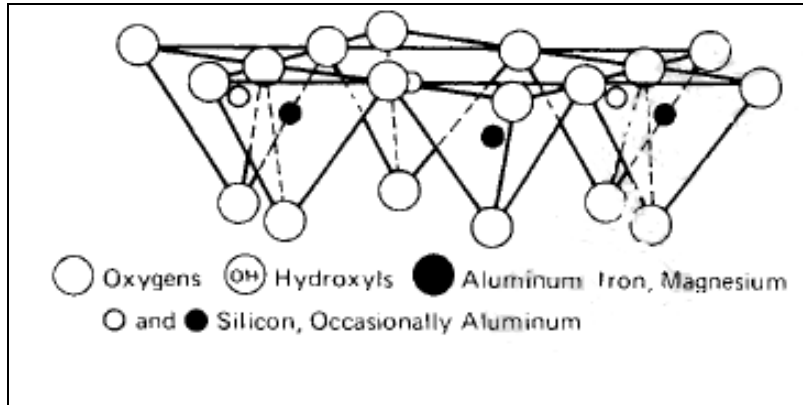
Şekil 2.5. İllit

### 2.3.3. Montmorillonit:

Montmorillonit, illit ile aynı yapıya sahiptir. Aluminyum-hidroksit minerali levhasında aluminyum kısmen magnezyum ve demir içermektedir, aynı şekilde silika levhasında silikon kısmen alüminyum içermektedir. Birleşik levhalar arasındaki boşluklar arasında su molekülleri ve potasyumdan farklı değiştirilebilir katyonlardan oluşan zayıf bağlar bulunmaktadır (Craig, 2004). Montmorillonit, su ile temas etmeleri durumunda illit ve kaoline oranla oldukça fazla hacimsel artış gösterirler.



(a) Montmorillonit (Craig, 2004)

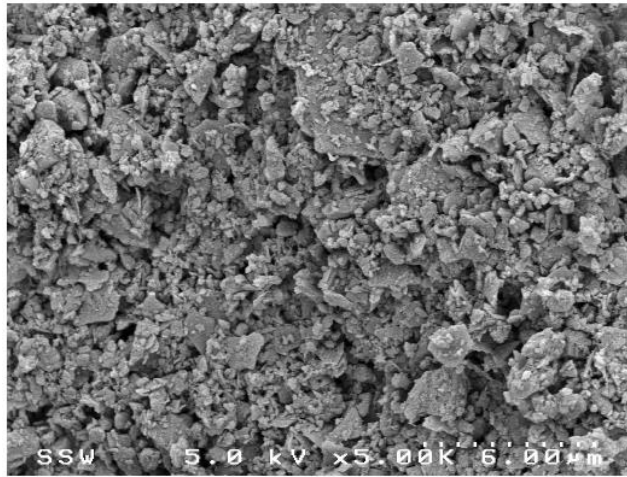


(b) Montmorillonit (Mitchell, 2005)

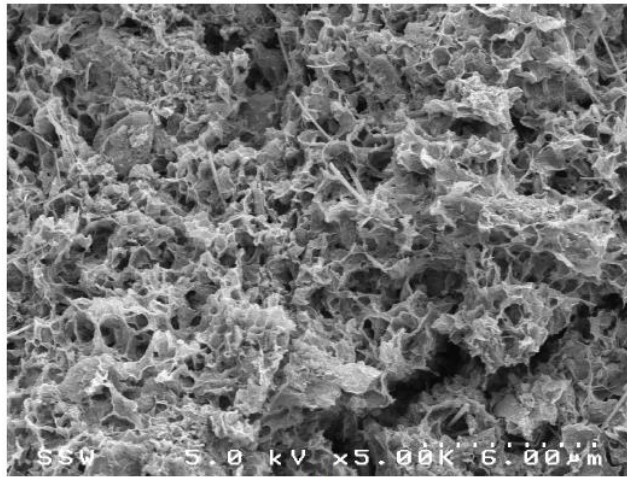
Şekil 2.6. Montmorillonit

#### 2.4. Önceki Çalışmalar

Literatürde, zeminlerin çimento ile birlikte çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak stabilizasyonuna yönelik yapılmış pek çok çalışmalar bulunmaktadır (Çetiner, 2004; Öksüz, 2006; Özsoy ve ark., 2007). Yapılan çalışmalarda, çimento ile stabilizasyonda yüksek su muhtevası, jips ve kireç tozunun katkı malzemesi olarak kullanılması gibi değişik bileşenlerin zemin parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Sasanian, 2011). Yapılan iyileştirmelerin zeminde ne gibi mikro-yapısal (boşluk çapı dağılımı vb.) değişimler meydana getirdiği hususunda araştırmalar yapılmıştır (Şekil 2.7.).



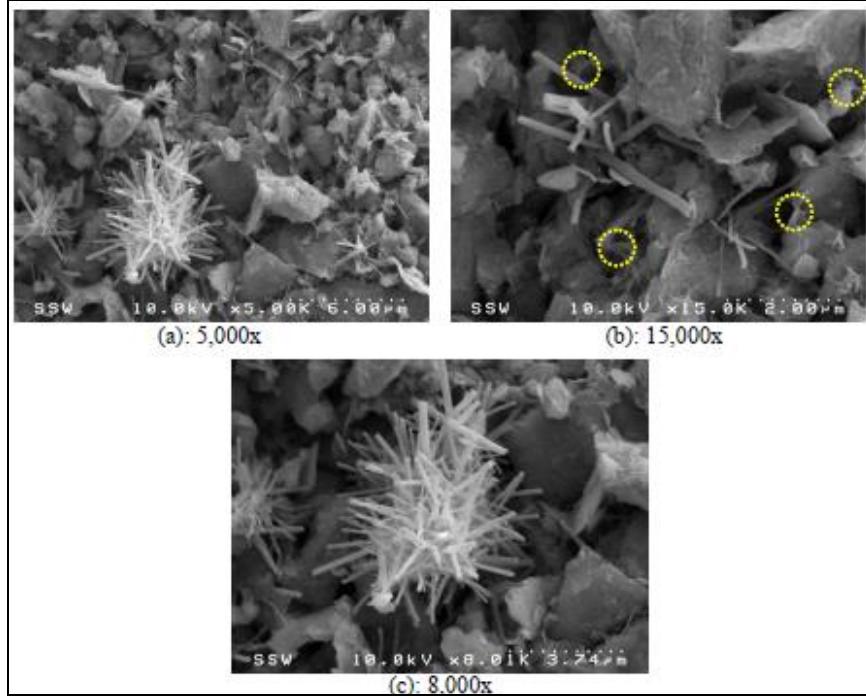
(a)



(b)

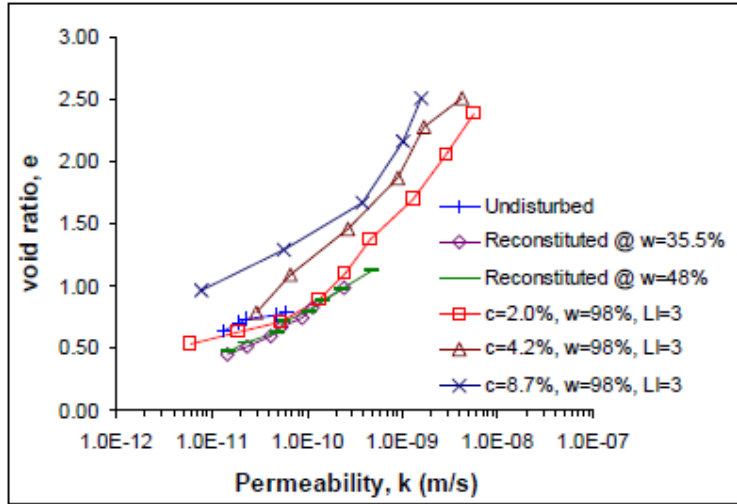
Şekil 2.7. Ottawa kilinin benzer su muhtevasındaki iki numunesine ait mikrografik görünümü:  
(a) doğal numune,  $C_u < 2$  kPa; (b) çimento ile stabilize edilmiş numune (% 6.4 çimento),  $C_u,28=160$  kPa (Sasanian, 2011)

Elektron mikroskobu, zemin partiküllerinin yapısı ve partiküller arasında çimento stabilizasyonundan dolayı meydana gelen bağlayıcı jelleri görüntülemeye olanak sağlamaktadır (Şekil 2.8.).

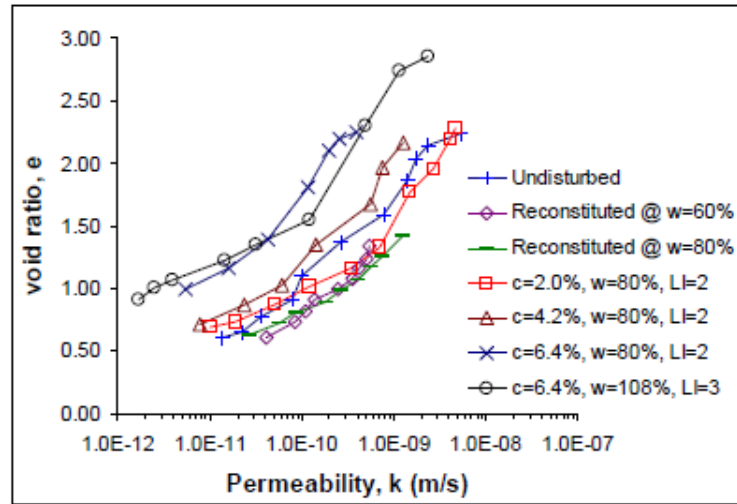


Şekil 2.8. %8.7 oranında PÇ ile stabilize edilmiş Naticoke kilinin mikrografik görünümü, w=%98 (sarı renk ile işaretlenmiş yerler, partiküller arasında meydana gelen bağları göstermektedir.) (Sasarian, 2011)

Örselenmiş, örselenmemiş ve stabilize edilmiş numunelerin permeabilite katsayılarının çimento ve su muhtevsındaki değişime bağlı olarak değişimi araştırılmıştır (Sasarian, 2011) (Şekil 2.9.).



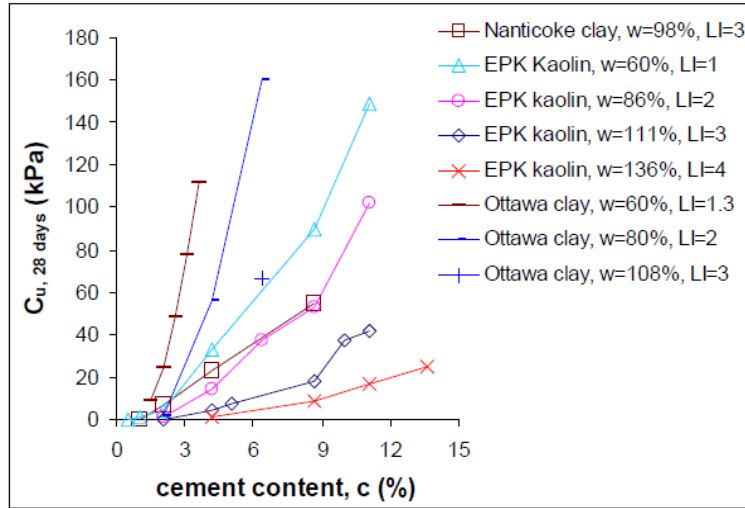
(a)



(b)

Şekil 2.9. Örselenmemiş, örselenmiş ve çimento stabilize numunelerin permeabilite değerleri: (a) Nanticoke kili, (b) Ottawa kili (Sasanian, 2011)

Üç farklı killi zeminin, değişen su muhtevası ve çimento oranları için 28 günlük serbest basınç dayanımları araştırılmıştır (Şekil 2.10.).



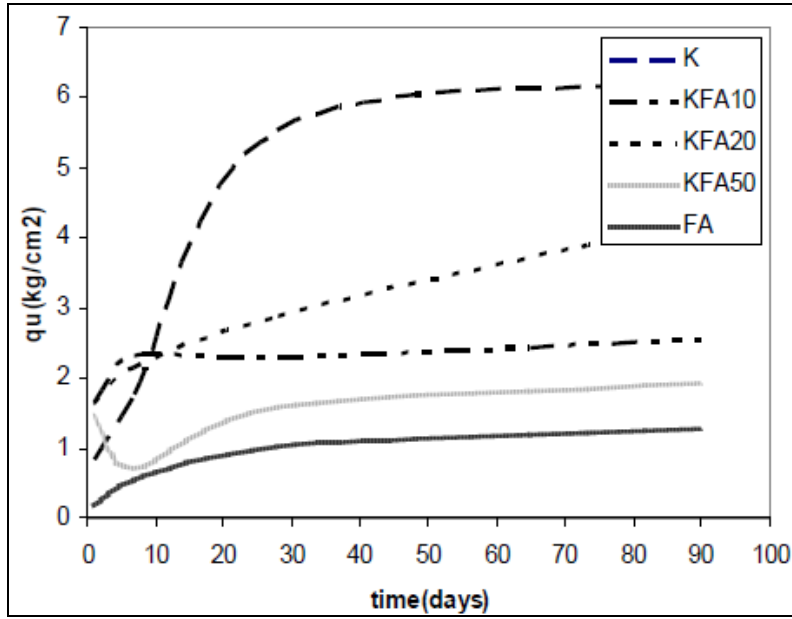
Şekil 2.10. Nanticoke, Ottawa ve EPK Kaolin killerinin değişen su muhtevası ve çimento oranı değerleri için 28 günlük serbest basınç mukavemeti değerleri (Sasanian, 2011)

Killi zeminlerin C sınıfı uçucu kül ile stabilizasyonunun serbest basınç mukavemeti üzerine olumlu etki gösterdiği gözlenmiştir (Özsoy, 2007). Yapılan deneysel çalışmada optimum su muhtevasındaki killi zeminlere %0, %10, %20, %50 ve %100 oranlarında C sınıfı uçucu kül karıştırılmıştır (Şekil 2.11.).

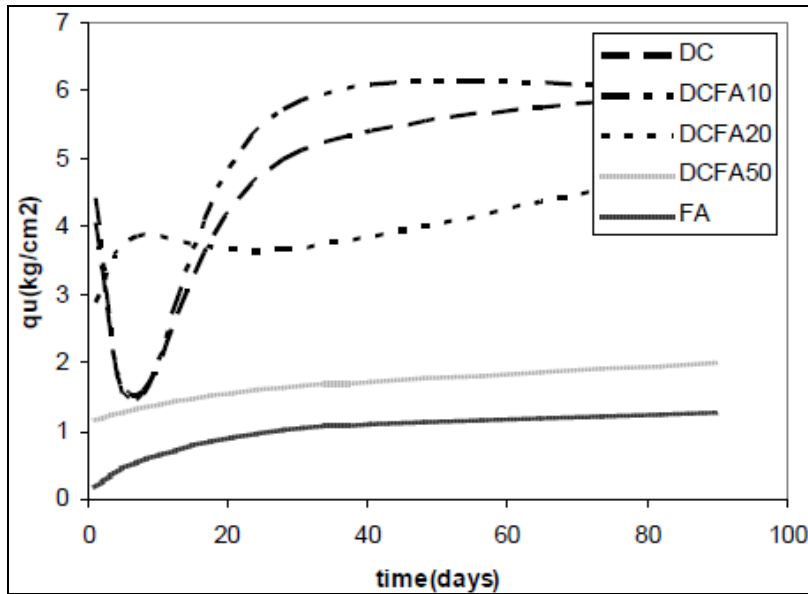
Mixture	Fly ash (FA) (%)	Kaolin (K) (%)	D Clay DC (%)	Dry Unit Weight $\gamma_d^{max}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Optimum Water Content $\omega_{opt}$ (%)
K	0	100	-	15,9	20
KFA10	10	90	-	15,2	22
KFA20	20	80	-	14,5	24
KFA50	50	50	-	12,2	29
FA	100	0	-	8,5	38
DC	0	-	100	18,3	16
DCFA10	10	-	90	17,3	19
DCFA20	20	-	80	16,2	21
DCFA50	50	-	50	13,4	27
FA	100	-	0	8,5	38

Şekil 2.11. Karışımlar (Özsoy, 2007)

Hazırlanan bu karışımların 1, 7, 28 ve 90 günlük kür süresi sonundaki serbest basınç mukavemet değerleri araştırılmıştır (Şekil 2.12.).



(a) Kaolin kiline UK ilavesinin serbest basınç mukavemetine etkisi (Özsoy, 2007)

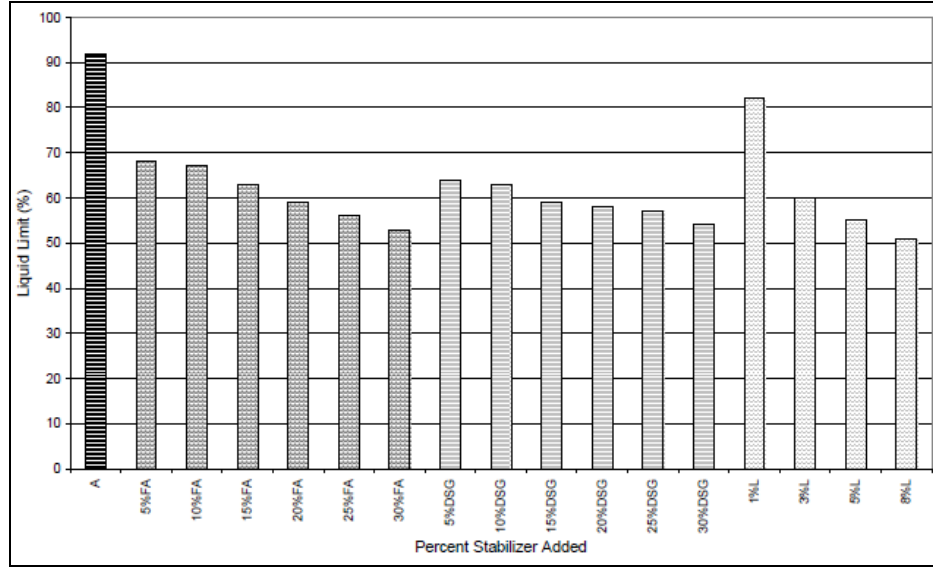


(b) D kiline UK ilavesinin serbest basınç mukavemetine etkisi (Özsoy, 2007)

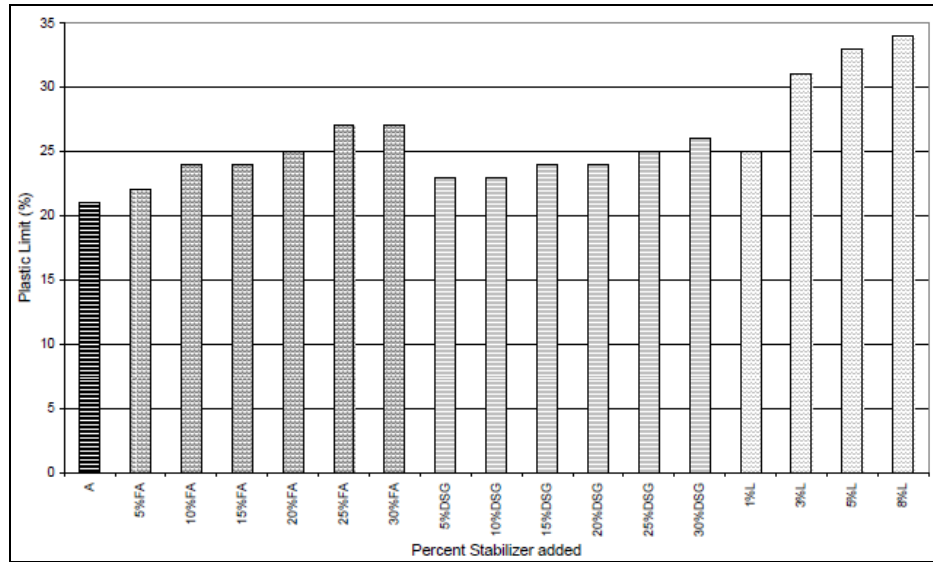
Şekil 2.12. Serbest basınç mukavemeti deneyi sonuçları

Ayrıca şişen zeminlerde, uçucu kül, desülfocips ve kireç kullanımının şişen zeminlerde, likit limit, plastik limit, plastisite indisi, büzülme limiti ve indisi gibi kıvam limitleri ile ilgili zemin parametreleri üzerine olan etkilere dair araştırmalar bulunmaktadır (Çetiner, 2004) (Şekil 2.13.).

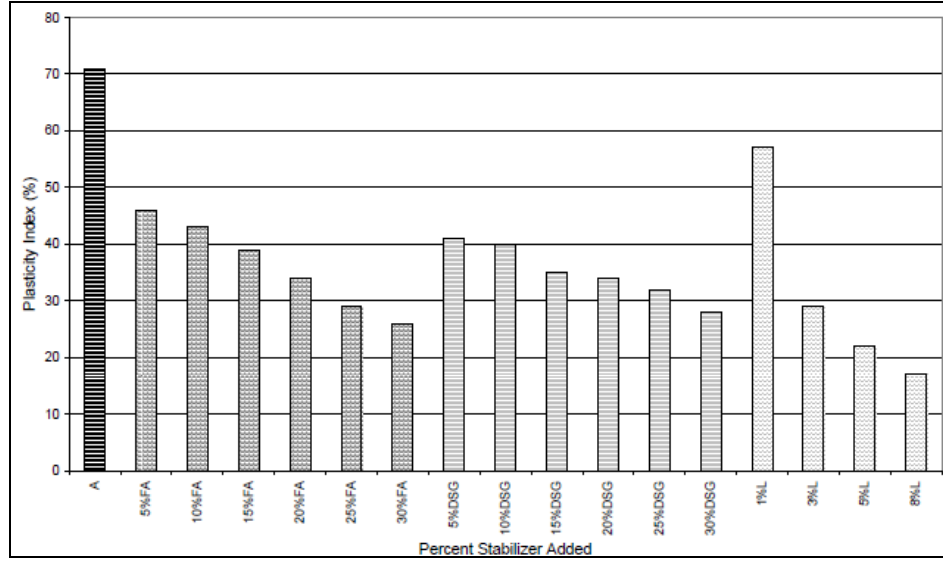




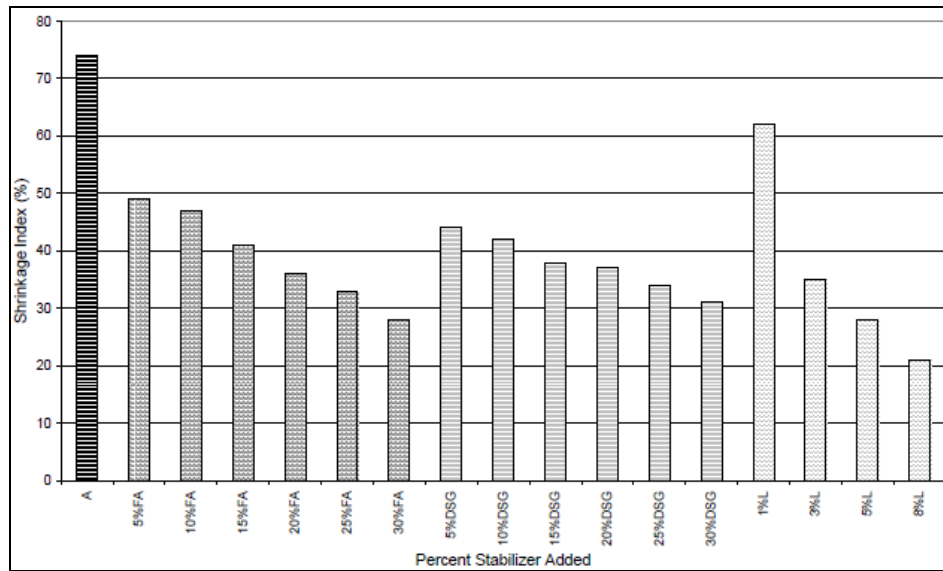
(a) Uçucu kül, Desülfojips ve Kireç kullanımının likit limit üzerine etkileri



(b) Uçucu kül, Desülfojips ve Kireç kullanımının plastik limit üzerine etkileri



(c) Uçucu kül, Desülfojips ve Kireç kullanımının plastisite indisi üzerine etkileri



(d) Uçucu kül, Desülfojips ve Kireç kullanımının büzülme indisi üzerine etkileri

Şekil 2.13. Uçucu kül, Desülfojips ve Kireç kullanımının Atterberg Kıvam Limitleri üzerine etkileri

Şekil 2.2.'de gösterildiği üzere, ülkemizde şişme potansiyeline sahip zeminlere güney ve güneydoğu bölgelerinde rastlanmaktadır. Harran Bölgesi'ndeki killi zeminlerin şişme özelliklerini belirlemek amacıyla 33 ayrı lokasyondan elde edilen numuneler üzerinde şişme yüzdesi ve şişme basıncı deneyleri yapılmıştır (Türköz ve Tosun, 2009). Şişme basıncının belirlenmesinde PVC metre donanımı kullanılmıştır. Potansiyel hacim değişimi (PVC) yöntemiyle, zemin numunesinin ıslatılmasından

sonra gelişen şişmenin engellenmesinden dolayı oluşan şişme basıncı belirlenmiştir. Düzenekte numune, yük halkası kolu numune üzerine gelecek şekilde yerleştirilir. Numune suya boğulur ve yük halkasından belirli aralıklarla değerler okunur. Okunan bu değerler, kalibrasyon eğrisi veya yük halka faktörü kullanılarak birimi bilinen yüke çevrilir. Yük değerleri numune alanlarına bölünerek basınç değerleri elde edilir. Şişme yüzdesini belirlemek için ise, 7 kPa basınç altında suya boğulan numunelerin 24 saat veya şişme tamamlanana kadar gelişen nihai deformasyon değerleri belirlenmiş ve bu deformasyon değerleri numunelerin başlangıç boylarına oranlanmıştır. Numuneler için ölçülen değerlerin karşılaştırılmasının anlamlı olması için aynı boy ve çapta numuneler kullanılmıştır. 7 cm çapında ve 2 cm yüksekliğe sahip ince cidarlı halka içine yerleştirilen numuneler üzerine 7 kPa'lık basınç oluşturacak ağırlık yükü yerleştirilmiştir. Numuneler suya boğulduğu andan başlayarak farklı zaman aralıklarında (0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 60, 120, 240, 360 ve 1440 dk) şişme yüzdesi ve basıncı değişimleri sisteme bağlı bulunan dijital saatler yardımıyla ölçülmüştür.

Yapılan ölçümler sonucunda, numunelerin şişme yüzdesi değerlerinin %0.5 - %9.8 arasında, şişme basınçlarının ise 4 kPa - 102.2 kPa arasında değiştiği görülmüştür. Yaygın olarak şişme potansiyelini değerlendirmede baz alınan kartlarda, bu zeminin yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

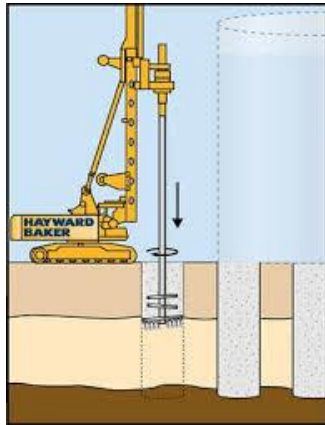
Bu bağlamda, Harran Bölgesi killi zemininin çimento ve çeşitli katkı malzemeleri ile stabilizasyonunun zemin parametreleri ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi konusu araştırılması gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalarda bu konu hakkında yapılmış çalışma bulunmadığı görülmüş, literatürdeki bu eksiği kısmen tamamlamak amacıyla bu tez çalışması hazırlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, Harran Bölgesi killi zemininin çimento ile stabilizasyonunda F sınıfı uçucu kül kullanımının zeminin serbest basınç mukavemeti, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve kılcal su geçirirliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

### 3. ZEMİN STABİLİZASYONU

Çimento ile zemin stabilizasyon uygulamalarında, stabilizasyon işlemini daha ekonomik hale getirmek amacıyla uçucu kül, kireç vb. çeşitli katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Bağlayıcı malzemeler yardımıyla stabilize edilen zemin, daha az geçirimli ve daha yüksek dayanımlı hale gelir. Uygulama tekniğine göre, derin karıştırma ve jet grout olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır. Her iki yöntem de birbirine benzemekle beraber (bağlayıcı malzemeler yardımıyla zeminin stabilize edilmesi), derin karıştırma yönteminde stabilizasyon aletinin ucunda bulunan palet yardımıyla zemine püskürtülen bağlayıcı malzeme ile zemin birbiriyle karıştırılır.

#### 3.1. Derin Karıştırma Yöntemi

Derin karıştırma yöntemi, zeminin çimentolu maddelerle yerinde karıştırılması esasına dayanan bir zemin stabilizasyon yöntemidir. Stabilizasyon işlemi, ucunda palet bulunan içi boş bir burgu (auger) aleti ile uygulanmaktadır. Derin karıştırma yönteminde, zeminin basınç mukavemetinin (kayma mukavemeti) artırılması, permeabilitesinin azaltılması veya zararlı maddelere karşı dayanıklılığının iyileştirilmesi hedeflenir. Bağlayıcı malzeme olarak, çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kireç, çeşitli katkıları veya bunların kombinasyonları kullanılmaktadır. İçi boş auger borusu istenilen derinliğe indirildikten sonra boru içinden bağlayıcı malzeme pompalanarak boru ucundaki paletler yardımı ile zemin ile karıştırılır.

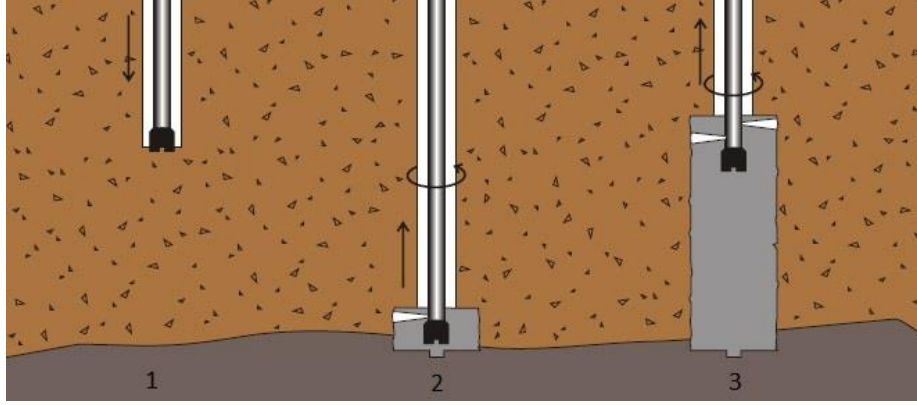


Şekil 3.1. Derin karıştırma yöntemi

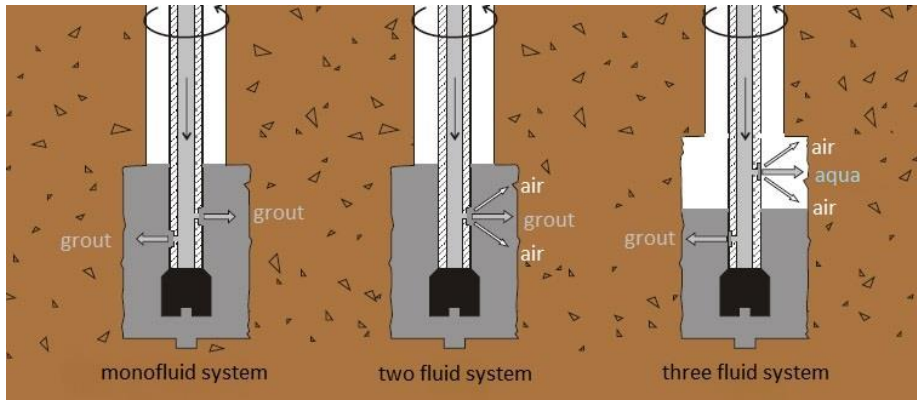
**3.2. Jet Grout Yöntemi**

Zemin içerisine yüksek basınç ile, stabilizatör özelliği bulunan akışkan malzeme pompalanmak suretiyle zemin kütlelerini kesip sürekli ve stabil kolonlar elde etme kavramı 1965 yılında Japonya'da ortaya çıkmıştır (Karol, 2003). Yöntemin ekipman ve uygulama teknikleri ile ilgili detaylar 1970'lerin başlarında meydana çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların başlarında yöntem kısa zamanda Batı Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanmaya başlanmıştır.

Yöntemin üç farklı uygulaması bulunmaktadır. Yöntemler arasındaki farklılıklar uygulamada bulunan pompa sayısına dayanmaktadır (Şekil 3.2.b.). Tek pompalı sistemde sadece jet grout için stabilizatör akışkan malzeme pompalayan pompa bulunmaktadır. Delgi burğu aletinin ucunda bulunan püskürtme memesinden 6000 psi'lik veya daha yüksek bir basınç ile jet grout işlemi için stabilizatör akışkan malzeme 600 feet/second hızla püskürtülür (Karol, 2003). Bu hıza sahip jet ile püskürtülen stabilizatör malzeme, kohezyonlu zeminlerde 15 ~ 20 inch, granüler zeminlerde 20 ~ 30 inch'lik yarıçapa sahip dairesel bir bölgeyi kolaylıkla doldurabilmektedir. Jet grout işleminde, pompa işlemi yapan burğu aleti düşeyde dakikada 10 ~ 20 inch'lik hızla yukarı doğru hareket etmektedir. İki pompalı sistemde stabilizatör akışkan jeti çevreleyecek şekilde püskürtülen hava jeti bulunmaktadır. Bu sayede stabilizatör jetin etki mesafesi birkaç inch kadar artmaktadır. Üç pompalı sistemde ise iki hava jeti arasında çerçevenmiş su jeti bulunmaktadır. Bu jetler (hava-su-hava jetleri) stabilizatör jetin üzerindeki yakın bir bölgede yer almaktadır. Bu jetler sayesinde zemin ufalanarak zerreler haline dönüşür. Jet grout işleminin yukarısında meydana gelen zemin, su ve hava karışımı bir hava akımı oluşturur, böylece fazla su ve zemin artıkları zemin yüzeyine iletilir. Bu sayede jet grout işleminin etki mesafesi daha da artmaktadır. Başka bir deyişle, daha büyük çapta jet-grout kolonları elde edilir. Ayrıca jet grout işlemi öncesinde zemin, hava-su-hava jeti ile birlikte homojenize hale geldiğinden, uygulama sonucunda daha uniform bir zemin-çimento stabilizasyonu elde edilir.



(a) Jet grout uygulama aşamaları



(b) Jet grout teknikleri

Şekil 3.2. Jet grout yöntemi: (a) Jet grout uygulama aşamaları, (b) Jet grout teknikleri

## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Çimento

Tez kapsamında yapılan tüm deneysel çalışmalarda LİMAK Şanlıurfa Çimento tarafından üretilen standart CEM I 42.5N tipli Portland çimentosu (PÇ) kullanıldı. ASTM Tip I çimentosunun özelliklerini kapsayan CEM I 42.5N tipli Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.18 olup, Blaine özgül yüzeyi 318 m<sup>2</sup>/kg'dır.

#### 4.1.2. Mineral Katkılar

ASTM C 618 standardına göre kimyasal kompozisyonunda %10'dan daha az oranda CaO içeren uçucu küller F sınıfı, %10'dan daha fazla oranda CaO içeren uçucu küller ise C sınıfı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada kullanılmak üzere ASTM C 618 standardına göre F sınıfı uçucu kül olarak sınıflandırılan uçucu külü, taş kömürü yakılarak enerji elde edilmekte olan Sugözü Termik Santralinden, ERG İnşaat Ticaret ve Sanayi A.Ş. aracılığıyla temin edildi. Sugözü uçucu külünün özgül ağırlığı 2.25, Blaine özgül yüzeyi ise 287 m<sup>2</sup>/kg'dır.

Uçucu kül ve çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Çimento ve uçucu kül kimyasal kompozisyonları

	Kimyasal Kompozisyon (%)							
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Çimento	64.35	20.08	4.63	2.84	2.07	2.85	-	-
Uçucu Kül	4.24	56.20	20.17	6.69	1.92	0.49	1.89	0.58

### 4.1.3. Zemin

Bu çalışmada Harran Bölgesi'nden temin edilen killi zeminden 40 No'lu elekten geçen zemin numunesi kullanılmıştır. Zemin numunesinin doğal su muhtevası % 5.8, birim hacim ağırlığı ise  $1.5 \text{ gr/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. AASHTO ve USCS zemin sınıflandırma sistemlerine göre zemin sınıfı A-7\* (Killi Zeminler) ve SC (Killi Kumlar) olarak belirlenmiştir.

## 4.2. Deneysel Çalışma

### 4.2.1. Zemin Numunesinin Özellikleri

Zemine ait dane çapı dağılımını ve Atterberg kıvam limitlerini belirlemek amacıyla ASTM D 422, ASTM D 1140 ve ASTM D 4318 standartlarına göre elek analizi, ıslak analiz, pipet yöntemi ile kil-silt oranını belirleme, likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır.

#### 4.2.1.1. Elek Analizi ve Islak Analiz Deneyleri

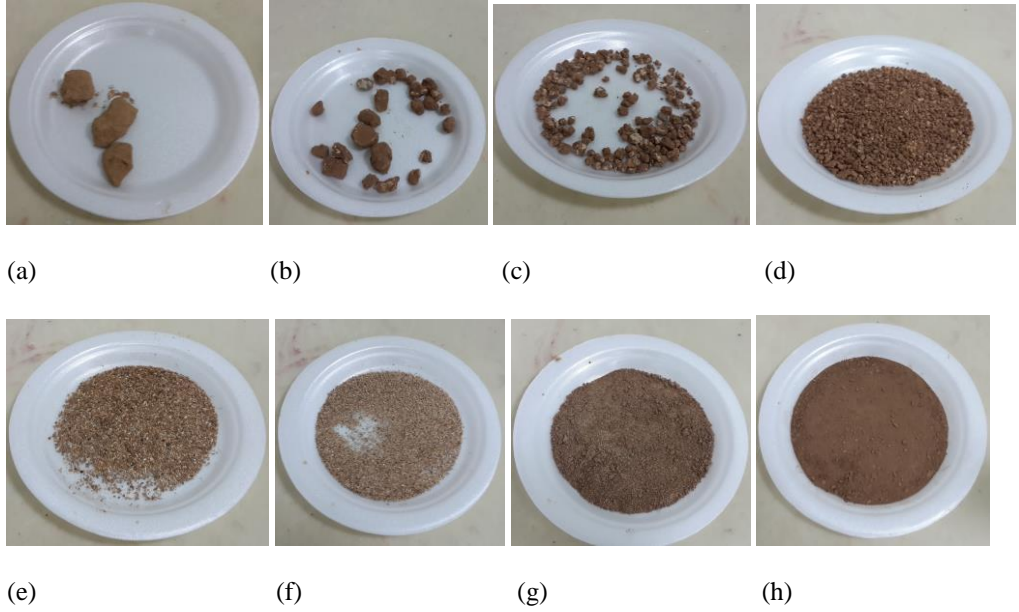
Zemin numunesinin dane çapı dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi ve ıslak analiz deneyleri yapılmıştır. Deneyler için kullanılan elek seti ASTM standartlarındaki 3/4", 3/8", 4, 8, 16, 30, 100, 200 No'lu eleklerden oluşmaktadır. Elek analizi ve ıslak analiz deneyinde zemin numunesi azar azar elek düzeneğine konularak yaklaşık 10 dk boyunca sarsma düzeneği yardımıyla eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elek analizi ve ıslak analiz deneylerinde kullanılan elek seti ve sarsma düzeneği Şekil 4.1.'de görülmektedir.





Şekil 4.1. Elek seti ve sarsma düzeneği

Islak analiz deneyi sonucu, yukarıda yazılan elek no sırasına göre, eleklerde kalan zemin numuneleri Şekil 4.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Islak analiz (sırasıyla eleklerde kalan zemin numuneleri)

Çizelge 4.2. Elek analizi ve ıslak analiz sonuçları

Elek No	Çap (mm)	Elek Analizi	Islak Analiz
		Geçen %	Geçen %
3/4"	19.00	94.51	91.56
3/8"	9.51	86.10	79.88
4	4.76	78.57	71.48
8	2.38	64.48	61.61
16	1.19	47.64	57.82
30	0.590	31.03	54.70
100	0.149	6.38	46.37
200	0.074	2.79	40.38

#### 4.2.1.2. Pipet Yöntemiyle Kil - Silt Yüzdesinin Tespiti

Elek analizi deneylerinde zemini oluşturan danelerden en küçük daneler 200 No'lu (0.074 mm) elekte kalan zemin daneleridir. Bundan daha küçük zemin danelerinin oranlarını belirlemek amacıyla ASTM D 1140 standardına göre pipet yöntemiyle kil-silt yüzdesinin tespiti deneyi yapılmıştır. Deney için 200 No'lu elekten geçen zemin numunesinden 25 gr alınarak toplam 500 ml'lik bir süspansiyon hazırlandı (Şekil 4.3.). Danelerin topaklaşmasını önlemek amacıyla bir miktar sodium-oxalate karışıma ilave edildi. Hazırlanan bu süspansiyondan belli zaman aralıklarında 10 cm derinlikten 10 ml'lik numuneler alındı ve etüvde kurutuldu. Etüvden çıkarılan numunelerin kuru ağırlıklarını belirlemek amacıyla hassas terazide tartıldı. Alınan numuneler Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Elde edilen çap ve yüzde değerleri Çizelge 4.3.'te tablo halinde görülmektedir.



Şekil 4.3. Pipet yöntemi için hazırlanan süspansiyon



(a) 1. dk

(b) 4. dk

(c) 15. dk



(d) 1 saat

(e) 4 saat

(f) 16 saat

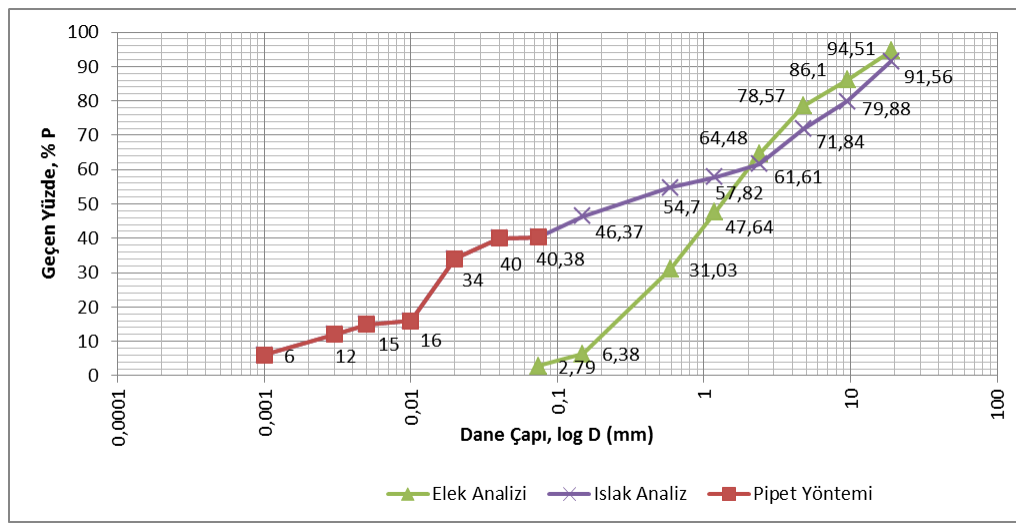


(g) Tüm numuneler

Şekil 4.4. Pipet yönteminde belli zaman aralıklarında alınan numuneler

Çizelge 4.3. Pipet yönteminde elde edilen sonuçları

Süre (s)	D (mm)	P (%)
60	0.04	40
240	0.02	34
900	0.01	16
3600	0.005	15
14400	0.003	12
57600	0.001	6



Şekil 4.5. Zemin numunesinin gradasyon eğrisi

#### 4.2.1.3. Atterberg Kıvam Limitleri Deneyleri

Zemin numunesinin kıvam limitlerini belirlemek amacıyla ASTM D 4318 standardına göre likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Zemin numunesi 40 No'lu elekten elenerek geçen zeminden bir miktar alınıp, 105 °C'deki etüvde 24 saat bekletildi. Kuruyan zemin numunesine az miktarda artışlarla su ilave edilerek istenen kıvama gelen yaş zemin numunesinden bir miktar alınıp likit limit deneyi aletine yerleştirildi (Şekil 4.6.).



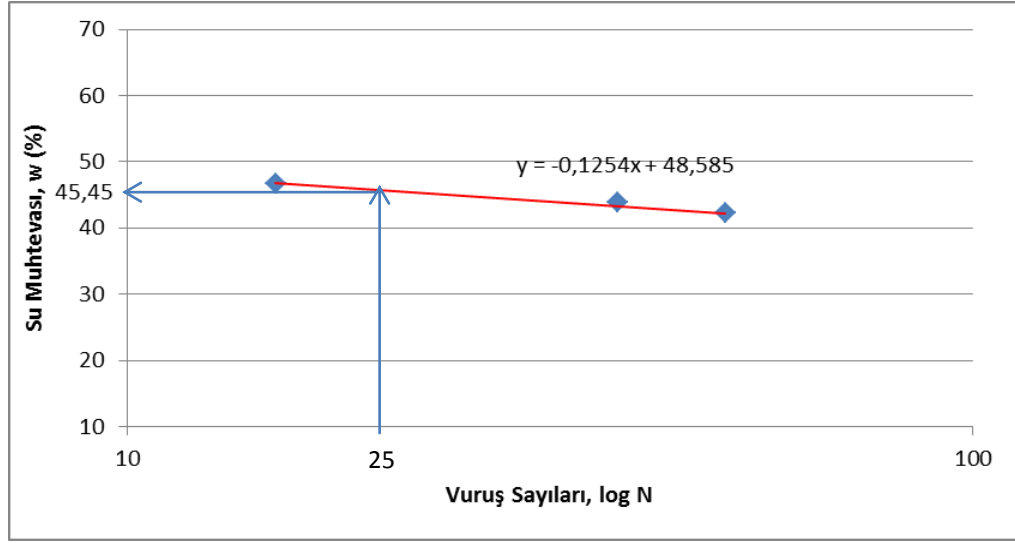
Şekil 4.6. Likit limit deneyi

Standart bir yarık açma bıçağı ile kaptaki zemin ortadan kesilerek ikiye ayrılır. Deney aletinin yanındaki kol, zeminin arasına açılan oyuk kapanana kadar döndürülür ve alet üzerinde bulunan sayaçtan vuruş (dönüş) sayısı okunur. Bu numunenin hangi su muhtevasında bu kıvamı sağladığını belirlemek amacıyla numune etüvde kurutularak su muhtevası belirlenir. Aynı işlem artan su muhtevalarında 3 farklı su muhtevası için tekrarlandı (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. Likit limit ve plastik limit değerlerinin belirlenmesi

Ölçülen değerler grafiğe aktarılarak 25 vuruşa denk gelen su muhtevası (likit limit) % 45.45 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8.).



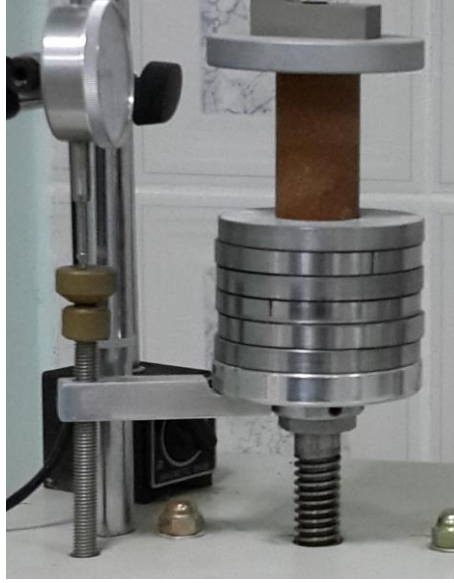
Şekil 4.8. Likit limit değeri

Plastik limit değerini belirlemek için likit limit deneyi için hazırlanan etüv kurusu zemin numunesine az miktarda su ilave edilerek homojen bir kıvam alana kadar karıştırılır ve hazırlanan bu zeminden bir miktar alınarak düzgün yüzeyli bir cam plaka üzerinde yuvarlanarak kopmalar meydana geldiğinde kopan zemin çubuklarının kalınlıklarının 3 mm olup olmadığı kontrol edilir. Bu durum sağlandığındaki su muhtevası plastik limit değeri olarak belirlenir. Deneylerde kullanılan zemin numunesinin plastik limit değeri % 29.3 olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.2. Zemin Mukavemet Parametrelerinin Belirlenmesi

##### 4.2.2.1. Serbest Basınç Deneyi

Zemin numunesinin mukavemet parametrelerini belirlemek amacıyla %15 su muhtevasında, 30x60 mm boyutlarına sahip 3 adet silindir numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler, ASTM D 2166 standardına göre serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.).



Şekil 4.9. Serbest basınç deney numunesi

Serbest basınç deneyine tabi tutulan silindirik zemin numunesine yalnızca aksenal doğrultuda yük uygulanmaktadır. Aksenal yük artışı etkisinde meydana gelen boy kısaltmaları ölçülmüştür (Şekil 4.10.). Hesaplanan bu değerler Çizelge 4.4.'te tablo halinde verilmiştir.



(a) 1. Numune

(b) 2. Numune

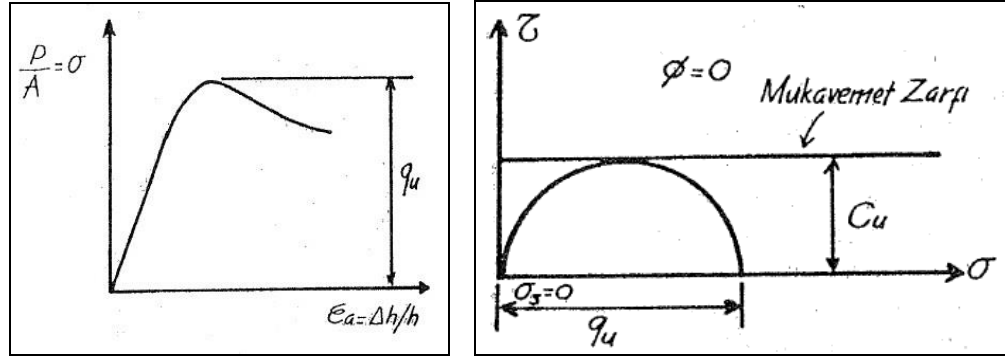
(c) 3. Numune

Şekil 4.10. Zemin numunelerinin serbest basınç deneyi: (a) 1. Numune, (b) 2. Numune, (c) 3. Numune

Çizelge 4.4. Zemin numunelerinin serbest basınç deneyi

Numuneler	İlk Boy (mm)	Yük (kg-f)	Deformasyon $\Delta h$ (mm)	Kırılma Anında Kesit Alanı $A_f$ (cm <sup>2</sup> )	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	60	0.7	0.750	7.154	9.588	6.12
2	60	0.9	0.965	7.180	12.283	
3	60	1.1	1.700	7.271	14.826	

Bu değerler doğrultusunda gerilme-şekil değiştirme eğrileri yardımıyla serbest basınç mukavemeti  $q_u$  değerleri ve  $c$  kohezyon değeri hesaplanır.



(a) Gerilme-şekil değiştirme eğrisi

(b) Mohr dairesi ve mukavemet zarfı

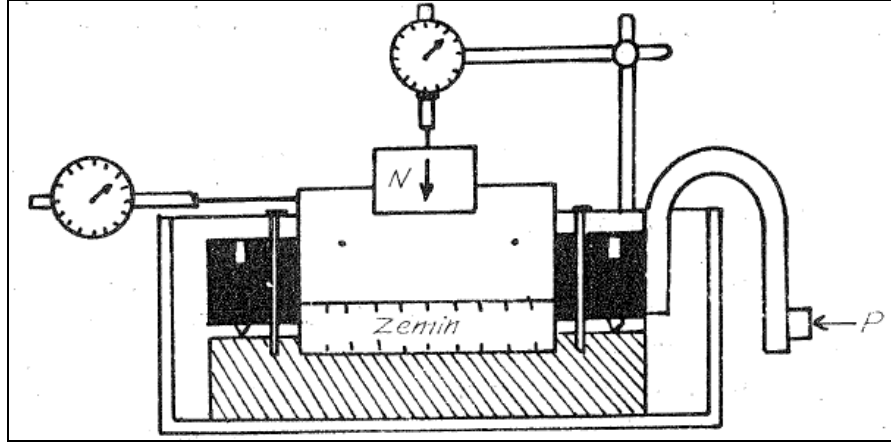
Şekil 4.11. Serbest basınç deneyi sonuçları: (a) Gerilme-şekil değiştirme eğrisi, (b) Mohr dairesi ve mukavemet zarfı (Özaydın, 2011)

#### 4.2.2.2. Kesme Kutusu Deneyi

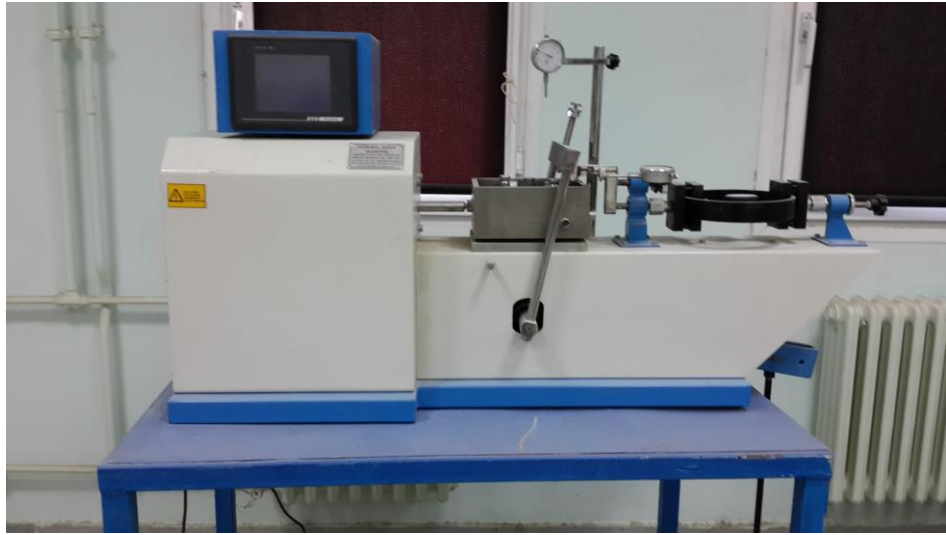
Zemin numunesinin %15 su muhtevasında hazırlanan 3 adet 60x60x20 mm'lik dikdörtgen prizma şeklindeki numunelere 4 kg, 8 kg ve 16 kg olmak üzere 3 farklı yükleme için, ASTM D 3080 standardına göre kesme kutusu deneyi uygulanmıştır.

Zemin numunesi, iki rijit dikdörtgen kesitli halkadan oluşan kutunun içine yerleştirilir. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun üst parçası sabit durumda iken alt parça yatay düzlemde hareket etmekte ve bu sayede numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin numunesi kaymaya zorlanır.





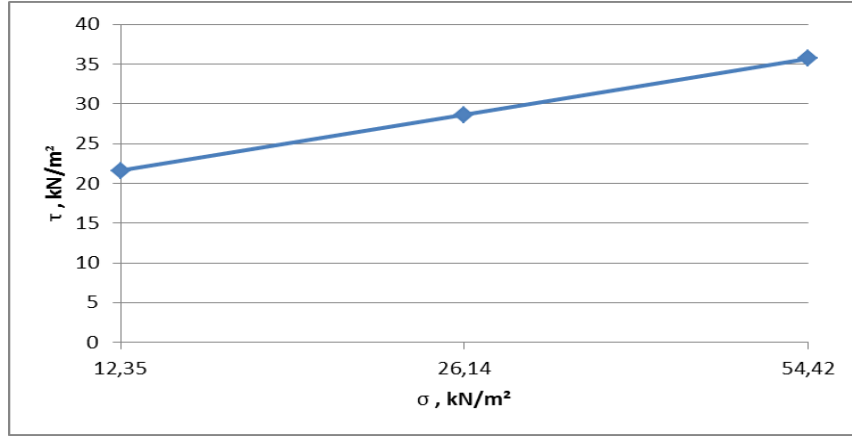
Şekil 4.12. Şematik olarak bir kesme kutusu deneyi aleti (Özaydın, 2011)



Şekil 4.13. Kesme kutusu deney cihazı

Çizelge 4.5. Kesme kutusu deneyi sonuçları

Numuneler	Yük (kg)	Deformasyon	Kesit Alanı	N (kN)	Tmax (kN)	$\tau$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )
		$\Delta l$ (mm)	60x(60- $\Delta l$ ) (mm <sup>2</sup> )				
1	4	6	3240	0.04	70.0	21.60	12.35
2	8	9	3060	0.08	87.5	28.59	26.14
3	16	11	2940	0.16	105.0	35.71	54.42



Şekil 4.14. Kesme kutusu deneyi sonuçları

Mohr-Coulomb kırılma hipotezine göre zeminin içsel sürtünme açısı  $35^\circ$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.3. Karışımların Hazırlanması

Deney için hazırlanan numunelerin zemin+çimento karışım hesabında 500 dozluk çimento miktarına göre karışım oranları hesaplanmıştır. Zemin numunesi olarak 40 No'lu elekten geçen zemin kullanılmıştır. Zeminin su muhtevası % 15 olup, karışımlarda toplam su/bağlayıcı oranı sabit kalacak şekilde 1.00 olarak alındı. 500 dozluk çimento oranına göre çimentodan azaltılarak yerine %10, %30 ve %50 oranlarında F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Karışım oranları Çizelge 4.6.'da tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Zemin numunelerinin karışım oranları

Karışım Kodu	Zemin (Z) (gr)	Çimento (Ç) (gr)	Uçucu Kül (UK) (gr)	Su/B*
Z + %90*Ç + %10*Ç UK	11070	4981.5	553.5	1.00
Z + %70* Ç + %30*Ç UK	11070	3874.5	1660.5	1.00
Z + %50*Ç + %50*Ç UK	11070	2767.5	2767.5	1.00

\*B: Bağlayıcı (Çimento+Uçucu Kül)

Üretilen tüm karışımlar, 25 lt kapasiteli mikserde (Şekil 4.15.) hazırlanmıştır. Çimento ve uçucu kül önce kuru olarak 100 devir/dakika hızda 1 dakika karıştırılmıştır. Ardından zemin ilave edilerek 100 devir/dakika hızda 2 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma su eklenerek karıştırma işlemi 100 devir/dakika hızda 2 dakika daha karıştırma işlemine devam edilmiştir.

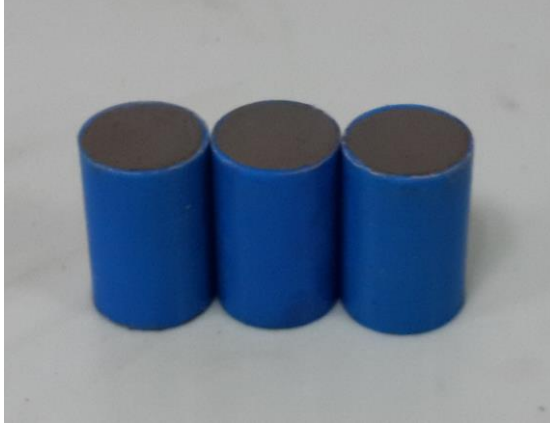


Şekil 4.15. Karışım işleminde kullanılan 25 lt kapasiteli mikser

Serbest basınç deneyinde kullanılmak üzere herbir karışım için 3 adet 30x60 mm'lik silindir numune hazırlanmıştır. Kalıplar yağlanarak her grup için farklı karışım oranlarında hazırlanan karışımdan kalıpların içine doldurulup özel olarak hazırlanan metal tokmakla sıkıştırıldı.

Karışımların her birinden, basınç dayanımı için 2 adet numune kullanılmak üzere toplam 6 adet 150x150x150 mm boyutlarında küp numunesi, yarma ve kılcal su geçirimsizliği deneyleri için 2 adet numune kullanılmak üzere toplam 6 adet 100x200 mm boyutlarında silindir numune hazırlanmıştır. Bu numuneler için karışımların kalıp içerisinde sıkıştırılması işleminde kullanılmak üzere herbir kalıbın en kesit boyutlarına sahip özel olarak hazırlanan metal tokmaklar kullanılmıştır.

Herbir karışım grubu için hazırlanan karışım yağlanmış numune kalıplarına doldurularak metal tokmaklarla kalıp içinde yerleştirme işlemleri tamamlanmıştır (Şekil 4.16., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.).



Şekil 4.16. 30x60 mm'lik Silindir numuneler



Şekil 4.17. 150x150x150 mm'lik Küp numuneler



Şekil 4.18. 100x200 mm'lik Silindir numuneler

#### 4.2.4. Numunelerin Kür Süresi

Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.'de görüldüğü üzere, hazırlanan numuneler hava geçirmeyecek şekilde poşetlere konularak kendi neminde kür olmaları sağlanmıştır. Numunelerin tümü 28 günlük süre boyunca kür edilmiştir. Numuneler ilk 7 günlük süre için kalıpla birlikte poşetlenerek küre başlanmış olup 7. günden itibaren kalıptan çıkarılarak kür işlemine devam edilmiştir.



Şekil 4.19. 30x60 mm'lik Silindir numunelerin poşette 28 gün kür edilmesi



Şekil 4.20. 1. Grup deney numunelerinin poşette 28 günlük kür edilmesi

Sırasıyla %30 ve %50 oranında uçucu kül kullanılarak hazırlanan 3 ve 5 no'lu gruplar için de, deney numuneleri hava geçirmeyecek şekilde yukarıdaki gibi poşetlere konularak 28 gün boyunca kendi neminde kür olmaları sağlanmıştır.

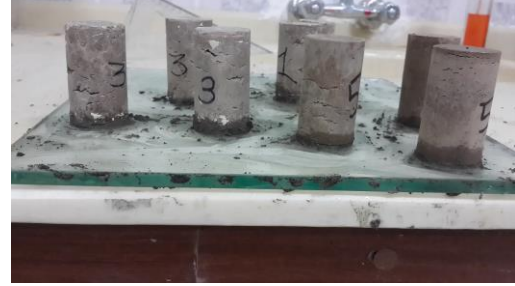
Numuneler üzerinde uygulanan deneyler, 28 günlük kür süresi sonunda gerçekleştirilmiştir. 28 günlük kür süresi sonunda küp numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. 30x60 mm'lik silindir numunelere serbest basınç testi uygulanmıştır. 100x200 mm'lik silindir numunelerden biri üzerinde yarma deneyi yapılmış diğeri ise orta bölgesinden 50 mm'lik bir kesit alınarak kılcal su geçirimsizliği deneyine tabi tutulmuştur.

#### **4.2.5. Deneylerin Yapılması**

28 günlük kür süresi tamamlanan numuneler içerdikleri uçucu kül oranları olan %10, %30 ve %50 değerlerine ilintili olarak 1, 3 ve 5 rakamları ile numaralandırılarak gruplara ayrılmıştır.

##### **4.2.5.1. Serbest Basınç Deneyi**

Silindir numuneler serbest basınç deneyine tabi tutulmadan önce alt ve üst yüzeylerini düzlemek amacıyla harç hazırlanmıştır. Harç için kullanılacak çimento miktarının 2 katı oranında 0.2 mm'lik ince kum ve 1/2 'si kadar su ile bir karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışım, yüzeyi yağlanmış cam bir levha üzerine yayılacak şekilde yerleştirilmiş olup numunelerin düşey doğrultuda dik durması sağlanacak şekilde yerleştirilmesi işlemleri tamamlanmıştır. Bu şekilde numuneler serbest basınç deneyi için hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.21.).



(a) Harcın cam levhaya yerleştirilmesi (b) Numune yüzeylerinin düzlenmesi

Şekil 4.21. Serbest basınç deney numunelerinin hazırlanması: (a) Harcın cam levhaya yerleştirilmesi, (b) Numune yüzeylerinin düzlenmesi

Deney için hazır hale gelen silindirik numune grupları, ASTM D 2166 standardına göre serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 4.22.). Eksenel doğrultuda uygulanan yük etkisinde artan yüke bağlı olarak meydana gelen boy kısaltmaları ölçülmüştür. Her gruptaki 3 numune için hesaplanan bu değerler ve bu değerlere ilişkin hesaplanan diğer parametreler tablo halinde Çizelge 4.7.'de gösterilmiştir.



(a) 1 no'lu grup numunesi



(b) 3 no'lu grup numunesi



(c) 5 no'lu grup numunesi

Şekil 4.22. Serbest basınç deneyi: (a) 1 no'lu grup numunesi, (b) 3 no'lu grup numunesi, (c) 5 no'lu grup numunesi

Çizelge 4.7. Serbest basınç deneyi

Grup No	Numuneler	İlk Boy (mm)	Yük (kg-f)	Deformasyon $\Delta h$ (mm)	Kırılma Anında Kesit Alanı $A_f$ (cm <sup>2</sup> )	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	1	60	45.0	0.420	7.115	619.834	331.08
	2	60	48.1	0.530	7.128	661.311	
	3	60	51.4	0.640	7.141	705.374	
3	1	60	42.0	0.950	7.178	573.366	322.058
	2	60	47.1	1.770	7.279	634.060	
	3	60	53.4	1.280	7.219	724.920	
5	1	60	45.9	1.880	7.294	616,738	317.159
	2	60	46.1	1.280	7.219	625.820	
	3	60	48.4	0.980	7.182	660.400	



#### 4.2.5.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyleri kapasitesi yaklaşık 2 500 kN olan test cihazında ASTM C 39 standardında uygun olarak yapılmıştır. Karışımların basınç yükü altında özelliklerinin belirlenmesi için boyutları 150x150x150 mm olan küp numuneler üzerinde, önce numunenin yerleştirileceği alan temizlenerek Şekil 4.23.'te görüldüğü gibi basınç testi uygulanmıştır.



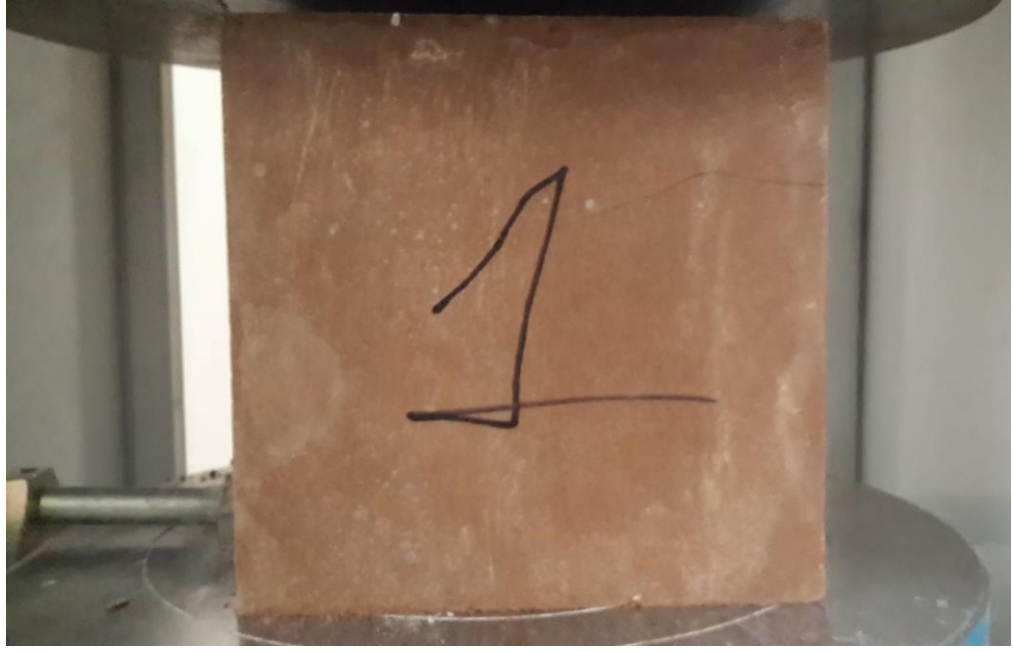
(a) Numunenin yerleştirilmesi



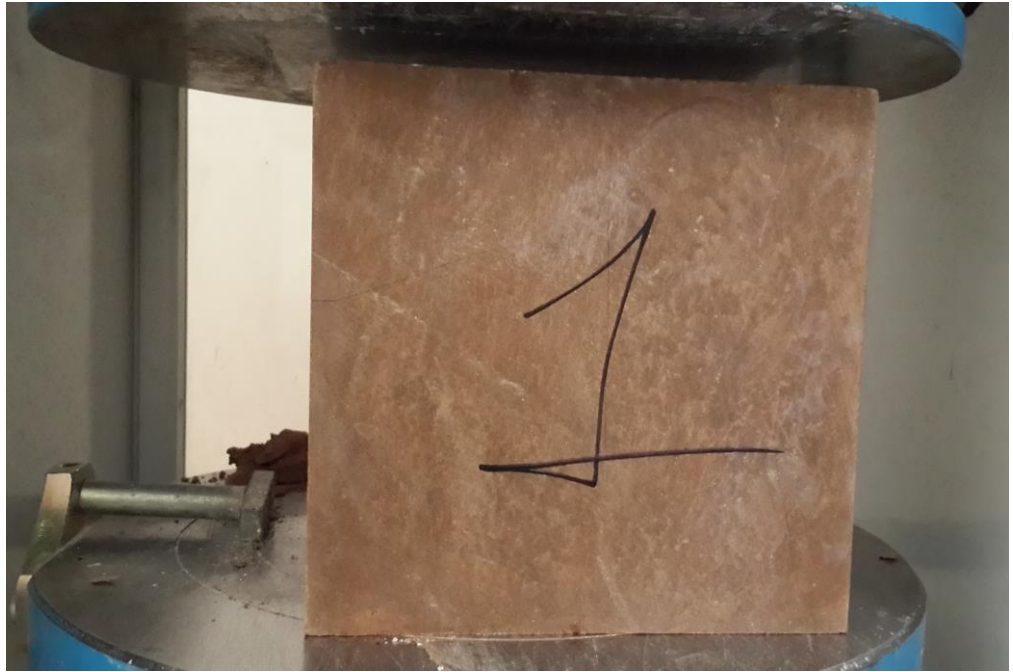
(b) Deneyin uygulanması

Şekil 4.23. Basınç dayanımı deney cihazı: (a) Numunenin yerleştirilmesi, (b) Deneyin uygulanması

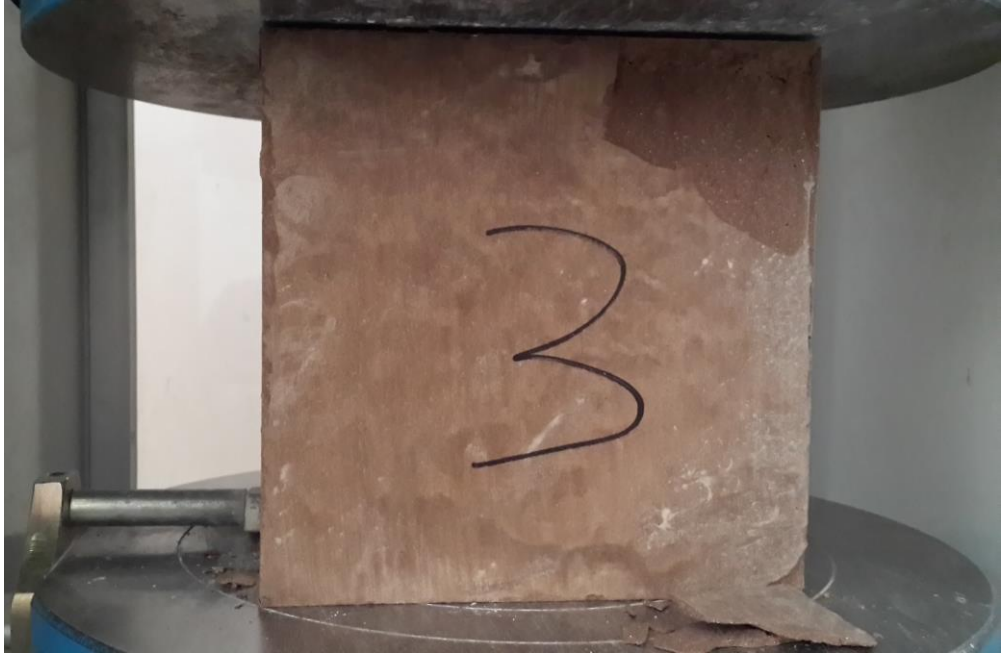
Basınç dayanımı deneyleri her bir grupta 2 adet olmak üzere toplam 6 adet 150x150x150 mm'lik küp numune için gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.24.).



(a) 1 No'lu grup 1. küp numune



(b) 1 No'lu grup 2. küp numune



(c) 3 No'lu grup 1. küp numune



(d) 3 No'lu grup 2. numune



(e) 5 No'lu grup 1. numune



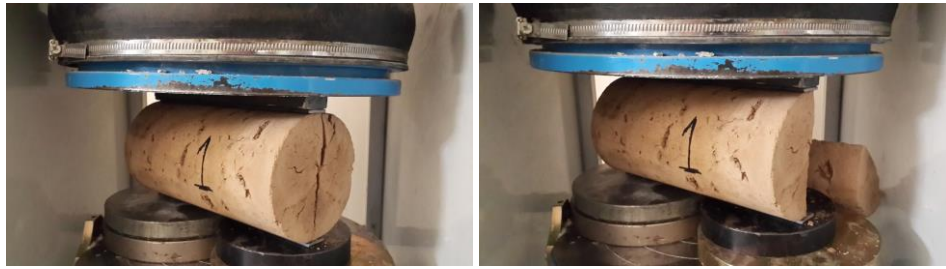
(f) 5 No'lu grup 2. numune

Şekil 4.24. Basınç dayanımı deneyi; (a) ve (b) 1 No'lu grup numuneleri, (c) ve (d) 3 No'lu grup numuneleri, (e) ve (f) 5 No'lu grup numuneleri



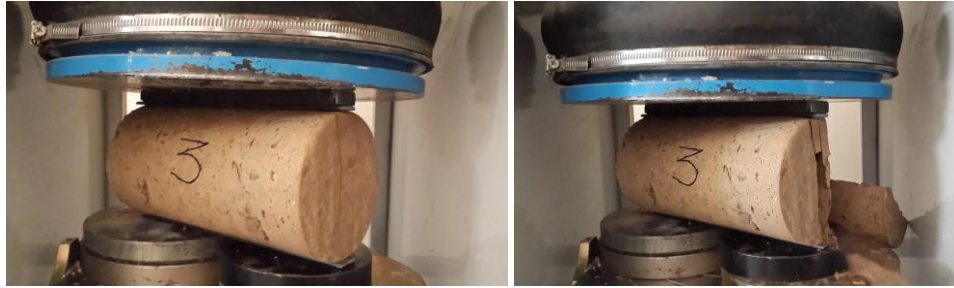
### 4.2.5.3. Yarmada Çekme Deneyi

Yarmada çekme deneyi, 100x200 mm'lik silindir numuneler üzerinde basınç dayanımı deney cihazında ASTM C 496 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Silindir numune deney cihazına yatay yönde alt ve üst temas yüzeylerine metal çubuklar yerleştirilmiştir. Bu metal çubuklar yardımıyla basınç yükünün silindir yan yüzeyi üzerinde üniform bir şekilde uygulanması sağlanmıştır. Her deney grubu için 1 adet numune üzerine uygulanmıştır (Şekil 4.25.).



(a)

(b)



(c)

(d)



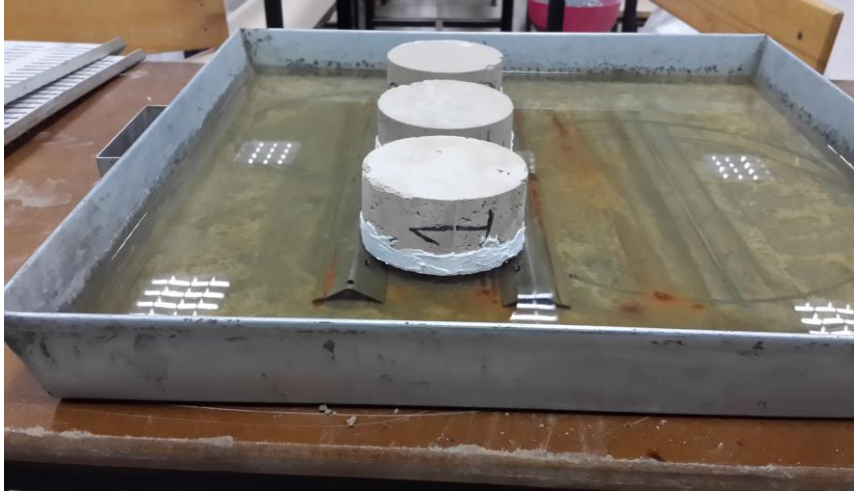
(e)

(f)

Şekil 4.25. Yarmada çekme deneyi: (a) ve (b) 1 No'lu grup silindir numunesi, (c) ve (d) 3 No'lu grup silindir numunesi, (e) ve (f) 5 No'lu grup silindir numunesi

#### 4.2.5.4. Kılcal Su Geçirirliiği Deneyi

Her numune grubu için hazırlanan 100x200 mm'lik iki silindir numuneden birisi orta bölgesinden 50 mm kalınlığında bir kesit alınarak ASTM C 1585 standardına göre kılcal su geçirirliiği deneyine tabi tutulmuştur. Deneye hazırlanmadan önce numuneler 105 °C'deki etüvde 24 saat bekletildi. Numunelerin sadece kesit yüzeyinden su geçirgenliiğini sağlamak amacıyla, su ile temas edecek yüzeye yakın yan yüzeyler yaklaşık 10 mm yüksekliğe kadar silikonla kaplanmıştır (Şekil 4.26.). Numunelerin ağırlığında meydana gelen değişimler 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64. dakikalarda ölçülmüş olup Çizelge 4.8.'de tablo halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Kılcal su geçirirliiği deneyi

Çizelge 4.8. Kılcal su geçirirliiği deneyi sonuçları

Grup No	Deney Başlangıcından İtibaren Ölçümlerin Alındığı Dakikalar								
	0.	1.	4.	9.	16.	25.	36.	49.	64.
1	557.66	567.05	575.50	583.22	589.47	595.39	600.46	605.50	610.53
3	557.58	570.13	584.67	598.20	610.06	620.00	627.79	634.51	640.21
5	560.52	590.19	616.84	639.74	656.81	671.38	680.23	685.44	687.36

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 5.1. Serbest Basınç Dayanımı

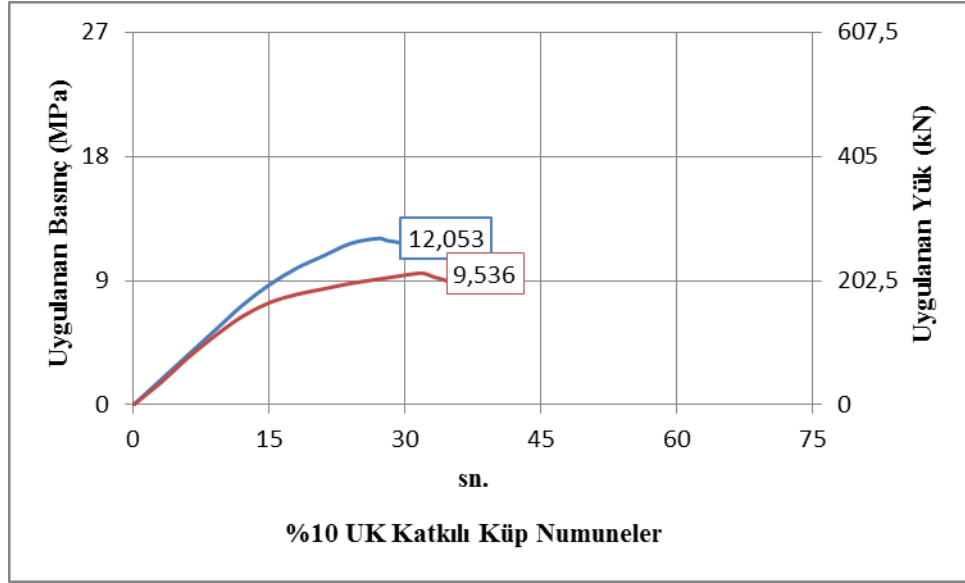
Çizelge 5.1.'de doğal zemin ve farklı oranlarda uçucu kül içeren karışımlara ait serbest basınç dayanımına ait değerler verilmiştir. Görüldüğü gibi, çimento + uçucu kül ilavesi ile yapılan zemin iyileştirme işlemleri sonucunda elde edilen değerler doğal zemin değerlerine göre oldukça olumlu sonuçlar vermektedir. Karışımlarda kullanılan uçucu kül miktarı çimentodan azaltılarak yerine F sınıfı uçucu kül kullanıldığından, uçucu kül oranı arttıkça azalan çimento miktarına bağlı olarak, elde edilen değerlerde az miktarda düşüş görülmektedir.

Çizelge 5.1. Serbest basınç deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

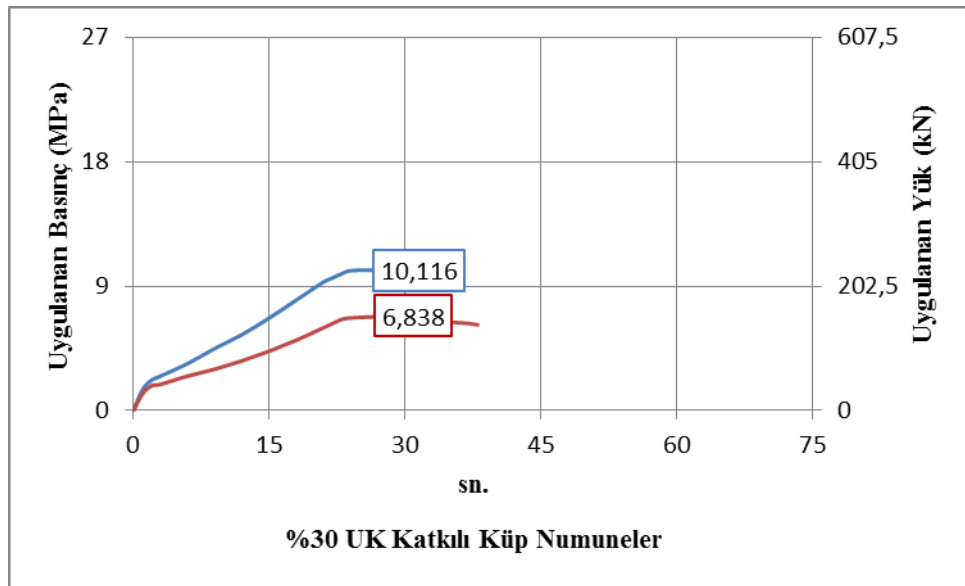
Doğal Zemin Değerleri				İyileştirilmiş Zemin Değerleri				
Numune	Yük (kg-f)	qu (kN/m <sup>2</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	Grup No	Numuneler	Yük (kg-f)	qu (kN/m <sup>2</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )
1	0.7	9.588	6.12	1	1	45.0	619.834	331.08
					2	48.1	661.311	
					3	51.4	705.374	
2	0.9	12.283		3	1	42.0	573.366	322.058
					2	47.1	634.060	
					3	53.4	724.920	
3	1.1	14.826		5	1	45.9	616.738	317.159
					2	46.1	625.820	
					3	48.4	660.400	

### 5.2. Basınç Dayanımı

Üretilen her karışım numunelerinin 28 günlük kür süresi için basınç dayanımları ölçülmüştür (Şekil 5.1.). Her bir karışımdan 2 adet numune test edilmiştir.

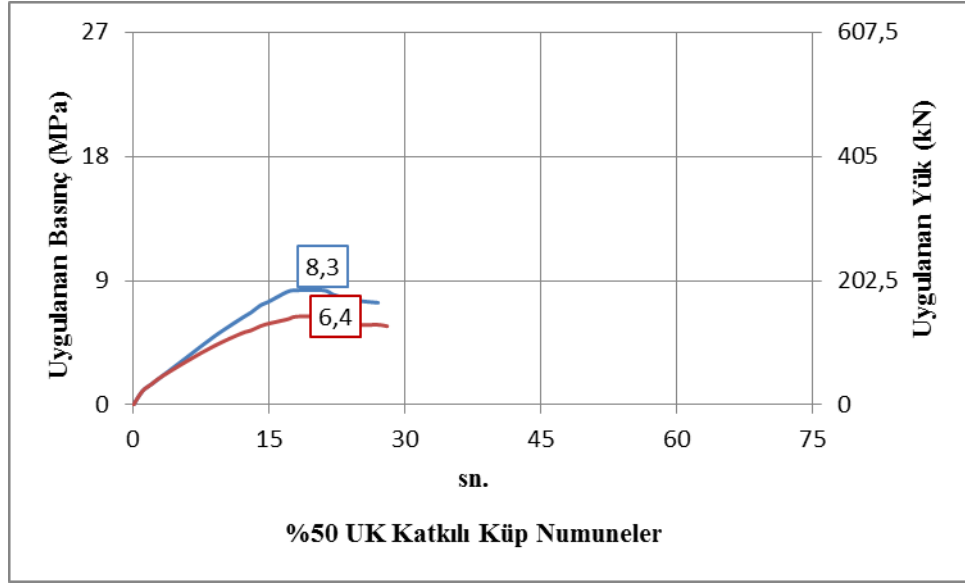


(a)



(b)





(c)

Şekil 5.1. 28 Günlük basınç dayanımları

Farklı oranlarda uçucu kül katkılı karışımların 28 günlük basınç mukavemeti deney sonuçları tablo halinde Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir. Çizelge 5.2.'de kolaylıkla görülmektedir ki, karışımlardaki uçucu kül oranının artması 28 günlük basınç dayanımında azalan değerlerle sonuç vermektedir. Bu sonuç, F sınıfı uçucu küllerin hidrasyon ısısının ve erken yaştaki dayanımının C sınıfı uçucu küllere oranla daha düşük olması ve F sınıfı uçucu küllerin puzolanik reaksiyon süresinin daha uzun olması gerçeğine dayandırılabilir (Erdoğan, 2006).

Çizelge 5.2. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Grup No	Karışımındaki Uçucu Kül Oranı	Basınç Dayanımı, Mpa (28 Gün)
1	%10	10.80
3	%30	8.50
5	%50	7.35

### 5.3. Yarmada Çekme Deneyi

Herbir karışım için hazırlanan bir adet 100x200 mm'lik silindir numuneler üzerinde yarmada çekme deneyleri uygulanarak elde edilen dayanım değerleri Çizelge 5.3.'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Yarmada çekme deneyi sonuçları

Grup No	Karışımındaki Uçucu Kül Oranı	Basınç Dayanımı, Mpa (28 Gün)
1	%10	4.21
3	%30	2.94
5	%50	2.29

### 5.4. Kılcal Su Geçirirliği Deneyi

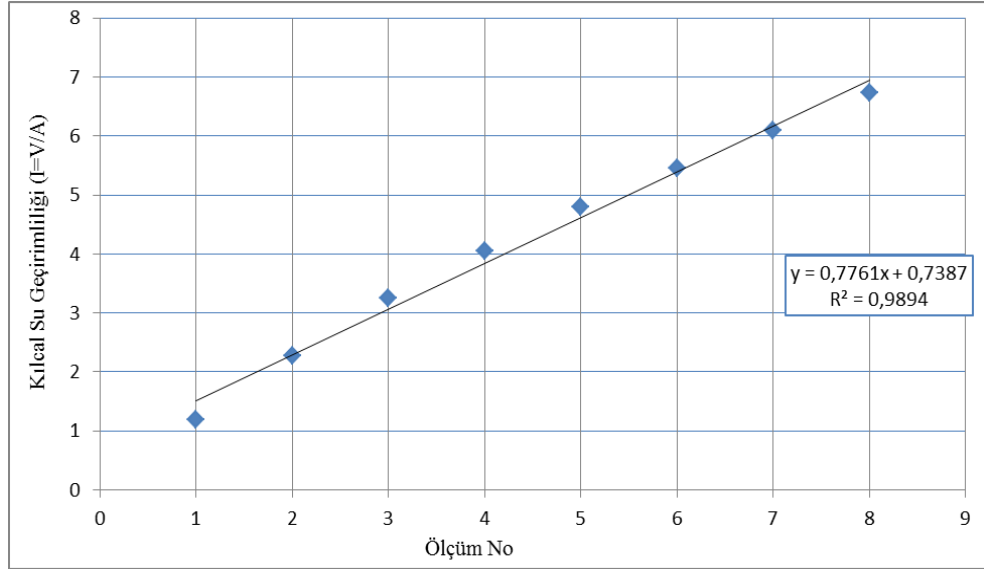
Kılcal su geçirirliği deneyi uygulanan 50 mm'lik kalınlığa sahip silindir kesit numuneler için elde edilen değerler Çizelge 5.4.'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. Kılcal su geçirirliği deneyi sonuçları

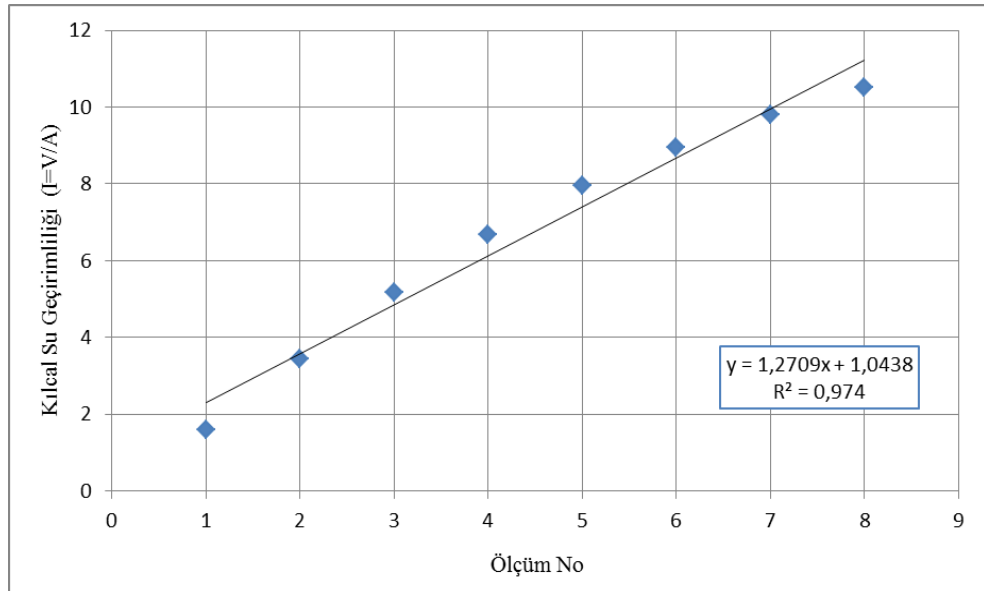
Grup No Süre (dk)	Su Miktarı (gr)			Su Miktarı (mm <sup>3</sup> )		
	1	3	5	1	3	5
1	9.39	12.55	29.67	9390	12550	29670
4	17.84	27.09	56.32	17840	27090	56320
9	25.56	40.62	79.22	25560	40620	79220
16	31.81	52.48	96.29	31810	52480	96290
25	37.73	62.42	110.86	37730	62420	110860
36	42.80	70.21	119.71	42800	70210	119710
49	47.84	76.93	124.92	47840	76930	124920
64	52.87	82.63	126.84	52870	82630	126840

Deney sonucunda elde edilen verilere göre, uçucu kül oranı arttıkça kılcal su geçirirliği artış göstermektedir (Şekil 5.2.). Kullanılan F sınıfı uçucu külün

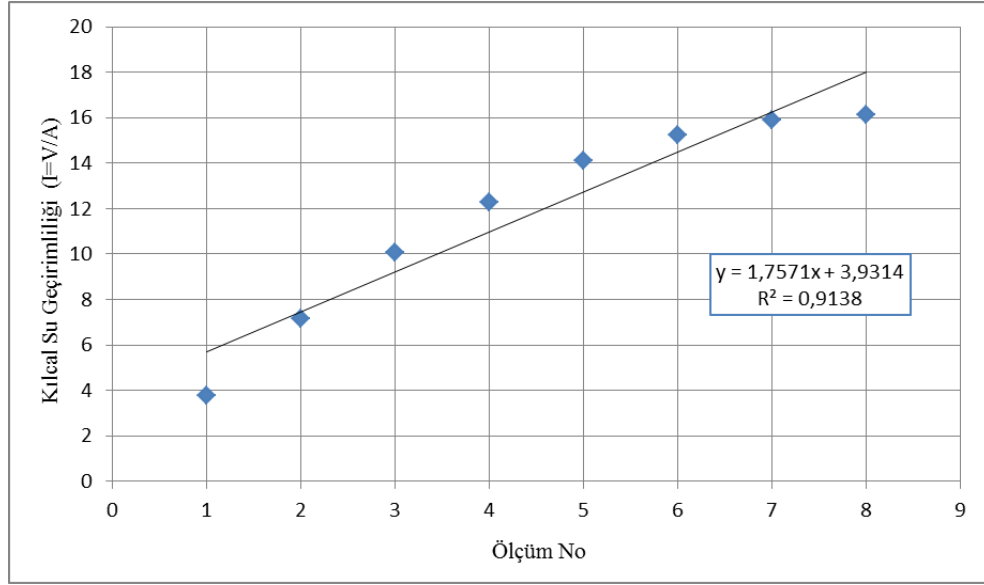
karışımındaki çimento miktarını azaltmasına bağlı olarak elde edilen bu değerler, karışımındaki uçucu külün, yerine kullanıldığı çimento kadar iyi olmadığı sonucunu vermektedir.



(a) %10 Uçucu kül



(b) %30 Uçucu kül



(c) %50 Uçucu kül

Şekil 5.2. Kılcal Su Geçirimsizliği Deneyi Sonuçları: (a) %10 Uçucu kül, (b) %30 Uçucu kül, (c) %50 Uçucu kül

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez, çimento ile zemin stabilizasyonunda çimento miktarından azaltılarak, yerine değişen oranlarda F sınıfı UK kullanımının zeminin serbest basınç mukavemeti, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve kılcal su geçirimsizliği üzerine etkisini incelemektedir. Deney sonuçlarına istinaden aşağıdaki sonuçlar ileri sürülebilir.

1. UK kullanım yüzdesinin artmasıyla 28 günlük numunelerin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve serbest basınç mukavemeti değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda da, serbest basınç dayanımı değerlerine ilişkin olarak benzer sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir (Özsoy, 2007).

2. UK oranı arttıkça 28 günlük numunelerin kılcal su geçirimsizliğinde artış gözlemlenmiştir. Mineral katkıların kullanıldığı çimento karışımlarında kür süresi arttıkça mineral katkının bağlayıcılık oranı artar. Daha uzun kür süresi için bu değerlerin değişimi araştırılabilir.

3. S/B oranı tüm karışımlarda sabit tutularak 1.00 değeri için karışımlar hazırlanmıştır. Zeminin su muhtevası %15 değeri de buna dahil olacak şekilde karışım hesapları yapılmıştır. Zemin ince daneli (40 No'lu elekten geçen) olduğundan fazla su çekebileceği gözönüne alınırsa, bağlayıcı malzemeler puzolanik reaksiyonlarda karışım suyunu etkili oranda kullanamamış olabileceği muhtemeldir. Artan su muhtevasına bağlı olarak zeminin parametrelerindeki değişimleri araştıran çalışmalar sürdürülebilir.

4. Çimento ile stabilize edilen zeminlerde genellikle çimento dozajı 300~700 olacak şekilde karışım hesabı yapılmaktadır. Bu çalışmada hesaplanan çimento miktarı karışımlarda oran olarak 500 doz olacak şekilde sabit tutulmuş, UK oranı arttıkça çimentodan aynı miktarda azaltılmıştır. Buna bağlı olarak erken yaş dayanımlarında UK oranı %10 olan numunelerin (%30 ve %50 oranında UK içeren numunelere göre

daha fazla çimento içerdiği için) daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç, serbest basınç mukavemetinin UK içeriğine bağlı olarak değişimiyle benzer etki taşıdığı görülmektedir.

5. Bu çalışmada, bağlayıcı malzeme dozajı sabit kalacak şekilde UK oranının arttırılarak çimento ile beraber kullanılmasının etkileri araştırıldığından, katkı malzemesi olarak sadece UK kullanılmıştır. Kullanılan UK F sınıfı olduğundan çimento ile etkileşimi ve priz alma süresi, C sınıfı UK kadar iyi sonuç vermemektedir. C sınıfı UK'nün ilk dayanımı (bu çalışmadaki 28 günlük kür süresi gözönüne alınırsa) daha fazla olduğundan, yapılan çalışmalarda kullanıldığı takdirde daha iyi sonuç vermesi muhtemeldir.

6. Numuneler hava geçirmeyecek şekilde poşetlenerek kendi nem şartlarında kür olmaları sağlanmıştır. Farklı kür şartlarının oluşturacağı etkiler araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- AL-RAWAS, A.A. and GOOSEN, M.F.A., 2006. "Expansive soils: Recent advances in characterization and treatment." *Third Edition*, London.
- ALTUN, S., 2010. "Zemin iyileştirme yöntemleri, derin temeller ve uygulama örnekleri." Ege Üniversitesi, İMO.
- ASTM C39, 1994. "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens." Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C496, 1994. "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens." Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C618, 1994. "Standard Test Method for Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete." Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C1585, 1994. "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes." Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM D422, 2011. "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils." Soil Mechanics Lab Manual.
- ASTM D1140, 2011. "Standard Test Method for Amount of Material in Soils Finer Than the No.200 (75- $\mu$ m) Sieve." Soil Mechanics Lab Manual.
- ASTM D2166, 2011. "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil." Soil Mechanics Lab Manual.
- ASTM D3080, 2011. "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions." Soil Mechanics Lab Manual.
- ASTM D4318, 2011. "Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils." Soil Mechanics Lab Manual.
- BAUDET, B. and STALLEBRAS, S., 2004. "A constitutive model for structured clays." *Geotechnique*, 54(4), pp. 269-278.
- BEEGLY, J. and SCHROCK, M., 2010. "Dredge material stabilization using the pozzolanic or sulfo-pozzolanic reaction of lime by-products to make an engineered structural fill." *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(1), pp. 1-21.
- BJERRUM, L., 1954. "Geotechnical properties of Norwegian marine clays." *Geotechnique*, 4(2), pp. 49-69.
- CHEN, C.S. and TAN, S.M., 2002. "A case history of a coastal land reclamation project." *GSM-IEM Forum on Engineering Geology and Geotechnics in Coastal Development*, Oct 23.
- COASTAL DEVELOPMENT INSTITUTE OF TECHNOLOGY (CDIT), 2002. "The deep mixing method: principle, design and construction." Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- CRAIG, R. F., 2004. "Craig's soil mechanic." *Seventh Edition*, University of Dundee, UK.
- CROFT, J.B., 1967. "The structures of soils stabilized with cementitious agents." *Engineering Geology*, 2(2), pp. 63-80.
- ÇETİNER, S.I., 2004. "Stabilization of expansive soils by Çayırhan fly ash and Desulphogypsum." MS. Thesis, The Middle East Technical University, Turkey.
- ÇOKÇA, E., 2012. "Şişen Zeminler." *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

- DEMİR, S. ve KILIÇ, M., 2010. “Şişen zeminlerin tanımlanması ve zemin iyileştirme yöntemleri.” *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), Gaziosmanpaşa Üniversitesi, pp. 95-104, Türkiye.
- DEMİRÖZ, A. ve KARADUMAN, M., 2009. “Zemin iyileştirme metotları.” *ISSN 1302/6178 Journal of Technical – Online*, Vol. 8, n.3.
- DONALDSON, G.W., 1969. “The Occurrence of Problems of Heave and the Factors Affecting its Nature” *Second International Research and Engineering Conference on Expansive Clay soils*, Texas A&P Press.
- HOLTZ, W. G., 1959. “Expansive clays-properties and problems.” *Journal of the Colorado School of Mines*, Vol. 54, n. 4, pp. 89-125.
- HORPIBULSUK, S., MIURA, N. and NAGARAJ, T.S., 2003. “Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abrams’ law as a basis.” *Geotechnique*, 53(4), pp. 439–444.
- ISMAIL, M.A., JOER, H.A., SIM, W.H. and RANDOLPH, M.F., 2002. “Effect of cement type on shear behavior of cemented calcareous soil.” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(6), pp. 520–529.
- KAROL, R.H., 2003. “Chemical Grouting and Soil Stabilization” Third Edition, Revised and Expanded, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, U.S.A..
- KERRANE, J. P., 2005. “What are expansive soils.”
- MITCHELL, J. K. and SOGA, K., 2005. “Fundamentals of soil behavior.” *Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.*, Canada.
- MOLLAMAHMUTOĞLU, M. ve KAYABALI, K., 2004. “Geoteknik deprem mühendisliği el kitabı.” Ankara Üniversitesi, Ankara.
- NAGARAJ, T.S., PANDIAN, N.S. and NARASIMHA RAJU, P. S. R., 1991. “An approach for prediction of compressibility and permeability behaviour of sand-bentonite mixes.” *Indian Geotechnical Journal*, 21(3), pp. 271–282.
- NAYAK, N. V. and CHRISTENSEN, R. W., 1971. “Swelling characteristics of compacted expansive soils.” *Clay and Clay Minerals*, Vol.19, pp. 251-261.
- ÖKSÜZ, K., 2006. “Afşin-Elbistan termik santralı uçucu külünün zemin stabilizasyonunda kullanımı.” Master Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- ÖZAYDIN, K., 2012. “Zeminlerin iyileştirilmesi.” *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- ÖZAYDIN, K., 2011. “Zemin Mekaniği.” Yıldız Teknik Üniversitesi, Birsen Yayınevi.
- ÖZDEMİR, A. ve ÖZDEMİR, M. “Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi ve son yıllarda yaygın olarak uygulanan bazı zemin iyileştirme yöntemleri.” *Sondaj Dünyası*, s.3.
- SASANIAN, S., 2011. “The Behaviour Of Cement Stabilized Clay At High Water Contents.” Phd Thesis, The University Of Western Ontario, Canada.
- SIDDIQUE, R., 2008. “Waste materials and by-products in concrete.” Thapar University, India.
- TÜRKÖZ, M. ve TOSUN, H., 2010. “Harran kili şişme özelliklerinin değerlendirilmesi ve dolaylı tahmini.” *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, pp. 1-10.
- YILMAZ, I. ve KARACAN, E., 1998. “Zeminlerin şişme özellikleri.” Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mehmet Halil DORU  
**Uyruğu** : TC.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Şırnak, 1984  
**Telefon** : 0438-2121212  
**Fax** : -  
**e-mail** : mhdoru@hakkari.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cemile-Hamdi Ongun Süper Lisesi, Merkez, Mersin	2002
Üniversite	: Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul	2008
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Osmanbey, Şanlıurfa	2014

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-.....	Hakkari Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Zemin iyileştirme ve geoteknik uygulamalar

### YABANCI DİLLER

İngilizce