KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ KİLLERİNİN KİREÇ STABİLİZASYONU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Müh. Füsun TÜYLÜCE

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aydın KAVAK

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ KİLLERİNİN KİREÇ STABİLİZASYONU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Müh. Füsun TÜYLÜCE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18.06.2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.07.2010

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Yrd.Doç.Dr. Aydın KAVAK	Doç.Dr. Gülgün YILMAZ	Doç.Dr. Şevket ÖZDEN
(.....)	(.....)	(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ

İnce daneli zeminlerin kireçle stabilizasyonu bilinen bir yöntem olmasına rağmen deniz killerinin kireçle stabilizasyonu üzerine literatürde çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada deniz killeri sönmüş ve sönmemiş kireçle stabilize edilmiştir. Laboratuar çalışmaları doğal ve optimum su muhtevalarında yapılmış ve mukavemetteki artışlar gözlemlenmiştir. Kireçsiz ve kireçli haldeki malzemenin kimyasal analizleri yapılmış ve kireç eklendikten sonra malzemenin yapısında meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışması süresince bana sürekli yardımcı ve destek olan, bu konuda çalışma imkanı veren, bitirme tezimi hazırlayabilecek aşamaya erişmede bana disiplin, mücadele ve çalışma azmi veren Yrd. Doç. Dr. Aydın KAVAK' a, tez çalışmasının gerektirdiği her konuda bana yardımcı olan ve iyi bir inşaat mühendisi olabilmem için öğrencisi olduğum sürece emeklerini esirgemeyen Dr. Utkan MUTMAN' a, tüm yoğunluğuna rağmen mesleki tecrübelerini esirgemeyerek faydalı fikir ve yönlendirmeleri ile tez çalışmasının her aşamasında bana yardımcı olan İnşaat Mühendisi Özgür BEYAZ' a, mikro yapı incelemelerine verdikleri katkı sebebiyle Kireç Sanayicileri Derneğine ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili babam Şeref TÜYLÜCE' ye ve annem Nermin TÜYLÜCE' ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ…. i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER ix
ÖZET……. x
İNGİLİZCE ÖZET xi
1. GİRİŞ…. 1
2. KİLLER VE MİNEROLOJİSİ 4
2.1. Kil Mineralleri 4
2.2. Kil Minerallerinin Kristal Yapısı 4
2.3. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması 5
2.4. Topraktaki Önemli Kil Mineralleri 7
2.4.1. İki tabakalı kil mineralleri 7
2.4.1.1. Kaolinit 7
2.4.1.2. Halloysit 8
2.4.2. Üç tabakalı kil mineralleri 8
2.4.2.1. İllit 8
2.4.2.2. Vermiküllitler 9
2.4.2.3. Montmorillonit 9
2.4.3. Dört tabakalı kil mineralleri 10
2.4.3.1. Klorit 10
2.5. Kil Minerallerinin Oluşumu 11
2.5.1. Silikatların ayrışma ürünlerinden kil minerallerinin oluşumu 11
2.5.2. Tabakalı silikatların aralanması ile kil minerallerinin oluşumu 11
2.6. Kil Minerallerinin Tayini 12
3. KİREÇ…. 13
3.1. Kireçtaşı, Sönmemiş ve Sönmüş Kireç 13
3.2. Kireç Kullanımının Avantajları 14
3.3. Kireç Kullanım Alanları 15
3.4. Kirecin İnşaat ve Yapılardaki Kullanımı 15
4. KİREÇ STABİLİZASYONU 18
4.1. Kireç Stabilizasyonunda Kullanılan Kireç Türleri ve Özellikleri 20
4.2. Kireç Stabilizasyonu Mekanizması 20
4.2.1. Katyon değişimi ve topaklanma 21
4.2.2. Çimentolaşma 22
4.2.3. Karbonatlaşma 23
4.3. Kireç Stabilizasyonu Sonucu Zeminin Geoteknik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler…. 24
4.3.1. Zeminde kısa dönemde meydana gelen değişimler 24
4.3.2. Zeminde uzun dönemde meydana gelen değişimler 24
4.4. Kireçle Stabilize Edilen Zeminlerin Geoteknik Özelliklerindeki Değişimler 25

4.4.1. Plastisite indisi 25
4.4.2. Optimum su muhtevası ve maksimum KBHA 25
4.4.3. Uzun ömürlülük 25
4.4.4. Mukavemetteki değişimler 26
4.4.5. Permeabilitedeki değişimler 27
4.4.6. Donma-çözünme etkisine karşı davranış 28
5. SEM VE XRD ANALİZLERİ 29
5.1. Giriş…. 29
5.2. SEM (Taramalı Elektron mikroskobu) Analizleri 29
5.2.1. SEM numunelerinin özellikleri 29
5.2.2. SEM için numune hazırlanması 30
5.2.3. SEM' in çalışma prensibi 31
5.3. XRD (X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi) Analizleri 32
6. METODOLOJİ 34
6.1. Giriş…. 34
6.2. Deniz Kilinin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi 34
6.2.1. Yıkamalı elek analizi 35
6.2.2. Optimum kireç miktarının belirlenmesi 35
6.2.2.1. Atterberg kıvam limitleri tayini 36
6.2.2.2. PH deneyi 37
6.2.3. Modifiye proktor deneyleri 37
6.2.5. Serbest basınç deneyleri 40
6.2.6. CBR deneyleri 41
6.3. Deniz Kilinin Minerolojik Özelliklerinin Belirlenmesi 42
6.3.1. Kimyasal analiz 42
6.3.2. XRD analizleri 43
6.3.3. SEM analizleri 43
6.4. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri 43
6.4.1. Deniz kili 43
6.4.2. Stabilizasyonda kullanılan sönmüş ve sönmemiş kirecin özellikleri 44
6.4.2.1. Sönmüş kireç 44
6.4.2.2. Sönmemiş kireç 45
7. LABORATUAR ÇALIŞMALARI 46
7.1. Yıkamalı Elek Analizi 46
7.2. Optimum Kireç Miktarının Belirlenmesi 47
7.2.1. Atterberg kıvam limitleri 47
7.2.2. PH deneyi 49
7.3. Modifiye Proktor Deneyleri 50
7.4. Harvard (Minyatür) Proktor Deneyleri 51
7.4.1. Optimum su muhtevalarının tayini 52
7.4.1.1. Standart minyatür proktor deneyleri 52
7.4.1.2. Modifiye minyatür Poctor deneyleri 53
7.4.2. Serbest basınç numunelerinin hazırlanması 54
7.5. Serbest Basınç Deneyleri 54
7.5.1. Standart serbest basınç deneyleri 55
7.5.2. Modifiye serbest basınç deneyleri 61
7.5.2.1. Optimum su muhtevasında doğal ve ağırlıkça % 5 sönmüş kireçli modifiye serbest basınç deneyleri 61

7.5.2.2. Doğal su muhtevasında saf ve ağırlıkça % 5 sönmemiş kireçli modifiye serbest basınç deneyleri 67
7.6. Yaş CBR Deneyleri.....70
7.7. Laboratuar Deneyleri Sonuçları.....73
8. SEM VE XRD ANALİZLERİNİN SONUÇLARI.....75
8.1. Deniz Kili – Kireç Reaksiyonları.....75
8.2. SEM Analiz sonuçları 75
8.3. XRD Analiz Sonuçları 80
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....82
KAYNAKLAR.....84
EKLER.....89
ÖZGEÇMİŞ.....117

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı 5
Şekil 2.2: Kaolinit grubu kil minerallerinin yapısı..... 7
Şekil 2.3: Mikanın illite, illitten vermiküllit ve montmorillonite dönüşmesi 10
Şekil 2.4: Yaprakçıksız silikat minerallerinin ayrışma ürünlerinden kil minerallerinin teşekkülü ve oluşum ortamının reaksiyonu ile ilişkisi.....11
Şekil 2.5: Yaprakçıklı silikat minerallerinin aralanması ile kil minerallerinin teşekkülü ve ortamın reaksiyonu ile ilişkisi 12
Şekil 2.6: Başlıca kil minerallerinin plastisite diyagramındaki yeri 12
Şekil 3.1: Kireçtaşının organik oluşumu 13
Şekil 3.2: Sönmemiş kireçte hidratasyon hızının su miktarıyla değişimi.....14
Şekil 3.3: Dünya' da kireçtaşı tüketimi 17
Şekil 3.4: Türkiye' de kireçtaşı tüketimi 17
Şekil 4.1: Killi bir zeminde kireç stabilizasyonu sonucu meydana gelen geoteknik değişimler.....19
Şekil 4.2: Katyon değişimi ve topaklanma reaksiyonlarının oluşumu 21
Şekil 4.3: Pozzolanik reaksiyonlar sonucu zeminin yapısında meydana gelen değişim.....23
Şekil 5.1: Analiz yapılacak ve görüntü alınacak numunenin maksimum boyutları.30
Şekil 5.2: Taramalı elektron mikroskobu 31
Şekil 5.3: XRD cihazı.....32
Şekil 5.4: X-Işın dedektörü.....33
Şekil 6.1: Elek takımı ve deneyin uygulanış.....35
Şekil 6.2: Likit limit deney aleti ve deneyin uygulanışı.....36
Şekil 6.4: Modifiye proktor takımı.....38
Şekil 6.5: Harvard proktor takımı 39
Şekil 6.6: Harvard proktor deneyi uygulanışı.....39
Şekil 6.7: Serbest basınç deneyi.....40
Şekil 6.8: CBR kalıbı ve numunenin hazırlanışı.....41
Şekil 6.9: CBR kırım aleti.....42
Şekil 7.1: Elek analizi kümülatif dağılım eğrisi.....47
Şekil 7.2: Deniz kili için Atterberg kıvam limitleri 48
Şekil 7.3: PH deneyi sonuçları.....50
Şekil 7.4: Deniz kili için modifiye proktor eğriler.....51
Şekil 7.5: Deniz kili için Harvard standart proktor eğrileri.....52
Şekil 7.6: Deniz kili için minyatür modifiye proktor eğrileri 53
Şekil 7.7: Saf numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği.....55
Şekil 7.8: Kireçli numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği 56
Şekil 7.9: Kireçli numunelerin 1 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği 56
Şekil 7.10: Kireçli numunelerin 7 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği 57

Şekil 7.11: Kireçli numunelerin 28 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği 57
Şekil 7.12: Kireçli numunelerin 60 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği 58
Şekil 7.13: Kireçli deniz kili için ortalama serbest basınç-boy kısalması grafiği.....58
Şekil 7.14: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki standart serbest basınç mukavemeti değerleri.....59
Şekil 7.15: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri 60
Şekil 7.16: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri 60
Şekil 7.17: Saf numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği.....61
Şekil 7.18: Sönmüş kireçli numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği.62
Şekil 7.19: Sönmüş kireçli numunelerin 1 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği.....62
Şekil 7.20: Sönmüş kireçli numunelerin 7 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği.....63
Şekil 7.21: Sönmüş kireçli numunelerin 28 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği.....63
Şekil 7.22: Sönmüş kireçli numunelerin 60 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği.....64
Şekil 7.23: Saf ve sönmüş kireçli deniz kili için modifiye serbest basınç-boy kısalması grafiği 64
Şekil 7.24: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri 65
Şekil 7.25: % 5 sönmüş kireç + deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri.....66
Şekil 7.26: Saf, % 5 sönmüş kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri.....66
Şekil 7.27: Standart ve modifiye serbest basınç deneyleri 67
Şekil 7.28: Sönmemiş kireçli numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği 67
Şekil 7.29: Sönmemiş kireçli numunelerin 1 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği.....68
Şekil 7.30: Sönmemiş kireçli numunelerin 7 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği.....68
Şekil 7.31: Sönmemiş kireçli numunelerin 28 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği.....69
Şekil 7.32: Sönmemiş kireçli deniz kili için serbest basınç-boy kısalması grafiği....69
Şekil 7.33: Saf, % 5 sönmemiş kireçli deniz kili için serbest basınç mukavemeti değerleri 70
Şekil 7.34: Saf deniz kilinin yaş CBR deneyi.....71
Şekil 7.35: % 5 Kireçli deniz kilinin CBR deneyi 71
Şekil 7.36: Saf ve % 5 kireçli deniz kili yaş CBR deneyi 72
Şekil 7.37: Saf ve % 5 kireçli deniz kili yaş CBR değerleri.....72
Şekil 8.1: Doğal deniz kili 500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü 76
Şekil 8.2: Deniz kili – kireç karışımı 500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü.... 76
Şekil 8.3: Doğal deniz kili 2500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü 77
Şekil 8.4: Deniz kili – kireç karışımı 2500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü.. 77

Şekil 8.5: Doğal deniz kili 5000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü 78
Şekil 8.6: Deniz kili – kireç karışımı 5000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü..
.....78
Şekil 8.7: Doğal deniz kili 10000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü.....79
Şekil 8.8: Deniz kili – kireç karışımı 10000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü
.....79
Şekil 8.9: Deniz kilinin XRD analizi sonucu.....80
Şekil 8.10: % 5 kireçli deniz kilinin XRD analizi sonucu.....81

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Kil minerallerinin (ağırlığa göre) kimyasal bileşimi 6
Tablo 2.2: Kil minerallerinin sınıflandırılması 6
Tablo 4.1: Ingles ve Metcalf (1972) tarafından önerilen kireç karışım oranları.....18
Tablo 6.1: Deniz kilinin geoteknik özellikleri 44
Tablo 6.2: Deniz kilinin kimyasal analiz sonuçları.....44
Tablo 6.3: Sönmüş kirecin fiziksel özellikleri 45
Tablo 6.4: Sönmüş kirecin kimyasal özellikleri.....45
Tablo 6.5: Sönmemiş kirecin kimyasal özellikleri.....45
Tablo 7.1: Elek analizi sonuçları.....46
Tablo 7.2: Deniz kili için Atterberg kıvam limiti değerleri.....48
Tablo 7.3: Doğal su muhtevası tayini.....49
Tablo 7.4: PH deneyi sonucu elde edilen değerler.....49
Tablo 7.5: Saf ve % 5 kireçli deniz kili için belirlenen değerler.....51
Tablo 7.6: Saf ve % 5 kireçli deniz kili için belirlenen değerler.....54
Tablo 7.7: Serbest basınç deneyi için hazırlanan numune adedi 54
Tablo 7.8: Deniz kili için değişik kür sürelerindeki ortalama serbest basınç değerleri 59
Tablo 7.9: Deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç değerleri.....65
Tablo 7.10: Deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç değerleri 70

SİMGELER

Å	: angström, 10^{-10} metre
Al	: alüminyum
C_C	: tokmak yastığı düzeltme katsayısı
CH	: yüksek plastisiteli kil
CL	: düşük plastisiteli kil
Cu	: uniformluk sayısı
d	: genişlik, (cm)
d	: atom tabakaları arası uzaklık
Fe	: demir
h	: yükseklik, (cm)
K	: potasyum
m	: ağırlık
kPa	: kilopascal
Mg	: magnezyum
P	: düzgün yayılı yük, (kN/m^2)
q_U	: taşıma gücü, (kN/m^2)
Si	: silisyum
w	: su muhtevası, (%)
$w_{doğal}$	: doğal su muhtevası, (%)
w_{opt}	: optimum su muhtevası, (%)
λ	: dalga boyu
θ	: ışınların yansıma açıları

Kısaltmalar

Al	: Oktahedron
CaO	: Sönmemiş Kireç
CaCO3	: Kalsiyum Karbonat
[Ca(OH2)]	: Sönmüş Kireç
CAH	: Kalsiyum Alümünit Hidrat
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
CSH	: Kalsiyum Silika Hidrat
K.B.H.A.	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
LL	: Likit Limit
PL	: Plastik Limit
PI	: Plastisite İndisi
S.E.M	: Taramalı Elektron Mikroskobu
X.R.D	: X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi

DENİZ KİLLERİNİN KİREÇ STABİLİZASYONU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Füsun TÜYLÜCE

Anahtar Kelimeler: Deniz kili, Sönmüş Kireç, Sönmemiş Kireç, Stabilizasyon, Mukavemet, Mineroloji

Özet: Çalışmanın amacı denizde yapılacak yapıların tabanında bulunan tarama ile elde edilebilecek deniz kilinin, kireç stabilizasyonu ile iyileştirilerek karada dolgu çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada, Bursa ilinin Gemlik mevkiisinden alınmış olan deniz kili kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında deneyler, optimum su muhtevasında uygulanmıştır. Zeminin geoteknik özelliklerini, optimum su muhtevasını ve eklenebilecek optimum kireç oranını belirlemek amacıyla elek analizi, Atterberg kıvam limitleri ve Proktor deneyleri uygulanmıştır. 60 gün kür edilen sönmemiş kireç katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde doğal zemine oranla 7 kat artış gözlemlenmiştir. Yapılan CBR deneyi incelendiğinde 5 kata varan mukavemet artışları gözlemlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında doğal deniz kiline sönmemiş kireç katılarak serbest basınç deneyleri yapılıştır. 28 günlük kür süresi sonunda doğal zeminde sıkıştırma yapılamazken sönmemiş kireç katılmış zeminin mukavemetinde 6 kata varan artışlar gözlemlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında SEM ve XRD analizleri yapılarak kireç katkılı zeminin kimyasal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Kireç katkılı numunelerdeki mukavemet artışlarına dayanarak, deniz kilinin kireçle stabilizasyonu sonucunda arazi şartlarında dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği, bu sayede dolgu çalışmalarının kolay ve ekonomik bir şekilde yapılabileceği belirlenmiştir.

TREATMENT OF MARINE CLAYS WITH LIME STABILIZATION

Füsun TÜYLÜCE

Keywords: Marine clay, Hydrated Lime, Quick Lime, Stabilization, Strength, Minerology

Abstract: The goal of this project is searching the on land usage of marine clay, which is found under the marine structure's base and obtainable by scanning. In this project, marine clay which has been taken from Gemlik borough of Bursa city has been used. In the first stage of this study, tests are done at optimum water content. Sieve analysis, Atterberg limit tests and Proctor tests are done to determine soil' s geotechnial properties, optimum water content and optimum lime ratio. 60 days cured hydrated lime mixtured sample' s unconfined compression strenght has been increased up to 7 times of the natural value. When CBR test is examined it has seen that strenght increased 5 times. In the second stage of this study, unconfined compression tests are done to natural marine clay which is mixed with quicklime. Altough compaction can not be done to natural soil because of it' s high water content, quicklime mixtured samples unconfined compression strenghts increased up to 6 times which are cured for 28 days. At the end of this study, SEM and XRD analysis are done to determine the diference in the crystel structure of lime mixed soil. Based on the strenght increases in lime mixtured samples, it is seen that, marine clays can be used as filling material by stabilization with hydrated or quick lime. Thanks to this, filling studies can be done more practical and economic.

1. GİRİŞ

Zorlu dalga koşulları ve suyun derinliği, inşaat mühendislerinin deniz ve okyanusların zemininde yapmak istedikleri büyük ölçüdeki yapıların inşaasını zorlaştırır (Bjerrum, 1973 a,b; Cottrill, 1986). Denizin üstünde yapı inşaa edebilmek rüzgar, dalga ve gel-git gibi ekolojik olaylardan dolayı geoteknik problemleri beraberinde getirmektedir (Bjerrum, 1973; Foht ve Kraft, 1977). Zayıf deniz killerinin üzerinde bulunan yapılarda meydana gelen oturmalar birçok probleme yol açar. Zemin, kesme göçmesini atlatabilecek kadar güçlü olmasına rağmen oturmaların fazla ve geniş ölçüde olması yapıyı tehlikeye sokar.

Killi (ince daneli) zeminler, toprağın nemine bağlı olarak yüksek oranda hacim değiştirme (şişme, büzülme, vs.) özelliğine sahiptirler. Her yıl killi zeminlerin bu özelliklerinden dolayı temellerde, üst yapılarda ve rijit yapılarda büyük ölçüde zararlar meydana gelmektedir. Blacklock ve Pengilly (1988) bu zararların her yıl 5 milyarı aşkın yapıda meydana geldiğini belirtmektedir. Killi zeminlerin hacimlerinde meydana gelen bu ani değişimlerin yapılara verdiği zararlar, deprem, sel ve diğer doğal afetlerden meydana gelen zararlara oranla çok daha fazladır. Jones ve Jones, killi zeminlerdeki şişme ve büzülme gibi hacimsel değişikliklerin doğa koşullarından veya insanların doğaya verdikleri zararlardan dolayı zeminin nemlilik oranından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Fizyokimyasal iyileştirmeler killi zeminlerin çalışılabilirliğini arttırır ve şişme potansiyelini düşürürler. Asfalt malzemeleri, inorganik kimyasallar, polimerler ve tuzlar gibi çeşitli kimyasallar zeminin çalışabilirliğini arttırmak amacıyla denenmesine rağmen pahalı olmalarından dolayı kullanım alanları yaygın değildir.

En yaygın olarak kullanılan ve en etkili olan fizyokimyasal yöntemlerinden biri kireç stabilizasyonudur. İnce daneli zeminlerde oturmalar ve diğer geoteknik problemler hangi nedenle olursa olsun kireç, zeminin özelliklerini iyileştirmektedir (Broms ve Boman, 1975; Okumura ve Terashi, 1975; Locat ve diğ., 1990, 1996; Ingles, 1970).

Killi zeminlerin kireçle iyileştirilmesi yöntemi yıllardır yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Birçok ülkede tren yolu, kara yolu, park alanı ve yapı inşaatlarında öncelikli olarak tercih edilen yöntemdir (Goldberg ve Klein, 1952; Clare ve Crunchley, 1957; Terrel ve diğ., 1979). Kireçle kilin girdiği reaksiyonu analiz edebilmek için birçok araştırmacı çalışmalarda bulunmuştur (Ladd ve diğ., 1960).

Kireç stabilizasyonu sonucunda zeminde kısa dönemde optimum su muhtevası artmakta, proktor yoğunlukları düşmekte, plastisite indisinde azalmalar olmakta, proktor eğrisi düzleşmekte, CBR (Kaliforniya taşıma oranı) değerlerinde ise artışlar olmaktadır (Kavak, 1996).

Kireç zemin karışımlarının zeminin dayanımına olan katkısı 10 yılı aşan sürelerde bile devam ettiği kanıtlanmıştır (TRB State of Art Report-5, 1987).

Eades ve Grim (1966) yaptıkları çalışmalarda, farklı oranlarda kireç karıştırılmış serbest basınç numuneleri üzerinde ölçümler yapmış ve serbest basınç değerlerinde artan kireç miktarına bağlı olarak % 200 - % 1000 arasında artışlar olduğunu saptamışlardır.

Literatürde killi zeminlerin kireç stabilizasyonu ile dayanımının arttığını belirlemiş olan birçok araştırmacı olmasına rağmen deniz killerinin kireçle stabilize edilmesi sonucunda ortaya çıkan değişikleri inceleyen pek fazla araştırmacıya rastlanmamaktadır (Choquette ve diğ., 1987). Deniz killerinin iyileştirilmesinde de kireç stabilizasyonunun diğer iyileştirme yöntemlerinden daha etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Rajasekaran ve Narasimha Rao, 1996).

Biyolojik, kimyasal ve fiziksel olarak inceleme yapıldığında deniz içindeki tortulların rüzgarla, nehirlerle, buzulların erimesiyle veya biyolojik olarak oluştuğu

gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, deniz kili zayıftır ve deniz killerinin karakteristik özellikleri fizyo-kimyasal yöntemlerle iyileştirilebilmektedir (Silva, 1974; Rajasekaran ve diğ., 1999).

Bu araştırmanın kapsamında deniz killerinin fizyo-kimyasal bir yöntem olan kireç stabilizasyonuyla iyileştirilmesi; zemindeki dayanımın ve sıkılığın artış oranları laboratuar ve kimyasal analiz olmak üzere iki aşamada incelenmiştir. İlk aşamada laboratuar çalışmaları yapılarak deniz kilinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise deniz kilinin kimyasal, XRD (x-ışını difraksiyon spektroskopisi) ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizleri yapılarak mineralojik olarak özellikleri belirlenmiştir.

2. KİLLER VE MİNEROLOJİSİ

2.1. Kil Mineralleri

Kil minerallerinin yapısıyla ilgili çalışmalar Pauling (1930) tarafından yapılan incelemelere dayanır.

Toprağın Ø<0,002 mm olan bölümü kil bölümü olarak kabul edilir. Kil mineralleri, silikatların ayrışması sonucunda sekonder olarak oluşmuş hidroksilli aluminosilikatlardır. Kil mineralleri, alçak basınç ve düşük sıcaklıkta oluştukları için pulcuklar halindedirler. Yapıları tabakalı ve yaprakçıklıdır. Yaprakçıklı yapıdan dolayı kil mineralleri su alınca şişerler ve yaprakçıklar birbirinden belirli bir mesafeye kadar uzaklaşır; böylece kil minerallerinin iç yüzeyleri de artmış olur.

Jeolojide kimyasal bileşimi sulu alüminyum silis olan tane boyutu çok küçük ve plastik özelliklere sahip doğal bir malzeme olarak tanımlanmakta olan kil mühendislikte; ana kimyasal bileşimi yine sulu alüminyum silis ve diğer bazı elementlerden oluşan plastik ve kohezif özelliğine sahip, kuruduğu zaman büzülen, ıslandığı zaman şişen ve sıkıştırıldığında suyunu dışarıya atabilen ince dokulu toprak malzeme olarak tanımlanmaktadır.

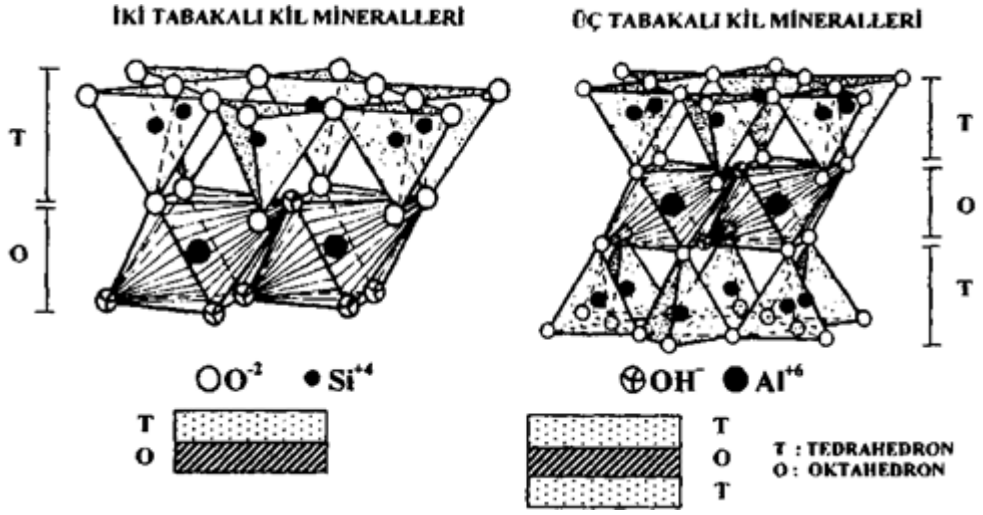
XRD, kimyasal analiz teknikleri, SEM, optik metotlar ve ısıl analizler birleştirilerek kil minerallerinin yapısı aydınlatılmıştır (Brown ve Brindley, 1980).

2.2. Kil Minerallerinin Kristal Yapısı

Kil mineralleri yaprakçıklı bir yapıya sahiptirler. Yaprakçıkların her biri iki, üç veya dört tetrahedron ve oktahedrondan meydana gelmişlerdir.

Tetrahedronlar; bir silisyum katyonu etrafında yer almış dört oksijen anyonundan, oktahedronlar; bir alüminyum katyonunun etrafında yeralmış altı oksijen anyonundan oluşurlar.

Tetrahedronlar ve oktahedronların üst üste gelip aralarındaki oksijen köprüleri ile birbirlerine bağlanmaları sonucunda tabakalı bir yaprakçık meydana gelir. Yaprakçıkların üst üste gelmesi ile kil mineralleri oluşur. Şekil 2.1' de kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı (Irmak, 1972)

2.3. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

Kil mineralleri kristal yapılarına ve mineralojik bileşimlerine göre sınıflandırılırlar. Kil minerallerinin kristal yapıları; yaprakçıkların kalınlığını, su alıp şişme yeteneklerini, katyonların izomorf yer değiştirebilme durumunu da etkiler. Kil minerallerinin kimyasal bileşimi oluşturdukları anamateryalin mineralojik bileşimine bağlı olarak değişiklik gösterirler. Kil minerallerinin kimyasal yapısındaki elementler ve bunların oksitlerinin oranları, farklı kil mineralleri arasında belirgin bir ayrımın yapılamayacağını göstermektedir. Kil minerallerinin ağırlıklarına göre kimyasal bileşimleri Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Kil minerallerinin (ağırlığa göre) kimyasal bileşimi (%) (Scheffer ve Schachtschabel, 1970)

Kil mineralleri	SiO2	Al2O3	FeO3	TiO2	CaO	MgO	K2O	Na2O
Kaolinit	45-48	38-40	-	-	-	-	-	-
Montmorillonit Nontronit	42-55	0-28	0-30	0-0.5	0-3	0-2.5	0-0.5	0-3
İllit	50-56	18-31	2-5	0-0.8	0-2	1-4	4-7	0-1
Vermikulit	33-37	7-18	3-12	0-0.6	0-2	20-28	0-2	0-0.4
Klorit	22-35	12-24	0-15		0-2	12-34	0-1	0-1

Bu nedenle kil minerallerinin sınıflandırılmasında kristal yapısı (tabakaların dizilişi ve düzeni) temel alınarak sınıflandırma yapılmıştır.

İki tabakalı kil minerallerinin esas kalınlığı 7.2 Å olup bunlardan kaolinit su alınca şişmez, halloysit su alınca 10.1 Å 'a kadar şişer. Üç tabakalı kil minerallerinin esas kalınlığı 10 Å olup su aldıklarında kil mineralinin cinsine göre 14-18 Å 'a kadar şişerler. Dört tabakalı kil minerallerinin ise esas kalınlığı 14 Å olup bunlar su alıp şişmezler. Kil minerallerinin sınıflandırılması Tablo 2.2' de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Kil minerallerinin sınıflandırılması (Scheffer ve Schachtschabel, 1970)

Tabaka sayısı	Yaprakçık kalınlığı	Kil minerallerinin adı	İzomorf yer değiştirme	Şişme	Ortahedral tabakanın katyonları	Tetrahedral tabakanın katyonları	Oksijen, hidroksil veya su grubu	İç ve dış yüzeyde tutulan katyonlar	Katyon değişim kapasitesi
2 1:1 Si:Al	7,2 Å	Kaolinit Halloysit Serpantin	Yok Yok Yok	Yok 10,1 Å Yok	Al Al Mg	Si Si Si	O3(OH)4 O3(OH)4.2H2O		3-15 5-10
3 2:1 Si:Al:Si	10 Å	Mika	Yok	Yok					
		Glaokonit	Yok	Yok	Al 0,35	Si 3,65	O10(OH)2	K	
		İllit	Var	10-15-20 Å	Fe^{-3} 0,20 Al 1,55	Si 3,50 Al 0,50	O10(OH)2.yH2O	K 0,58 Diğer 0,17	20-50
		Vermiküllit	Var	15 Å	Mg 2,61 Fe^{-3} 0,10	Si 2,95 Al 1,05	O10(OH)2.yH2O	Diğer 0,66	100-200
		Montmorillonit	Var	15-20 Å	Al 1,50 Mg 0,63	Si 3,91 Al 0,09	O10(OH)2.yH2O	Diğer 0,33	80-120
		Pirofillit	Yok	Yok	Al2	Si4	O10(OH)2		
		Talk	Yok	Yok	Mg3	Si4	O10(OH)2		
4 2:2 Si:Al	14 Å	Klorit	Yok	Yok	Mg 4,65 Fe^{-3} 0,40	Si 3,20 Al 0,80			
Amorf		Alofan			SiO2 / Al2O3				$\leq$ 100

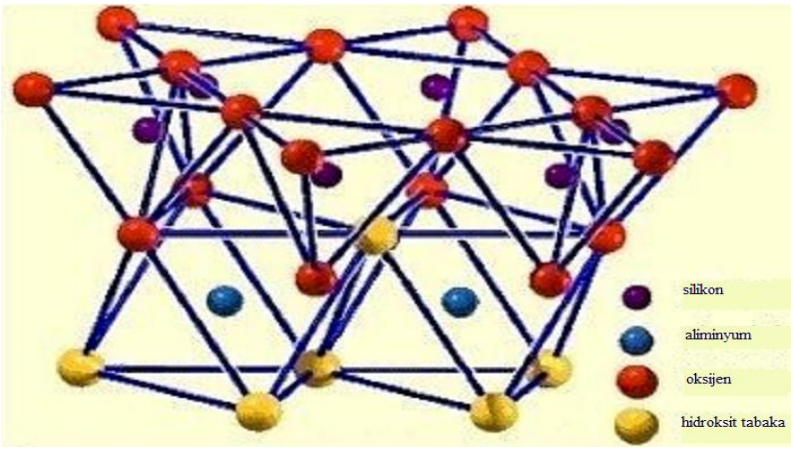
2.4. Topraktaki Önemli Kil Mineralleri

2.4.1. İki tabakalı kil mineralleri

İki tabakalı kil minerallerinin yaprakçıkları bir tetrahedron bir de oktahedron tabakasının oksijen köprüleri ile birbirine bağlanması sonucunda meydana gelmişlerdir. Bunların arasında en yaygın olarak bulunanlar kaolinit ve halloysiftir. İki tabakalı mineraller 1:1 veya Si: Al (tetrahedrodaki silisyumdan dolayı Si, oktahedrondaki alüminyumdan dolayı Al ile belirtilerek) olarak gösterilir.

2.4.1.1. Kaolinit

Kaolinitin iki tabakalı olan yaprakçıklarının tetrahedronların bulunduğu yüzeyi oksijen tabakası, oktahedronların bulunduğu yüzeyi hidroksit tabakası ile kaplıdır. Üst üste gelen yaprakçıkların alt yüzeyindeki hidroksit tabakası birbirini elektriksel olarak çeker. Kaolinit, iç ve dış yüzeyi su alma ile değişmediği gibi değiştirilebilir katyonları da negatif elektriksel güç ile pek az bağlayabilir. Kaolinit ihtiva eden zeminler ıslandıkları vakit suyu emmedikleri için cıvıklaşırlar. Katyon değişim kapasiteleri de düşük olur. Ancak bol organik madde ile iyileştirilebilirler. Bu nedenlerle kaolinitli zeminler sorun çıkaran zeminler olarak kabul edilirler. Şekil 2.2' de kaolinit grubu kil minerallerinin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Kaolinit grubu kil minerallerinin yapısı

2.4.1.2. Halloysit

Halloysit de kaolinit gibi bir tetrahedron, bir oktahedron tabakasının üst üste gelmesi ile teşekkül etmiştir. Ancak kaolinitin aksine silikat tabakaları arasında su molekülleri yer almıştır. Halloysit su alıp şişebildiği için toprakta suyun tutulmasında faydalı olmaktadır.

2.4.2. Üç tabakalı kil mineralleri

Üç tabakalı kil minerallerinin yaprakçıkları bir oktahedron tabakasının altına ve üstüne iki tetrahedron tabakasının birleşmesi sonucunda oluşmuşlardır. Daha önce de belirtildiği gibi tetrahedronların dış yüzleri oksijen tabakası ile kaplı olduğundan yaprakçıklar arasında bu iki oksijen tabakasını bağlayacak bir katyon bulunmamaktadır. Bu nedenle 3 tabakalı kil mineralleri su aldıklarında yaprakçıklar birbirinden uzaklaşırlar. Bu olay su alan kil minerallerinin şişmesi olarak tanımlanır. Yaprakçıklar arasındaki açıklığa katyonlar girerek yerleşirler ve iki yandaki negatif elektrik yüklerine sahip oksijen tabakaları arasında elektriksel bağ ile tutulurlar. Ancak bu katyonlar daha aktif bir katyon ile yer değiştirebilirler. Üç tabakalı kil mineralleri 1:1:1 veya Si: Al: Si (tetrahedron Si, oktahedron Al, tetrahedron Si) olarak gösterilirler. Üç tabakalı kil mineralleri arasında toprak özellikleri bakımından önemli olanlar illit, vermikulit ve montmorillonit'tir.

2.4.2.1. İllit

İllit mineralleri mikaların pulcukların aralanması ve bu aralıkların su alıp şişebilir bir duruma gelmesi ile teşekkül eder. Mika pullarının aralanması önce kenarlardan su alarak başlayıp iç kesime doğru gelişir. Bu olay mika pullarının ve özellikle potasyumun hidratlanması olayıdır.

Potasyum katyonlarının hidratlanması sonucunda mika pulcukları birbirinden ayrılır. Bu arada hidratlanan K+ katyonu da hidronyum tarafından yaprakçıklar arasından dışarıya alınır. Böylece yaprakçıkların arası daha da açılır ve giderek mika illit'e dönüşmüş olur.

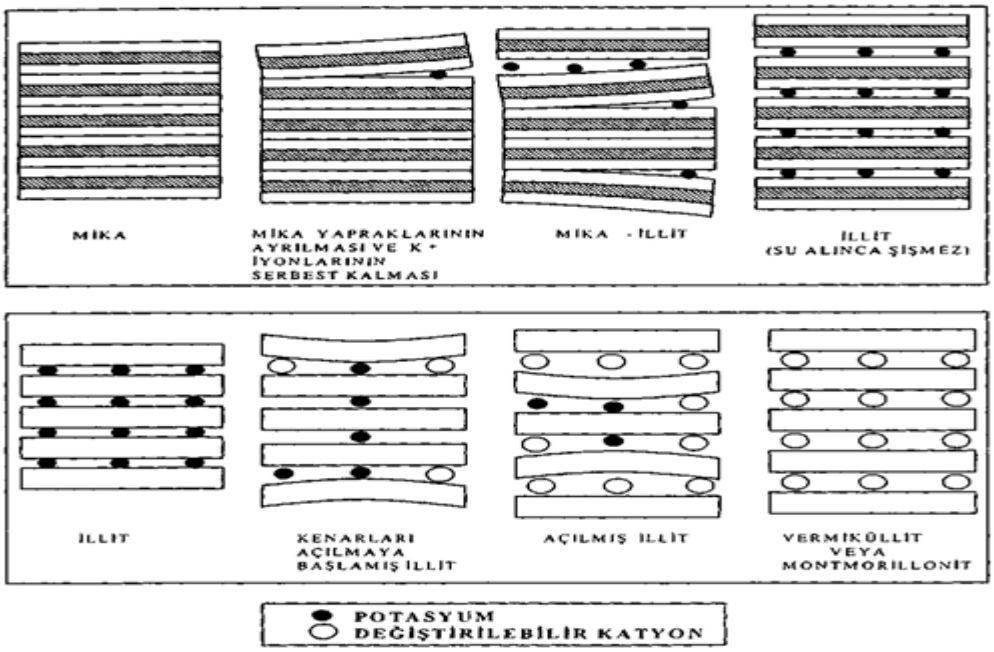
Bu nedenle illit ile mika arasında birçok ara safhası bulunur. İllitler daha küçük tane çapında oluşları (0 < 0.002 mm), pek az kristalleşmiş olmaları, daha az potasyum, fakat daha fazla kristal suyu ihtiva etmeleri ile mikalardan ayırt edilirler. Buna karşılık diğer kil minerallerinden daha fazla potasyum ihtiva ettikleri ve mikalarla aralarında birçok geçiş safhası bulunduğu için İllitler mikamsı kil mineralleri olarak tanınırlar. İllitlerin kimyasal bileşimi oluştukları mikalara bağlı olarak değişir. Bir kısım İllitlerin mikaların hidratlanması ile gelişmesi, bir kısmının toprak oluşumu sırasında silikatların ayrışması olayının sonucunda oluşmaları ve bir kısım İllitlerin de denizel tortulların ayrışması ve yeniden oluşum sürecinden sonra oluşmaları, illitlerin kimyasal bileşimlerinin birbirinden epeyce farklı olmasına sebep olarak gösterilir.

2.4.2.2. Vermiküllitler

Vermiküllit biotit' ten gelişmiş olan illitin fazla miktarda K+ kaybetmesi ve yaprakçıkları arasında K+ yerine Mg++ katyonlarının girmesi ile gelişir. Şişme potansiyeli çok yüksek olan kil minerali türleridir.

2.4.2.3. Montmorillonit

Montmorillonit mineralleri illit ve vermikullite benzeyen bir kristal yapısına sahiptirler. Montmorillonitlerde su alıp şişme ve yaprakçıkların birbirinden uzaklaşması olayı mineralin duyurulduğu katyona önemle bağlıdır. Ortamda daha fazla sodyumun bulunması montmorillonitin yaprakçıkların birbirinden bir daha bir araya gelemeyecek kadar uzaklaşmalarına sebep olur. Montmorillonitlerde vermiküllitler gibi şişme potansiyeli çok yüksek olan kil minerali türleridir.



Şekil 2.3: Mikanın illite, illitten vermiküllit ve montmorillonite dönüşmesi (Kantarcı, 2000)

2.4.3. Dört tabakalı kil mineralleri

Dört tabakalı kil mineralleri tetrahedron ve oktahedron tabakalarının tet/okt/tet/okt olarak üst üste sıralanması ile teşekkül ederler. Bu tip bir tabakalanma ile oluşan yaprakçıkların alt yüzünde tetrahedronlara ait oksijen tabakası, üst yüzünde de oktahedronlara ait hidroksilli tabaka bulunur. Yaprakçıkların üst üste dizilmesi sonucunda bir yaprakçığın oksijen tabakası ile diğer yaprakçığın hidroksilli tabakası karşı karşıya gelmiş olur. İki oksijen tabakası arasında kalan ve hidroksil iyonlarına ait olan H+ katyonlar yaprakçıkların birbirine kuvvetle bağlanmalarına sebep olur. Dört tabakalı kil mineralleri 1:1:1:1 veya 2:2 veya Si: Al: Si:Al şeklinde gösterilirler. Dört tabakalı kil minerallerini klorit temsil etmektedir.

2.4.3.1. Klorit

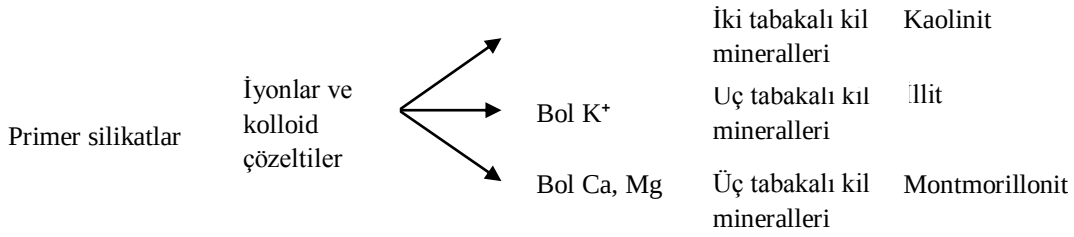
Klorit bir magnezyum silikat olup klorit şistlerinde (başkalaşım kayalarından) bulunur. Kloritlerin yaprakçıkları 4 tabakalı yapıda olduğundan su alıp şişmezler. Su alıp şişmedikleri için iç yüzey genişleyemez ve katyon değişiminde kullanılamaz.

2.5. Kil Minerallerinin Oluşumu

Kil mineralleri erüptif kayalardaki silikat minerallerinin ayrışma ürünlerinden, tabakalı silikat minerallerinin (mikaların) hidratlanması ve yaprakçıklarının aralanmasından sekonder olarak oluşurlar. Kil minerallerinin oluşumunda temel prensip; aynı mineralden farklı iklim ve ortam (pH ve katyonlar) şartlan altında farklı kil mineralleri oluşabildiği gibi, farklı minerallerden aynı iklim ve ortam şartlarında aynı kil mineralleri de oluşabilmesidir. O halde kil minerallerinin oluşumu, oluştukları mineralin özelliklerine bağlı olduğu kadar iklim, pH ve ortamdaki katyonlara da bağlıdır.

2.5.1. Silikatların ayrışma ürünlerinden kil minerallerinin oluşumu

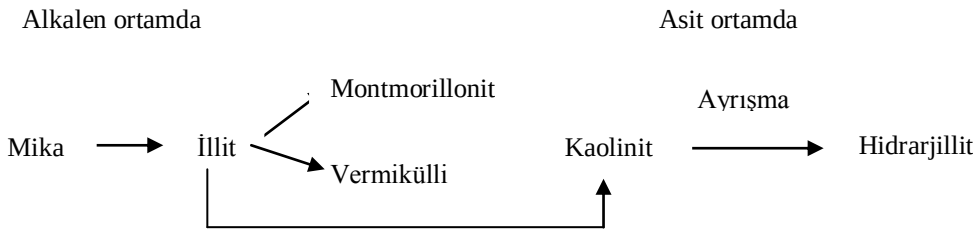
Silikatların ayrışması sonucunda kil minerallerinin oluşumu olayı Şekil 2.4' deki gibi şematik olarak gösterilir.



Şekil 2.4: Yaprakçıksız silikat minerallerinin ayrışma ürünlerinden kil minerallerinin teşekkülü ve oluşum ortamının reaksiyonu ile ilişkisi (Irmak, 1972)

2.5.2. Tabakalı silikatların aralanması ile kil minerallerinin oluşumu

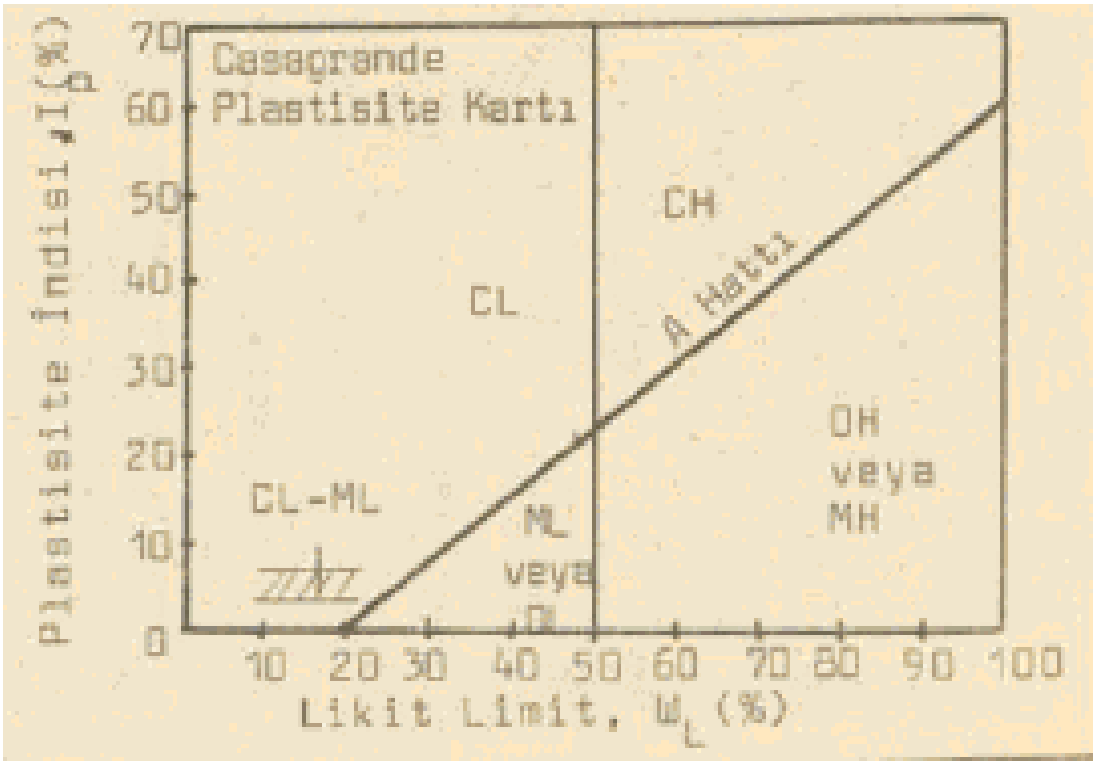
Tabakalı silikatların aralanması ile kil minerallerinin oluşumu olayı Şekil 2.5' de gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Yaprakçıklı silikat minerallerinin aralanması ile kil minerallerinin teşekkülü ve ortamın reaksiyonu ile ilişkisi (Irmak, 1972)

2.6. Kil Minerallerinin Tayini

Kil minerallerinin tayini Casagrande tarafından yapılabilmektedir. A hattının üzerinde ve U hattı civarında yer alan killer aktif killerdir. CL grubu killer U hattı civarında olduğundan ve montmorillonit mineralleri içerdiğinden dolayı az veya çok şişebilir. Kaolinit kısmen aktif olmayan mineral olduğundan dolayı A hattının altında ama aktif olan illit mineralleri A hattının üstünde yer alır. ML ve MH grubu killer zaten aktif olmayan veya aktiviteleri çok az olan siltlerdir. (Tunç, 2002) Başlıca kil minerallerinin plastisite diyagramındaki yeri Şekil 2.6' da gösterilmektedir.



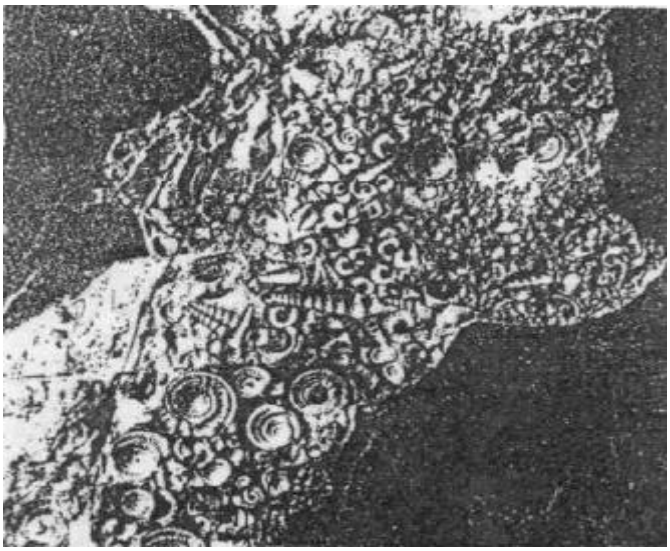
Şekil 2.6: Başlıca kil minerallerinin plastisite diyagramındaki yeri (Tunç, 2002)

3. KİREÇ

3.1. Kireçtaşı, Sönmemiş ve Sönmüş Kireç

Kireçtaşı, sönmemiş kireç ve sönmüş kireçten oluşan ürün grubuna "kireç ürünleri" adı verilmektedir.

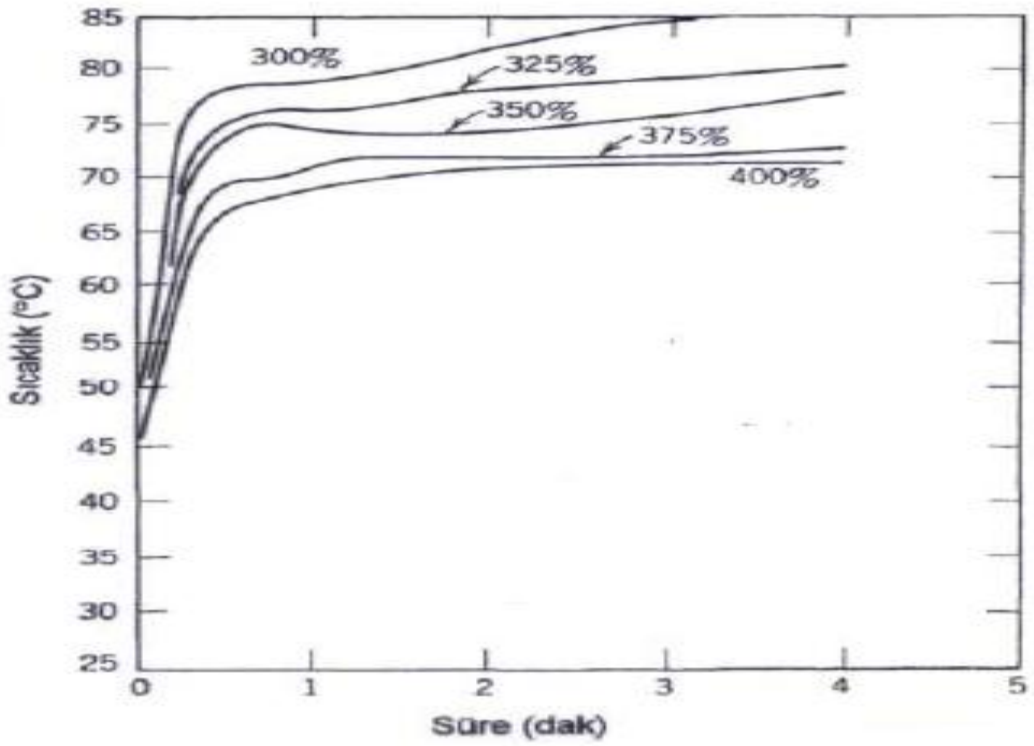
Kireçtaşı; karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($CaCO_3/MgCO_3$) kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir.



Şekil 3.1: Kireçtaşının organik oluşumu

Sönmemiş Kireç (CaO); kireçtaşının fırınlarda yakılmasıyla elde edilir. Bu olaya kalsinasyon denilir.

$$CaCO_3 + ISI\ (900\text{-}1000^{\circ}C) \rightarrow CaO + CO_2 \qquad (3.1)$$



Şekil 3.2: Sönmemiş kireçte hidratasyon hızının su miktarıyla değişimi (Lokman, 2001)

Sönmüş Kireç [$Ca(OH)_2$]; sönmemiş kirecin suyla reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Sönmemiş kirecin üzerine az miktarda su dökülünce bir süre sonra kireç parçasında kabarma, çatlama, dağılma ve aynı zamanda sıcaklık artışı ve buharlaşma görülür. Bu olaya hidratasyon denilir (www.haro-consulting.com/quicklime/index.html).

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + ISI \qquad (3.2)$$

Bu reaksiyonun gerçekleşebilmesi için kirecin ağırlığının 1/3'ü kadar suya ihtiyaç vardır. Reaksiyon sonunda elde edilen $Ca(OH)_2$ sönmüş kireçtir.

3.2. Kireç Kullanımının Avantajları

- Birçok kimyasal prosesin (nötralizasyon, absorpsiyon, kostikleştirme gibi) ana girdisi olması,

- Kimyasallarla çabuk reaksiyona girerek istenmeyen maddeleri bünyeden uzaklaştırması,

- Pahalı kimyasalların geri kazanılmasındaki rolü,

- Organik canlılar için besi maddesi olması,

- Ucuzluğu ve kolay bulunması gibi nedenler, bu malzemenin yaygın biçimde kullanılmasında önemli rol oynamıştır.

3.3. Kireç Kullanım Alanları

- Portland çimento ve beton yapımında hammadde komponenti,

- İnşaat harç ve sıvalarında bağlayıcı,

- Demir-çelik endüstrisinde safsızlaştırıcı,

- Gaz beton endüstrisinde bağlayıcı,

- Çevre denetiminde arıtma kimyasalı,

- Asitli toprakların rehabilitasyonunda pH dengeleyicisi,

- Çeşitli kimyasal maddelerin elde edilmesinde ara reaksiyon kimyasalı veya nihai ürün komponenti,

- Yol zemin inşaatlarında stabilizatör ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanlarda kullanılır.

3.4. Kirecin İnşaat ve Yapılardaki Kullanımı

Birçok ülkede kireçtaşının ana kullanım sahası %40-70 oranıyla inşaat ve yapı sektörüdür.
Kireçtaşı bu sektörde beton harcında agrega (=mıcır) olarak ve yol yapımında agrega/dolgu maddesi olarak kullanılır.

Bu amaçla kullanılacak olan kireçtaşı; temiz, kuru, kübik formda, yüksek aşınma mukavemetine ve sertliğe sahip olmalıdır. Daha ince (75 mikron-5 mm) gradyasyonlu bazı kireçtaşı (kalker) kumları ise, beton ve inşaat harcına katılır.

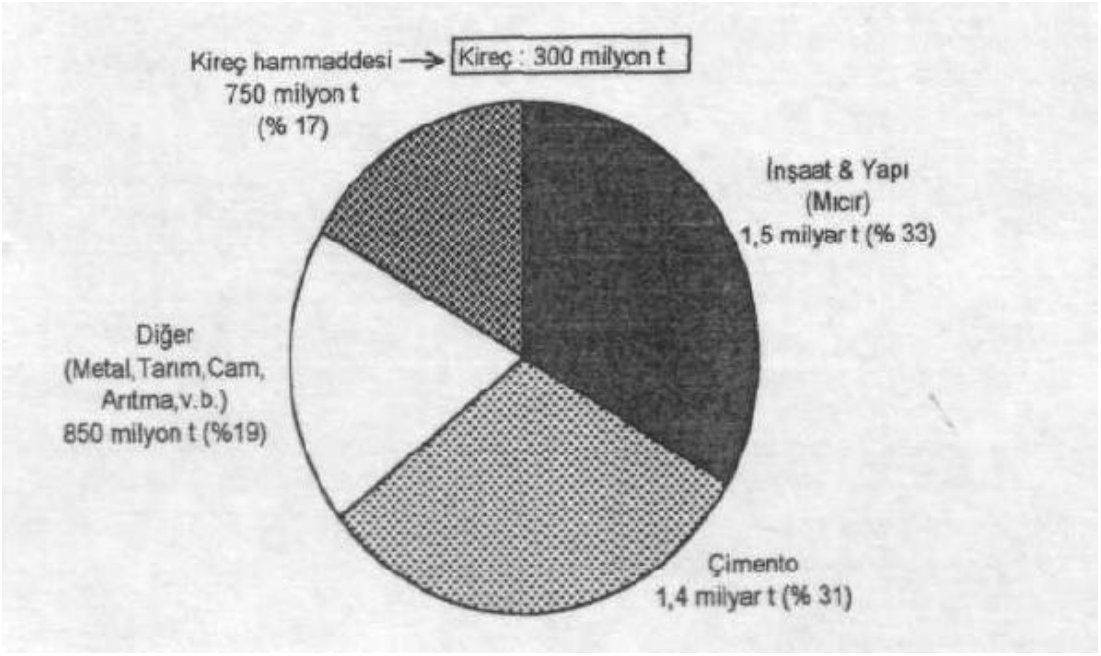
Karayolunda ulaşım ve güvenliğin sağlanması, yol üst yapısında kullanılan malzeme ve yapım tekniği kadar zeminin stabilizesiyle de doğrudan ilgilidir. Yol üst yapısının temeli olan zemin, kaplamanın ve trafik yüklerinin yarattığı gerilmelere emniyetle karşı koyabilmelidir. Çevre ve iklim koşulları, zeminin özelliklerini değiştirmemeli, taşıma gücünde azalmalar ve ilave gerilmeler oluşmamalıdır. Bunlar, kaplamada olumsuz etkiler yaratmamalıdır. Bu niteliklerin korunması halinde karayollarından hem en ekonomik hem de en emniyetli bir şekilde yararlanılması mümkündür.

Ulaşım yapılarının çok önemli bir yapı malzemesi olan zemine ait niteliklerin nasıl arttırılabileceği sorusunun yanıtını bugün bilimsel gelişmeler veriyor. Zemin kaplamaları ve bunların özellikleri geoteknik araştırmalar sonunda belirlenerek potansiyel problemler ve riskler saptanıyor, çözüm önerileri geliştiriliyor. Zeminin uygun olmaması halinde değişik yöntemler uygulanabiliyor.

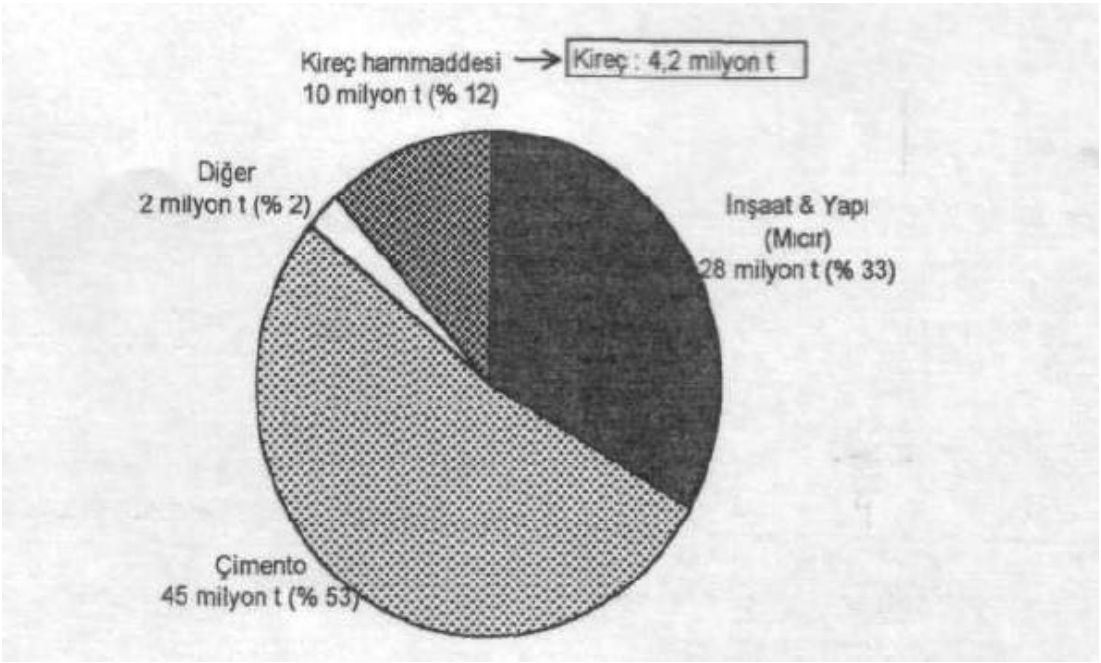
Bunlardan ilki; uygun olmayan zeminin atılması, yerine uygun bir zemin konmasıdır. Bu yeni bir malzeme ocağının bulunması, hafriyat yapılması ve nakliye gibi külfet zaman kaybı ve büyük maliyet getirebilir.

İkinci yol ise zeminin olduğu gibi kabul edilmesidir. Zeminin olduğu gibi kabul edilmesi, zayıf yönler göz önüne alınarak yapılan yapının büyüklüğü ekonomik olmayacağı gibi uzun dönemde zeminin olumsuz etkileri bakım ve onarım gerektirebilir.

Son olarak, uygun olmayan zeminin çeşitli stabilizasyon teknikleriyle iyileştirilerek kullanılmasını üçüncü yol olarak söyleyebilir. Kimyasal stabilizasyon metotlarının en gelişmişi ve en ekonomiği olan kireç, stabilize malzemelerinin kil oranları yüksek olduğunda iyi sonuç vermektedir. Şekil 3.3’ de Dünya’ da kireçtaşı tüketimi ve Şekil 3.4’ te Türkiye’ de kireçtaşı tüketimi kullanım oranları gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Dünya' da kireçtaşı tüketimi (Lokman, 2001)



Şekil 3.4: Türkiye' de kireçtaşı tüketimi (Lokman, 2001)

4. KİREÇ STABİLİZASYONU

Kirecin kullanılması, killi zeminlerin mühendislik davranışının geliştirilmesi açısından çok eski bir yöntemdir. Kireç stabilizasyonunun karayolu ve havaalanı kaplamaları gibi alanlarda kullanılmasının kanıtlanmış bir yöntem olmasından dolayı bu teknik şu anda killi zeminlerin mukavemetini arttırmada kullanılmaktadır. Kireç stabilizasyonu genellikle killi zeminlere uygulanan bir metottur (Tunç, 2002). Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi, zemin-kireç stabilizasyonlarıyla bağlantılıdır (Clare ve Cruchley, 1957; Ormsby ve Kinter, 1973; Local ve diğ., 1990).

Kireç stabilizasyonuyla ilgili; Thompson (1969); Stocker (1972); Miitchell (1986); Little ve diğ. (1987); Broderick ve diğ. (1990); Kavak (1996); Rajasekaran ve Narasimha Rao (2000); Rogers ve Glendinning (2000) birçok çalışma yapmış ve literatürde yer almışlardır.

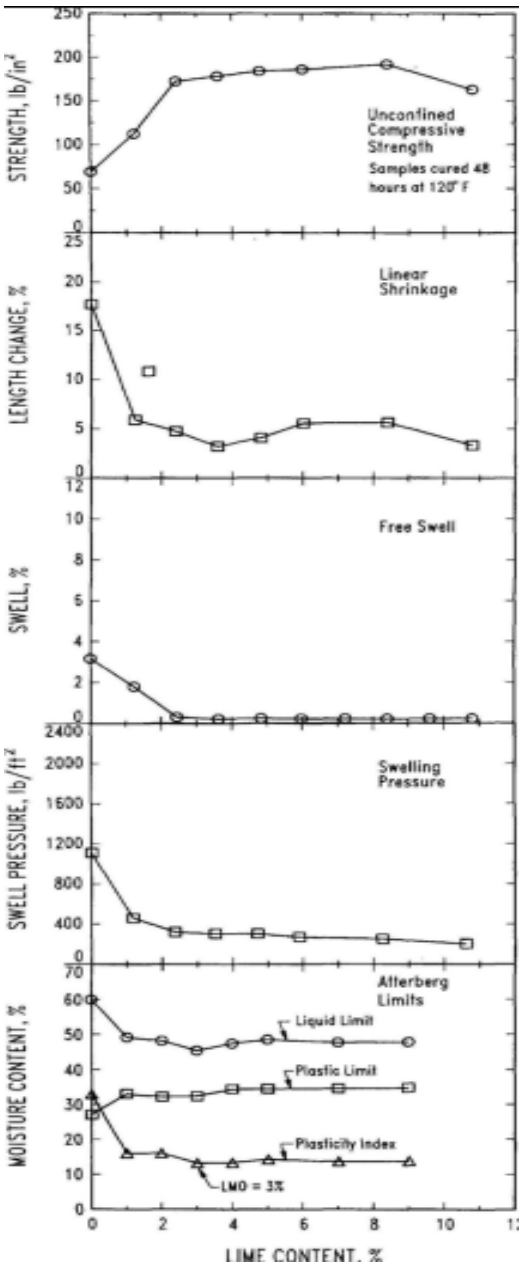
Kireç stabilizasyonu, zemine yeterli ölçüde kireç ilave edildiği zaman oluşur. Tablo 4.1' de kireç karışım oranları gösterilmiştir (Ingles ve Metcalf, 1972).

Tablo 4.1: Ingles ve Metcalf (1972) tarafından önerilen kireç karışım oranları

Zemin cinsi	Modifiye için (%)	Stabilizasyon için (%)
İnce çatlaklı kaya	2 ~ 3	önerilmez
İyi derecelenmiş killi çakıl	1 ~ 3	~ 3
Kumlar	önerilmez	önerilmez
Kumlu killer	önerilmez	~ 5
Siltli killer	1 ~ 3	2 ~ 4
Plastik killer	1 ~ 3	3 ~ 8
Yüksek plastisiteli killer	1 ~ 3	3 ~ 10
Organik zeminler	önerilmez	önerilmez

Bell (1996), zeminin en yüksek dayanımı sağlaması için eklenecek kireç oranının zeminin kuru ağırlığının % 1' i ile % 3' ü arasında olması gerektiğini, daha fazla kireç karıştırıldığında plastik limitte herhangi bir değişimin olmadığını fakat dayanımın ve mukavemetin zaman içerisinde büyük oranda arttığını belirtmiştir.

Başka çalışmalara bakıldığında, kireç kullanımı için en verimli aralığın % 2 ile % 8 olduğunu görülmektedir. Ağırlıkça küçük oranlarda eklenen kirecin (% 2 – 8) önemli ölçüde; likit limiti, plastisite indisini, maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve şişmeyi düşürdüğünü ve plastik limiti, optimum su muhtevasını ve zeminin mukavemetini yükselttiğini belirlemişlerdir (Croft, 1967; Abduljauwad, 1995; Basma ve diğ., 1998).



Şekil 4.1: Killi bir zeminde kireç stabilizasyonu sonucu meydana gelen geoteknik değişimler (Rollings ve Rollings, 1996)

4.1. Kireç Stabilizasyonunda Kullanılan Kireç Türleri ve Özellikleri

Stabilizasyonda en yüksek ölçüde kullanılan kireç ürünleri; hidratlı yüksek kalsiyum kireci [$Ca(OH)_2MgO$], kalsitli sönmemiş kireç (CaO), ve sönmemiş kireç (CaOMgO)' dur. Sönmemiş kireç, zemin stabilizasyonunda geniş ölçüde kullanılmaktadır. Hidratlı kireç, ince bir toz şeklindedir. Sönmemiş kireç, hidratlı kirece oranla daha granüler bir maddedir.

Stabilizasyonda kullanılan kireç ülkeden ülkeye değişmektedir. Avrupa' da sönmemiş kireç kullanımı daha yaygın olsa da, stabilizasyonda hidratlı kireç kullanılmaktadır; fakat sönmemiş kirecin kullanım oranı 1976' da % 15 iken 1987' de % 25' e ulaşmıştır (Rollings ve Rollings, 1999).
Hidratlı kireçte sönmemiş kireçte killerin fizyokimyasal davranışını iyileştirmede çok etkilidir (McCallister ve Tidwell, 1994).

4.2. Kireç Stabilizasyonu Mekanizması

Killi bir zemine kireç katılması sonucu çeşitli kimyasal reaksiyonlar oluşmaktadır. Bu reaksiyonların sonucunda katyon değişimi, topaklanma, çimentolaşma ve karbonatlaşma reaksiyonları meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlardan katyon değişimi, topaklaşma ve karbonatlaşma kille kirecin temas ettiği anda başlamaktadır. Çimentolaşma zaman içinde oluşmaktadır, uygun su muhtevasında ve sıcaklıkta yıllarca devam edebilmektedir. Katyon değişimi; kil minerallerinin yüzeyinde bulunan katyonlarla kirecin yüzeyinde bulunan katyonların birleşmesiyle oluşur, kil minerallerinin birbirlerine yakınlaşmasına yol açar. Topaklanma; bu reaksiyon sonucu ortaya çıkar (Sherwood, 1993). Kil parçacıkları birbirleriyle yumaklaşarak daha büyük boyutlu parçacıkları oluştururlar ve zemin kolay dağılabilir bir hal alır (Broderick ve diğ., 1990).

Zeminde meydana gelen bu değişimler üç ana kimyasal reaksiyon sonucunda ortaya çıkar;

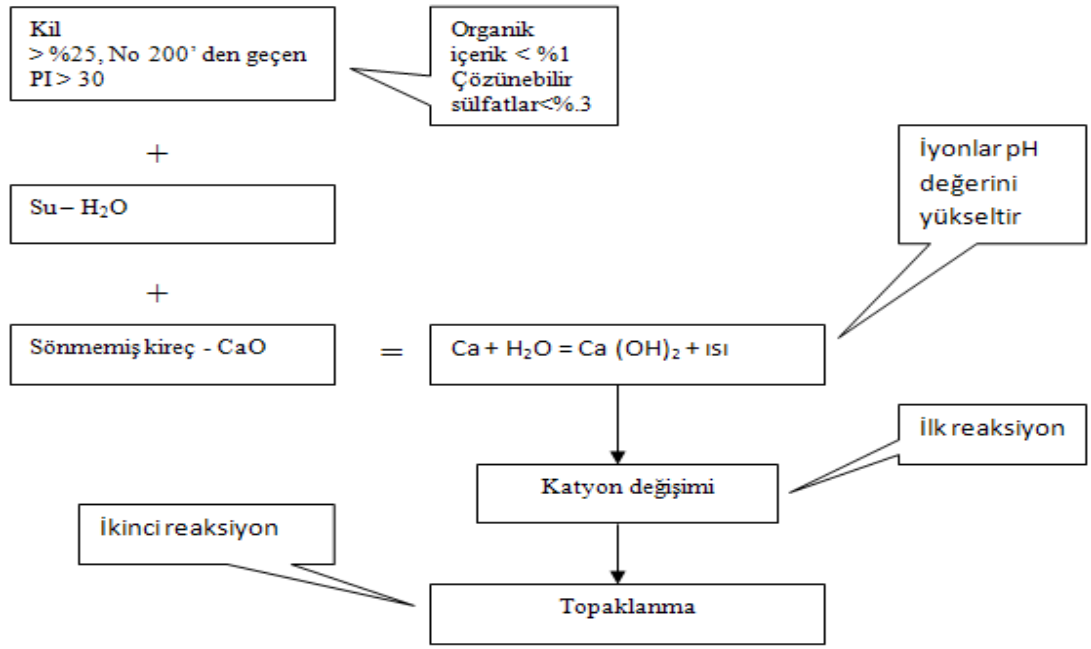
- Katyon değişimi ve topaklanma

- Çimentolaşma

- Karbonatlaşma

4.2.1. Katyon değişimi ve topaklanma

Kireçle iyileştirilen ince daneli zeminlerin hepsinde katyon değişimi ve topaklanma reaksiyonları görülür. Bu reaksiyonlar, kireçle zeminin temas ettiği anda başlar. Şekil 4.2' de katyon değişimi ve topaklaşma reaksiyonlarının oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Katyon değişimi ve topaklanma reaksiyonlarının oluşumu

Kil mineralleri içerisinde genel olarak bulunan katyonlar ve yer değiştirebilme özellikleri Grim (1953) tarafından $Na^{+} < K^{+} < Mg^{++} < Ca^{++}$ olarak sıralandırılmıştır. Yüksek değerli katyonlar düşük değerlilerle, büyük olan katyonlar ise daha küçükleriyle yer değiştirirler. Zeminle kirecin teması sonucunda kirecin içerisinde bulunan Ca++ iyonu, zemindeki zayıf katyonlarla yer değiştirir. Bu değişim sonucunda kil partikülleri birbirlerine yaklaşır ve topaklanma oluşur.

Katyon değişim işlemi; ince kil partiküllerinin kaba partiküllerle çimentolaşmasını içermektedir. Katyon değişimi, zeminin plastisite karakterindeki değişimlerin ana unsuru olması nedeniyle önemli bir reaksiyondur.

Kireç, katyon değişimi için gerekli olan miktardan daha fazla eklenirse, sadece yumak yapılı parçacıkları karıştıran ve ekstra mukavemet yaratan çimento bileşimleri içerir (Al-Rawas ve diğ., 2002).

4.2.2. Çimentolaşma

Çimentolaşma işlemi; kalsiyum-silikat ve kalsiyum-aluminat ya da kalsiyum-silikat-aluminat oluşturan kirecin içinde bulunan kalsiyum ve zeminde bulunan silis ve alumin arasındaki reaksiyonla gelişmektedir. Üretilen çimento bileşimleri, yüksek mukavemet ve düşük hacim değişimiyle karakterize edilir.

Zeminin kireç reaksiyonunda çimento bileşimlerini oluşturan mineraller pozzolan olarak değerlendirilir. Pozzolanların miktarı ve tipi, kireç ile reaksiyonunun miktarı zeminden zemine farklılık gösterir. Kireç, su, silis ve alümin arasında oluşan reaksiyonlar sonucunda pozzolanik reaksiyonlar oluşur. Bu reaksiyonlar sonucunda da kirecin zeminle reaksiyonunda silikat ve alüminat, kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat jelleri oluşur (Terrel ve diğ.,1979). Ana pozzolanik reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir.

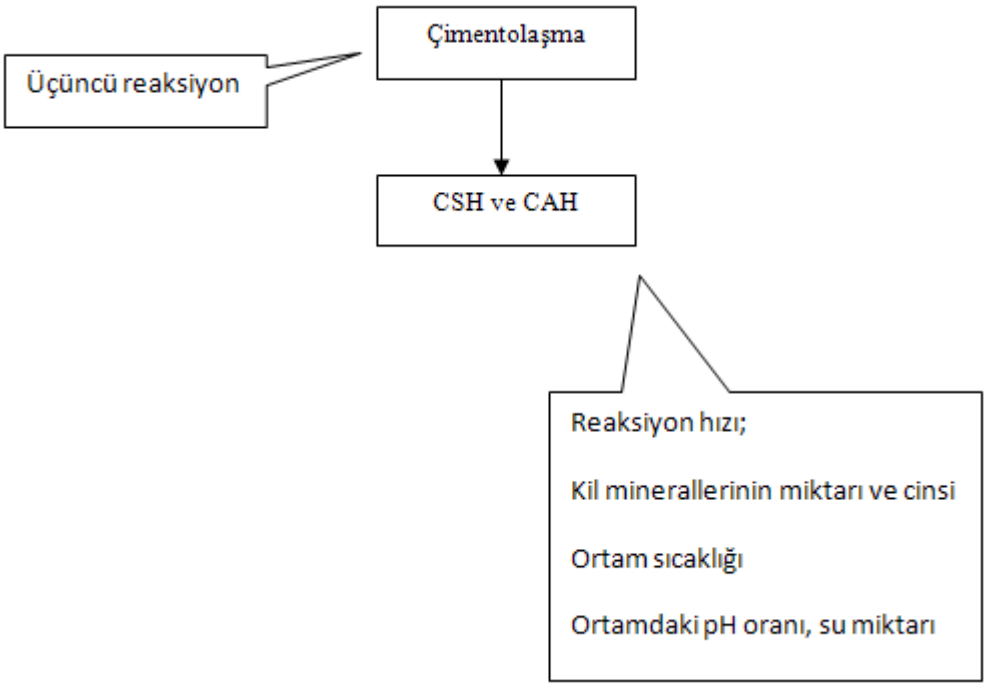
$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2\,(OH) - Ca^{++} + OH^- + SiO_2 \rightarrow CSH \qquad (4.1)$$

$$Ca^{++} + 2\,(OH) - Ca^{++} + OH^- + Al_2O_3 \rightarrow CSH \qquad (4.2)$$

Zeminin kireç ile reaksiyonunda istenilen miktarda pozzolanik bileşim olmadığı durumda, yeterli pozzolanik bileşimin oluşması için uçucu kül ilave edilebilir.

Zemine yeteri kadar kireç eklendiğinde zemin-kireç bileşiminin pH değeri yaklaşık olarak 12.4' e kadar çıkar. Doğal zeminler için bu kabul edilebilir bir değerdir. Silis ve alüminin çözünürlükleri 12.4' lük pH seviyesinde artar. Bundan dolayı, zeminde yeteri kadar su, kireçten sağlanan yeteri kadar kalsiyum bulunduğu ve çözünürlüğü sağlayan pH değeri yeteri kadar yüksek olduğu sürece pozzolanik reaksiyonlar

senelerce devam etmektedir (Little, 1987). Şekil 4.3' de pozzolanik reaksiyonlar sonucu zeminin yapısında meydana gelen değişim gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Pozzolanik reaksiyonlar sonucu zeminin yapısında meydana gelen değişim

Zemine kireç katıldığında meydana gelen çimentolaşma yavaş bir şekilde oluşur. Bu süre, portland çimentosunun hidratasyonu için ihtiyaç duyulan süreden daha uzundur. Çimentolaşma miktarı, zemindeki kil minerallerinin tipine ve sıcaklık koşullarına bağlıdır.

4.2.3. Karbonatlaşma

Kireçle zeminin birleşiminden meydana gelen reaksiyona havadan CO_2' nin etki etmesi sonucu karbonatlaşma oluşur. Kireçteki kalsiyum hidroksitin karbon dioksitle reaksiyonu sonucu kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) oluşur (Herin ve Mitchell, 1961).

4.3. Kireç Stabilizasyonu Sonucu Zeminin Geoteknik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler

Zeminde meydana gelen değişimler başlıklar altında toplanarak aşağıda belirtilmektedir.

4.3.1. Zeminde kısa dönemde meydana gelen değişimler

- Plastisite indisi değeri düşmekte,
- Plastik limit değeri artmakta,
- Optimum su muhtevası artmakta ve maksimum KBHA (kuru birim hacim ağırlık) değeri düşmekte,
- Proktor eğrisi düzleşmekte,
- CBR değerlerinde artışlar olmaktadır.

4.3.2. Zeminde uzun dönemde meydana gelen değişimler

- CBR değerleri daha da artmakta,
- Serbest basınç mukavemeti artmakta,
- Kayma mukavemeti artmakta,
- Şişme ve büzülmeye karşı stabilite artmakta,
- Don etkisine karşı direnç artmaktadır.

Kireç stabilizasyonu sonucu zeminde kısa dönemde optimum su muhtevası artmakta, proktor yoğunlukları düşmekte, plastik limit artmakta, likit limit düşmekte, proktor eğrisi düzleşmekte, CBR değerlerinde artışlar olmaktadır. Uzun dönemde ise, CBR değerleri daha da artmakta, serbest basınç ve kayma mukavemetleri ve çekme gerilmeleri artmakta, şişme ve büzülmeye karşı stabilite artmaktadır, don etkisine karşı stabilite artmakta, don etkisine karşı direnç artmaktadır (Kavak, 1996).

4.4. Kireçle Stabilize Edilen Zeminlerin Geoteknik Özelliklerindeki Değişimler

4.4.1. Plastisite indisi

İnce daneli zeminler kireç eklendiği andan itibaren fiziksel değişimlerin oluşmaya başladığı geniş ölçüde birçok araştırmacı tarafından kabul görmüştür. Zemine kireç ilave edildiği anda hemen hemen bütün plastisitesi yüksek zeminlerde, plastik limit artmakta ve plastisite indisi düşmektedir.

4.4.2. Optimum su muhtevası ve maksimum KBHA

Zemine ilave edilen kireç, optimum su muhtevasını arttırırken aynı zamanda maksimum KBHA değerini de düşürür (Croft, 1967; Abduljauwad, 1995; Basma ve diğ., 1998). Kireçli zemin saf zemine göre daha düşük bir yoğunlukta sıkışır.

4.4.3. Uzun ömürlülük

Eades ve Grim (1960) kirecin zemin içerisindeki sürekliliğini tespit edebilmek için saf killi zeminlere kireç ilave ederek deneyler yapmışlardır. Tespitlerine göre eğer stabilizasyon sadece katyon değişimi ve topaklanmaya bağlıysa, zeminden sızan su kalsiyumla yer değiştirebilir.

Kennedy (1988)' e göre zemin fiziksel olarak kalsiyum silika hidratla (CSH 1 ve 2) değiştirildiği zaman silikatlar zeminde kalıcı etki bırakmaktadırlar. Kireçle stabilizasyonunda, çevre koşulları etkisi altında zeminin özelliklerindeki bozulma da

sınırlı kalmaktadır. Bu dayanımın sağlanmasında ve uzun vadede reaksiyonların devam etmesinde kullanılan kireç miktarının önemi büyüktür.

Kireç kullanımın uzun ömürlü olup olmadığı konusundaki tartışmalara son noktayı Gutschick (1978) koymuştur. Kireçle killerin karışımları sonucunda kalsiyum ve aliminium silkatları oluşturmakta ve bu da iyileştirilen tabakaların su hareketlerine karşı dayanımlı olmasına neden olmaktadır.

4.4.4. Mukavemetteki değişimler

Yol inşaatında kireç stabilizasyonunun etkisini analiz edebilmek için Kelley (1977) tarafından kapsamlı bir arazi çalışması yapılmıştır. 1940' lı yıllarda ikinci dünya savaşında acele bir şekilde yapılmış olan 4. Ordu Komuta Merkezi' nin oturduğu zemine kireç stabilizasyonu yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin uygulanma nedeni, zeminin büyük kısmının plastisite indisi 12' den 50'ye değişen killerden oluşmasıdır. Kireç stabilizasyonu o dönemde çok yeni bir iyileştirme yöntemi olduğundan kullanılan kireç oranları rastgele 2% ile 8% arasında değişmiştir. Yapımından 25 yıl geçmesine rağmen kireç kullanılan tabakalara bakıldığında hiçbir bozulma veya göçmeye rastlanmamıştır. Kireçle iyileştirilmiş zeminlerin dayanımında doğal zemine oranla ciddi derecede artış gözlenmiştir.

1969' dan bu yana Soil Conservation Service, 50 baraj inşaatının zemin ıslahında kireci kullanmıştır (McElroy, 1982, 1987). Her baraj inşaatı için sönmemiş kireç % 3 oranında kullanılmıştır.

1973 yılında Dünya' nın en geniş alanlı kireç stabilizasyonu uygulanmıştır. (Dallas – Dördüncü Uluslar arası Havaalanı İnşaatı) Stabilizasyon için % 6 oranında kireç uygulanmıştır. Temel betonunun dökümünden 75 gün öncesinde temelde 45 cm' lik, anayollarda 22.5 cm' lik kireç uygulaması yapılmıştır. İnşaatın yapımından 15 yıl sonrasında analizler yapıldığında dayanımın günden güne arttığını ve bu süreç içerisinde herhangi bir bakıma ihtiyaç duyulmadığı gözlemlenmiştir (Long, 1989).

Eades ve Grim (1966) yaptıkları çalışmalarda, farklı oranlarda kireç katılan 6 adet kür edilmiş serbest basınç numunesi üzerinde ölçümler yapmış ve serbest basınç değerlerinde artan kireç miktarına bağlı olarak % 200-% 1000 arasında artışlar olduğunu saptamışlardır.

Thompson (1969), kireçle iyileştirilmiş zeminler üzerinde basınç testleri yapmıştır. Sonuçları doğal zeminle kıyasladığında mukavemetlerinde artışlar gözlemlemiştir.
Biswas (1972), Teksas' dan alınan numuneler üzerinde değişik zamanlarda ve değişik kireç oranlarında dayanım testleri uygulamıştır. Sonuçları doğal zeminle kıyasladığında mukavemetlerin Thompson' ın çalışmalarında olduğu gibi arttığını gözlemlemiştir.

Hava koşulları killi zeminlerin stabilitesinde uzun dönemde farklılıklar meydana getirir. Yong ve Warkentin (1975) kireçle iyileştirilmiş killi zeminlerden alınmış numuneleri 69 günlük üç eksenli deneye tabi tutmuşlar ve birçok kimyasal değişiklik gözlemlemişlerdir. Numuneler üzerinde gerilme, drenajlı akma testleri uygulamışlardır. Sonuçlara bakıldığında numunelerin dayanımında ve sıkılığında ciddi oranda artışlar gözlemlenmiştir.

Kireç stabilizasyonu, Türkiye' nin Ankara şehrinde bulunan Bala-Kulu ayrımı arasında bulunan yolun 360 m' lik bölümünde Kavak (1996) tarafından uygulanmıştır. Uygulama sonucunda zeminden alınan numunelerin dayanımlarına bakıldığında özellikle yaş CBR değerlerinde keskin artışlar gözlenmiştir.

4.4.5. Permeabilitedeki değişimler

Permeabilitedeki artışlar üç sebepten kaynaklanabilir. Bunlardan birincisi; minerallerin çözünmesi, ikinci sebep; katyon değişim reaksiyonları, üçüncü sebep ise; organik akışkanlarla suyun yer değiştirmesi sonucu kilin kurumasıdır.

Townsend ve Klym (1966) kireç stabilizasyonunun, topaklanmaya bağlı olarak gözenek hacminin artması sonucu zeminde sıvı akışını engellediğini belirlemişlerdir.

Yaptıkları testlerin sonuçlarına bakıldığında kireçle iyileştirilmiş zeminlerin permeabilitelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Başka bir çalışmada kireçle iyileştirilmiş zeminin permeabilitesinin azaldığını gözlemlenmiştir. Bunun nedeni kireçle hazırlanmış olan numunelerin topaklanma oluşmasını beklemeden (numuneler hazırlanır hazırlanmaz) dayanımlarını ölçmesinden kaynaklanmaktadır (Townsend ve Klym, 1966).

4.4.6. Donma-çözünme etkisine karşı davranış

Walker ve diğ. (1967) kireç ile stabilize edilmiş toprağın nemliliği, donma-çözünmeye maruz kaldığı zaman oluşan mukavemet kayıpları üzerine çalışmışlardır. Topraktaki buz merceklerinin donma ve çözülme mekanizmasını tanımlamışlardır. Delik yapısı, donmamış suyun hareketi ile oluşan hidrolik basıncın üretilebilmesine dayanacak kadar güçlü olduğunu gözlemlemişlerdir. Stabilize edilmiş zeminin delikli yapısının germe mukavemetini geçtiğinde oluşacak hidrolik basıncı da incelemişlerdir. Hapsedilmiş delikli yapının kaybının ve deliklerin geometrisinin yeniden düzenlenmesinin mukavemet kaybı ve boşluk artışı ile sonuçlandığını belirlemişlerdir.

Rosen ve Marks (1971) soğuk havada kireç stabilizasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın amacı; sıkıştırmadan hemen önce donma-çözülme koşullarına maruz kalan zemin-kireç karışımlarının, pozolanik reaksiyonlarla desteklenen koşullara erişemediğinden meydana gelmesidir.

Verilerine dayanarak; kireç ile stabilize edilen zeminlerin önemli dayanım kazanımları sağlayan sıkıştırmadan hemen sonra aşırı donma-çözülme koşullarına maruz kaldıklarını belirlemişlerdir. Bu durum, kür koşulları pozolonik reaksiyonları desteklediği zaman ve dayanım kazanımları sağladığı zaman geçerlidir. Yapılan çalışmalarda, hava koşullarındaki ters koşullara rağmen kireçle stabilize edilen zeminde herhangi bir bozulma gözlemlenmemiştir.

5. SEM VE XRD ANALİZLERİ

5.1. Giriş

Elektron mikroskopları malzemelerin kimyasal analizlerinin yapılmasında çok büyük rol oynarlar. İncelenecek numunenin istenilen noktasına odaklama yapılarak özelliklerinin incelenebilmesi olanağını sağlarlar. Sistem iki aşamadan oluşur. İlk bölümde, televizyon kamerasına benzer bir şekilde, net olarak odaklandırılmış elektron merceği tarafından cisim üzerine odaklandırılır. Çarptığı yerden gelen elektronlar toplanır ve güçleri yükseltilir. Mikroskobun ikinci bölümü televizyon alıcısına benzer ve burada bir katot ışını tüpü mevcuttur. Böylece yüksek kaliteli televizyon resmine benzer bir görüntü elde edilir. Odaklama ile çeşitli derinlikte görüntüler elde edilebildiğinden üç boyutlu hissi veren resimler elde etmek mümkün olmaktadır.

5.2. SEM (Taramalı Elektron mikroskobu) Analizleri

5.2.1. SEM numunelerinin özellikleri

SEM' de sıvı olmayan ve sıvı özellik taşımayan her türlü iletken olan olmayan numune incelenebilir. İletken olmayan numuneler çok ince, iletken bir malzemeyle kaplanarak incelenebilir hale getirilir.

SEM' de incelenecek numuneler temiz olmalıdır; tozlu ve yağlı olmamalıdır. Toz halinde ki numuneler uygun koşullarla palet haline getirilerek incelenebilir. Şekil 5.1' de analiz yapılacak ve görüntü alınacak numunenin maksimum boyutları gösterilmektedir.

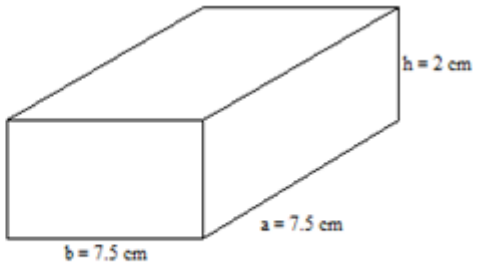
SEM de analiz yapılacak numunenin maksimum boyutları:

Eni : Max. 7.5 cm

Boyu : Max. 7.5 cm

Yüksekliği : Max. 1.5 cm

olmalıdır.



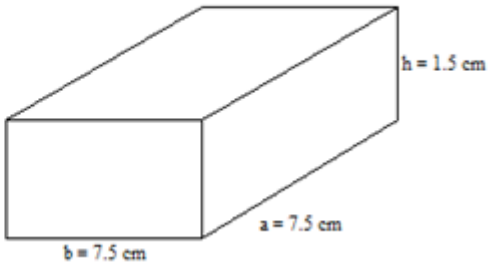
SEM de incelenecek numunenin maksimum boyutları:

Eni : Max. 7.5 cm

Boyu : Max. 7.5 cm

Yüksekliği : Max. 2.0 cm

olmalıdır.



Şekil 5.1: Analiz yapılacak ve görüntü alınacak numunenin maksimum boyutları

5.2.2. SEM için numune hazırlanması

- Kesme cihazıyla büyüklüğü uygun olmayan numuneler Alüminyum ve Elmas uçlu bıçakla büyüklüğü uygun hale getirilir.

- Kalıplama cihazla (Numune tutucu) parlatma işleminde veya mikroskoba monte etme işleminde zorluk çekilecek küçük numuneler kalıplanarak hem otomatik parlatma diskine sığacak hale getirilir hem de daha kolay monte işlemi sağlanır.

- Parlatma cihazı ile analizi yapılacak numunelerin yüzeyleri 1 mm mertebesinde parlatılabilir ve daha pürüzsüz bir yüzey elde edilebilir.

- Püskürtme cihazı ile iletken olmayan numuneler iletken bir tabaka (C, Au-Pd) ile kaplanır. Numune bu aşamada vakum altına alınır.

- Critical point drier cihazı ile biyolojik numunelerin şeklini ve yapısını bozmadan ve kurutularak SEM ’de incelenecek hale getirilir.(www.teknopark.erciyes.edu.tr)

Hazırlık basamaklarından geçtikten sonra numune SEM' de incelenmeye hazır hale gelir. Numunenin yapısına göre değişmekte olan vakum süresi beklenir; bu süre ortalama 30dk' dır. Vakum süresi tamamlandıktan sonra numunenin yüzey şeklinin resmi alınabilir.

Bir numunenin incelenmesi yaklaşık bir saat sürmektedir. Ama bu süre tamamen numunenin yapısına bağlıdır. (www.teknopark.erciyes.edu.tr) Şekil 5.2' de taramalı elektron mikroskobu gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Taramalı elektron mikroskobu

5.2.3. SEM' in çalışma prensibi

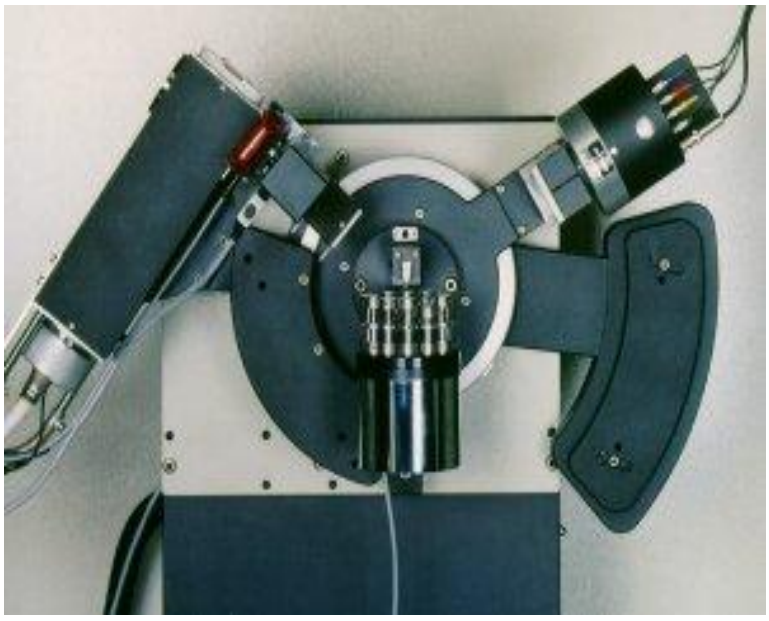
Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için kondenser mercekleri, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10-4 Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır.

Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışımaları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır.

5.3. XRD (X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi) Analizleri

X-Işını difraksiyon spektroskopisi isminden anlaşılacağı üzere X-ışını denilen ultraviyole ışından daha kuvvetli fakat gama ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alan bir yöntemdir.

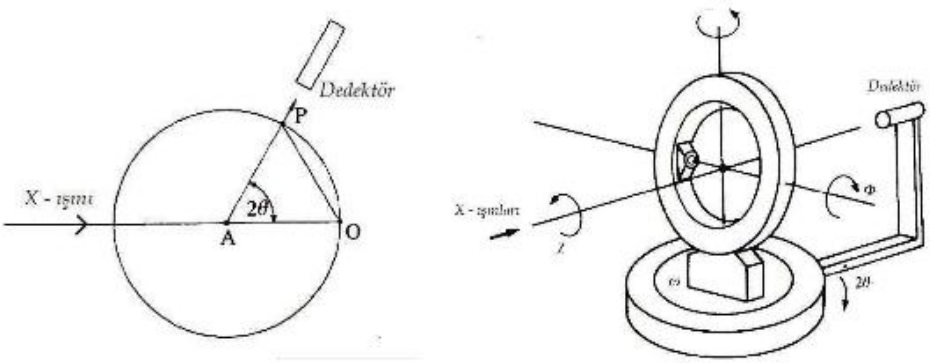
Çalışma prensibi olarak örneğe X-Işını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplaması söylenebilir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde analiz edilebilmektedir. Şekil 5.3' de XRD cihazı gösterilmektedir.



Şekil 5.3: XRD cihazı

Şekilde ışını üreten sol üst başlık ile detektör (sağ üst) birbirine V şeklinde bir açıyla bağlanmıştır. bu açı değişebilmekte olup orta hazne örnek yüklemesi için kullanılmaktadır.

XRD' yi çok kullanışlı yapan şey kristal yapılarında parmak izi hassaslığında veri toplayabilmesi ve güvenilir olmasında yatmaktadır. Şekil 5.4’ de X-ışın dedektörü gösterilmektedir.



Şekil 5.4: X-Işın dedektörü

6. METODOLOJİ

6.1. Giriş

Bu çalışmanın amacı; deniz kilinin kireçle stabilizasyonu sonucunda yapısında meydana gelen geoteknik ve minerolojik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi ve kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Yapılan çalışmada iki aşamalı bir yöntem takip edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, zeminin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Atterberg kıvam limitleri kullanılarak optimum kireç miktarı belirlenmiştir. Sonrasında, proktor ve Harvard proktor deneyleriyle optimum su muhtevaları bulunarak zeminin dayanımını ölçmek amacıyla serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise, zeminin minerolojik özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal analizler, XRD ve SEM analizleri yapılmıştır.

Deniz kilinin kireçle stabilizasyonu sonucunda kirecin, çimento mineralleri oluşturarak zeminde sıkılaşma sağladığı ve bununla doğru orantılı olarak zeminin mukavemetini arttırdığı gözlemlenmiştir.

6.2. Deniz Kilinin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi

Deniz kilinin geoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla; yıkamalı elek analizi, hidrometre, Atterberg kıvam analizleri, modifiye proktor, standart ve modifiye Harvard minyatür proktor, serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır.

Atterberg kıvam limitleri kullanılarak optimum kireç miktarı, proktor ve Harvard minyatür proktor deneyleri kullanılarak optimum su muhtevaları belirlenmiştir.

6.2.1. Yıkamalı elek analizi

Zemin elekleri, 25 veya 35 cm çaplı çelik kasnaklara gerilmiş metalden kare açıklıklı olarak imal edilirler. Açıklık kabaca dane çapına eşdeğer kare olarak tarif edilir. Eleme işlemi kuru ve yıkamalı olmak kaydıyla iki şekilde yapılır. Kuru eleme sadece çakıl ve kumlarda uygulanır. Yıkamalı eleme kil ve silt içeren numunelerde uygulanır.

Deniz kili ince daneli bir zemin tipi olduğundan eleme işlemi yıkamalı olarak ASTM D 422 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 6.1' de kullanılmış olan elek takımı ve deneyin uygulanışı gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Elek takımı ve deneyin uygulanış

6.2.2. Optimum kireç miktarının belirlenmesi

Optimum kireç oranını (%) belirlemek amacıyla Atterberg kıvam limitleri deneyleri ve pH deneyi uygulanmıştır. Zemine belirli oranlarda kireç ilave edilerek 1 saat kür koşullarında (23°C' de alüminyum folyoya sarılarak) su muhtevalarında değişiklik olmaması için bekletilmiş ve deneyler uygulanmıştır.

6.2.2.1. Atterberg kıvam limitleri tayini

Deneyler; ASTM D 4318, AASHTO T 89 ve T 90 standartlarına göre uygulanmıştır.

İlk olarak saf deniz kili için likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri bulunmuştur. Sonrasında zemine belirli oranlarda kireç ilave edilerek 1 saat kür koşullarında bekletilmiş, likit limit ve plastik limit deneyleri uygulanmış ve plastisite indisi değerleri belirlenmiştir. Şekil 6.2' de likit limit deney aleti ve uygulanışı, Şekil 6.3' de plastik limit deney takımı gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Likit limit deney aleti ve deneyin uygulanışı



Şekil 6.3: Plastik limit deney takımı

Plastisite indisinin en düşük olduğu kireç oranı, optimum kireç miktarı olarak belirlenmiştir.

6.2.2.2. PH deneyi (Eades ve Grim yöntemi)

Eades ve Grim (1963) tarafından geliştirilen pH yöntemi, zemine bağ tabakasını sağlamak, ilk ve kısa dönem reaksiyonlarını, pozolanik reaksiyonlarını sağlamak için gerekli kirecin eklenmesi mantığına dayanır. Bu yöntemle yaklaşık 1 saat içerisinde uygun kireç oranı bulunur. Eğer pH değerleri 12.40 'a doğru gidiyorsa, en düşük kireç yüzdesi (12.40'lık pH' ı olan) toprağı stabilize etmek için istenen yüzdedir. Eğer pH değerleri 12.30'u geçmiyor ve % 2' lik kireç aynı değeri veriyorsa, 12.30'luk pH' ı veren en düşük yüzde, toprağı stabilize etmek için istenen yüzdedir. Eğer en yüksek pH değeri 12.30 ise ve sadece % 6' lık kireç o pH' ı veriyorsa ilave test şişelerine büyük kireç yüzdeleriyle başlanmalıdır. PH ölçer Hyalk elektrotuyla donatılmış olmalıdır (TRB State of Art Report -5 1987).

PH deneyini uygulamak için ilk olarak 40 no'lu elekten elenen malzemeler 0.1 gram hassasiyetinde tartılarak 150'şer gramlık plastik şişelere konulmuştur. Birçok zemin % 2 ile % 5 arasında kirece ihtiyaç duyduğundan dolayı, % 2, % 3, % 4, % 5 ve % 6' lık kireç oranlarında numune hazırlamak için 5 şişe hazırlanmıştır.

Şişelere CO_2'siz 100 ml damıtılmış su eklenip, zemin-kireç-su karışımı dipte hiçbir kuru madde kalmayıncaya kadar her 10 dakikada bir yaklaşık 30 sn çalkalanmıştır. 1 saat sonra sulu karışımın bir kısmı alınıp pH' ı ölçülmüştür. Sonrasında tüm kireç-zemin karışımı değerlerini kaydedilmiştir.

6.2.3. Modifiye proktor deneyleri

Deniz kiline; öncelikli olarak saf durumda, sonrasında ise optimum kireç miktarında kireç ilave edilip 1 saat kür koşullarında bekletildikten sonra deneyler yapılmıştır.
Deneyler, modifiye proktor kalıbı ve çekici kullanılarak yapılmış; saf ve kireçli zeminlerin optimum su muhtevaları ve maksimum KBHA tayin edilmiştir. Proktor deneyleri, standartlara uygun olarak 2710,5 kj/m³' lük enerji uygulanarak yapılmıştır. Uygulanacak enerji miktarı aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

$$CE = \frac{m \times g \times h \times n \times \text{vuruş sayısı}}{\text{kalıp hacmi}} \quad (6.1)$$

Burada CE uygulanan enerjiyi, n tabaka sayısını ifade etmektedir. Şekil 6.4' de modifiye proktor takımı gösterilmiştir.



Şekil 6.4: Modifiye proktor takımı

6.2.4. Harvard minyatür standart ve modifiye proktor deneyleri

Harvard proktor deneyi iki aşamada yapılmıştır.

İlk aşamada; saf ve % 5 kireçli deniz kilinin optimum su muhtevalarını ve maksimum KBHA' larını standart ve modifiye olarak belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Proktor deneyleri, standartlara uygun olarak standart için 593,7 kj/m³' lük, modifiye için 2710,5 kj/m³' lük enerji uygulanarak yapılmıştır. Uygulanacak enerji miktarı modifiye proktor deneyinde olduğu gibi aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

$$CE = \frac{m \times g \times h \times n \times \text{vuruş sayısı}}{\text{kalıp hacmi}} \quad (6.2)$$

İkinci aşamada; serbest basınç deneylerine numune hazırlamak için uygulanmıştır. Numuneler; anlık, 1, 7, 28 ve 60 günlük kür sürelerinde her birinden 6' şar adet olmak üzere standart ve modifiye olarak hazırlanmıştır. Şekil 6.5' de Harvard proktor deney takımı gösterilmektedir.



Şekil 6.5: Harvard proktor takımı



Şekil 6.6: Harvard proktor deneyi uygulanışı

6.2.5. Serbest basınç deneyleri

Deneyler; ASTM D 2166-85, AASHTO T 208-90 standartlarına göre uygulanmıştır.

Serbest basınç deneyleri iki aşamada yapılmıştır. İlk olarak; doğal su muhtevasına 5% oranında sönmemiş kireç ilave edilerek, sonrasında Harvard proktor deneyleri sonucunda bulunan optimum su muhtevasında (standart, modifiye) saf ve 5% kireçli (sönmüş) olarak boyu 7.1, çapı 3.2 cm olan numuneler (1 saat bekletilerek) hazırlanıp serbest basınç makinesinde kırımları yapılarak mukavemetlerdeki artışlar gözlemlenmiştir. Şekil 6.7' de serbest basınç deneyi gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Serbest basınç deneyi

6.2.6. CBR deneyleri

Deneyler; ASTM D 1883-87, AASHTO T 193-81(1990) şartnameleri standartlarına göre uygulanmıştır.

Deneyler optimum su muhtevasında saf ve kireçli olarak 5 tabaka 55 vuruş olarak yapılmıştır. Kireçli malzeme büyük kalıpta sıkıştırılmadan önce 1 saat bekletilmiştir. Şekil 6.8' da CBR kalıbı ve numunenin hazırlanışı gösterilmiştir.



Şekil 6.8: CBR kalıbı ve numunenin hazırlanışı

Deneyin hem kuru hem de doğal koşulları yansıtması amacıyla CBR deneyi yaş olarak uygulanmıştır. Yaş CBR deneyi yaptığımızdan dolayı numuneler 4 gün süreyle suyun içinde bekletilmiş, üzerine yerleştirilen basınç aletinden okumalar yapılmış ve 4 günün sonunda kırılarak alt ve üst okumalar alınmıştır. Şekil 6.9' da CBR kırım aleti gösterilmiştir.



Şekil 6.9: CBR kırım aleti

6.3. Deniz Kilinin Minerolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Deniz kilinin minerolojik özelliklerini belirlemek amacıyla saf ve % 5 kireçle hazırlanmış olan numuneler üzerinde kimyasal, XRD ve SEM analizleri yapılmıştır.

6.3.1. Kimyasal analiz

Saf ve % 5 kireç ilave edilmiş numuneler üzerinde kimyasal analizler yapılmış ve deniz kilinin bileşimlerini oluşturan yapıların oranları belirlenmiştir.

6.3.2. XRD analizleri

Analizler saf ve % 5 kireçli numuneler üzerinde yapılmıştır. Serbest basınç numunelerinden küçük parçalar alınarak etüvde kurutulmuş, havanda dövülerek toz haline getirilmiş ve üzerine dalga boyu (λ) 1.54 Å olan Cuα ışınları gönderilmiştir. Difraktomlar, ışıma sonucunda ortaya çıkan açısal konum ve şiddetlere bağlı olarak çizilmiştir.

6.3.3. SEM analizleri

Deneyler saf ve % 5 kireçli numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analizleri yapılacak numuneler 24 saat boyunca düşük sıcaklıktaki etüvde bekletilmiş, kurutulduktan sonra havanda iyice dövülerek toz haline getirilmiştir. İletken yüzeyli olması ve vakum altında bozulmaması için mikroskoba yerleştirilmeden önce görüntüyü engellemeyen çok ince bir iletken tabakayla kaplanmış, SEM analizi görüntüleri elde edilmiştir.

6.4. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deneylerde kullanılan deniz kilinin geoteknik özellikleri ve kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

6.4.1. Deniz kili

Deniz kilinin geoteknik özellikleri Tablo 6.1’ de, kimyasal analiz sonuçları ise Tablo 6.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Deniz kilinin geoteknik özellikleri

Doğal su muhtevası, w (%)		40.1 ~ 52.1
Likit limit, LL (%)		41.0
Plastik limit, PL (%)		23.0
Plastisite indisi, PI (%)		18.0
Maks. KBHA (kN/m³)		19.35
Opt. su muhtevası, w (%)		10.5
Harvard maks. KBHA (kN/m³)	Standart	18.4
	Modifiye	19.4
Harvard opt. su muhtevası (%)	Standart	12.0
	Modifiye	11.0

Tablo 6.2: Deniz kilinin kimyasal analiz sonuçları

Deniz Kili Kimyasal Analiz , %	
Na_2O	1.96
MgO	4.82
Al_2O_3	14.47
SiO_2	50.93
SO_3	3.45
Cl	1.25
K_2O	2.02
CaO	12.04
TiO_2	0.90
Fe_2O_3	8.16

6.4.2. Stabilizasyonda kullanılan sönmüş ve sönmemiş kirecin özellikleri

Yapılan çalışmalarda Nuh Çimento fabrikasında üretilmiş olan sönmüş ve sönmemiş kireç kullanılmıştır. Her iki kirecin de fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

6.4.2.1. Sönmüş kireç

Sönmüş kirecin fiziksel özellikleri Tablo 6.3’ de, kimyasal özellikleri ise Tablo 6.3’ de gösterilmiştir.

Tablo 6.3: Sönmüş kirecin fiziksel özellikleri

Sönmüş Kireç Fiziksel Analiz	
Kimyasal Adı	Kalsiyum hidroksit
Fiziksel Görünüşü	Kuru beyaz toz
Kaynama Sıcaklığı. °C	100
Erime Sıcaklığı, °C	580
200 µ elek üstü, (%)	Maks. 0.5
90 µ elek üstü, (%)	Maks. 4
Birim Hacim Kütlesi (kg/dm³)	Maks. 0.5

Tablo 6.4: Sönmüş kirecin kimyasal özellikleri

Sönmüş Kireç Kimyasal Analiz , (%)	
$Ca(OH)_2$,	80 - 86
CaO+MgO , (%)	Min. 88
MgO	1 - 2
Çözünmeyen Madde , (%)	Maks. 1
SO_3	Maks. 1.5
R_2O_3 (Al_2O_3+Fe_2O_3)	Maks. 1

6.4.2.2. Sönmemiş kireç

Sönmemiş kirecin kimyasal özellikleri Tablo 6.5’ de gösterilmiştir.

Tablo 6.5: Sönmemiş kirecin kimyasal özellikleri

Sönmemiş Kireç Kimyasal Analiz , (%)	
Aktif CaO	83 - 89
CaO+MgO	90 - 99
MgO	1 - 2
Çözünmeyen Madde , (%)	0.5 - 2
SO_3	Max. 2
R_2O_3 (Al_2O_3+Fe_2O_3)	0,5 – 1.5

7. LABORATUAR ÇALIŞMALARI

7.1. Yıkamalı Elek Analizi

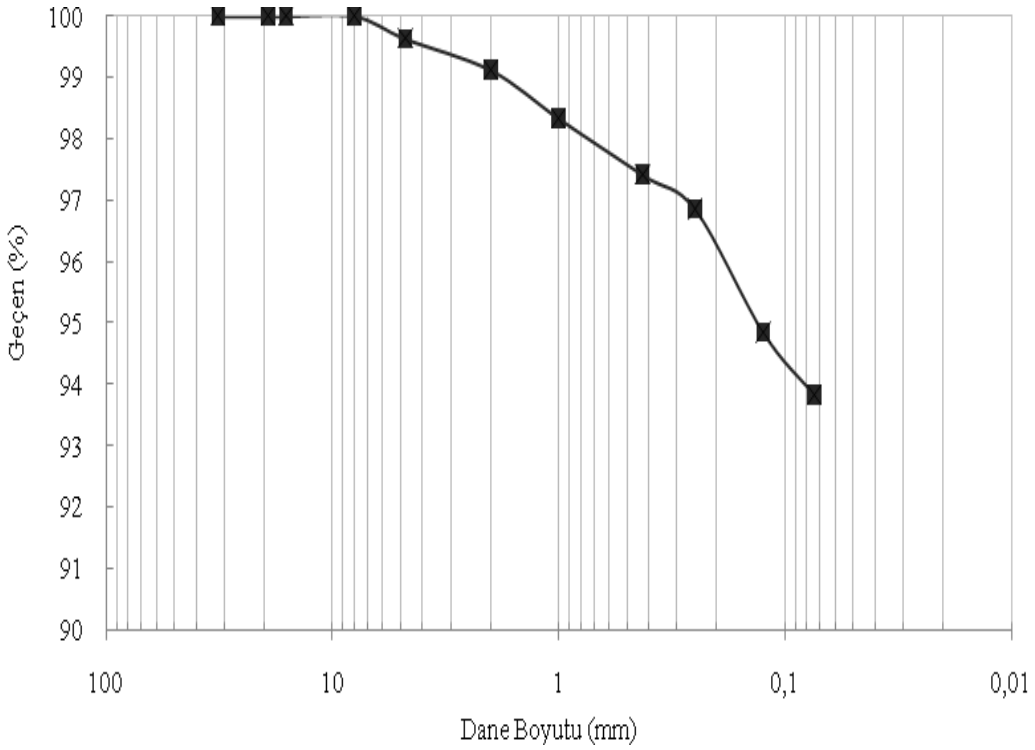
Deneylere yıkamalı elek analizi ile başlanmıştır.

Bursa – Gemlik' ten gelen zemin, sırasıyla en büyük açıklıklı elekten en küçük açıklıklı eleğe doğru bir seri elekten geçirilmiş, birbirini takip eden bir elekten geçip öbürünün üzerinde kalan danelerin içinde kaldığı çap sınırları belirlenmiştir. Tablo 7.1' de elek analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.1: Elek analizi sonuçları

Elek No	Elek Açıklığı	Kalan Ağırlık	Kalan (%)	Geçen (%)
1 1/4"	32.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.20	0.00	0.00	100.00
5/8"	16.00	0.00	0.00	100.00
5/16"	8.00	0.00	0.00	100.00
No 4	4.76	0.37	0.37	99.63
No 10	2.00	0.51	0.51	99.12
No 18	1.00	0.79	0.79	98.33
No 40	0.43	0.92	0.92	97.41
No 60	0.25	0.56	0.56	96.85
No 120	0.13	2.01	2.01	94.84
No 200	0.07	1.02	1.02	93.82
PAN		93.82	93.82	0.00
		100.00		

Elek analizi sonuçlarına bakıldığında; kil ve silt oranının % 93.82 olduğu görülmektedir. Bulunan değerlere göre deney sonuçlarını kümülatif dağılım eğrileri olarak Şekil 7.1' de gösterilmiştir. Bu eğriler üzerindeki herhangi bir nokta, ağırlık oranı olarak, zemin içindeki danelerin ne kadarının belirli bir çaptan daha küçük olduğunu gösterir.



Şekil 7.1: Elek analizi kümülatif dağılım eğrisi

7.2. Optimum Kireç Miktarının Belirlenmesi

Kullanılmış olan optimum kireç miktarı, Atterberg kıvam limitleri deneyleri ve pH deneyi ile tayin edilmiştir. Yapılmış olan deneyler sonucunda ulaşılmış olan sonuçlar bölüm 7.2.1 ve bölüm 7.2.2' de gösterilmektedir.

7.2.1. Atterberg kıvam limitleri

Zemin ilk olarak değişik oranlardaki kireçle karıştırılmış ve deneyler, 1 saatlik kür süresinden sonra uygulanmıştır. Zemin için sırasıyla saf ve belirli oranlarda (% 1, % 2, % 3, % 4, % 5, % 6, % 7, % 8, % 9, %10) kireç ilave edilerek likit limit ve plastik limit deneyleri uygulanmıştır.

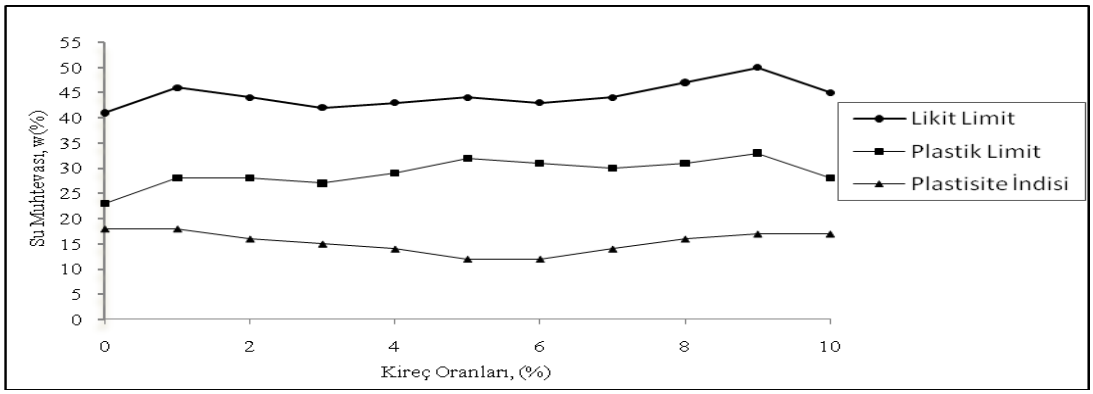
Tablo 7.2: Deniz kili için Atterberg kıvam limiti değerleri

Kireç Oranı (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
0	41	23	18
1	46	28	18
2	44	28	16
3	42	27	15
4	43	29	14
5	44	32	12
6	43	31	12
7	44	30	14
8	47	31	16
9	50	33	17
10	45	28	17

Tablo 7.2' de görüldüğü gibi doğal haldeki zeminin likit limiti 41 iken % 1 kireç ilave edildikten sonra bu değer 46' ya kadar çıkmış ve sonraki kireç ilavelerinde düşmeye başlamıştır. En düşük değerine % 3 ile % 6 arasında ulaşmıştır.

Doğal haldeki zeminde plastik limit değeri 23 iken kireç ilave edildikten sonra bu değer artmaya başlamıştır. En yüksek değerine % 5 ve % 9 kireç oranında ulaşmıştır. % 10 kireç ilavesinde ise değer düşmeye başlamıştır.

Doğal haldeki zeminin plastisite indisi değeri 18 iken kireç ilavesinden sonra % 5' lik kireç ilavesine gelene kadar düşüş göstermiş, minimum değerine % 5 kireç ilavesinde ulaşmış ve bu noktadan sonra tekrardan artmaya başlamıştır. Tablo 7.2' de deniz kili için Atterberg kıvam limiti değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.2: Deniz kili için Atterberg kıvam limitleri

Atterberg kıvam limitleri deneyleri sonuçlarına bakıldığında plastisite indisi % 5 kireç miktarında en az değerine ulaşmıştır. Bu nedenle bundan sonra uygulanacak deneyler için kullanılacak optimum kireç miktarı, zeminin kuru ağırlığının % 5 olarak belirlenmiştir.

Doğal su muhtevasını bulmak amacıyla da zeminin beş farklı noktasından numune alınmış ve bulunan değerlerin ortalaması doğal su muhtevası olarak kabul edilmiştir. Tablo 7.3' de doğal su muhtevası tayini gösterilmiştir.

Tablo 7.3: Doğal su muhtevası tayini

Numune No	1	2	3	4	5	6
Su Muhtevası, w (%)	46.0	52.1	40.1	46.5	43.4	43.4
Doğal Su Muhtevası,ortalama w (%)			45.2			

Doğal su muhtevası (standart) % 45.2 olarak belirlenmiştir.

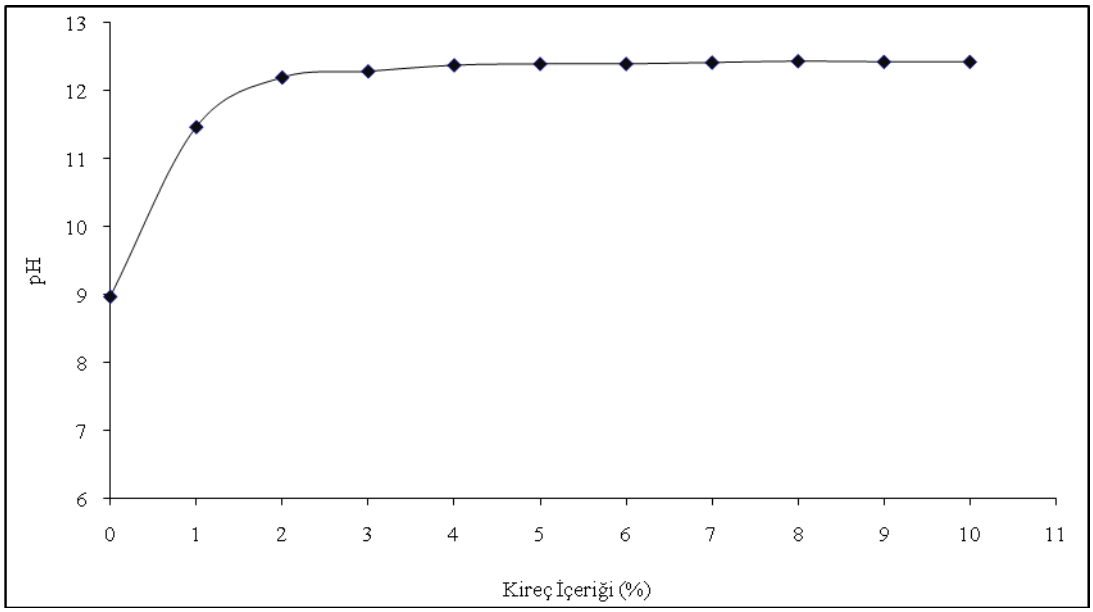
7.2.2. PH deneyi

Eades ve Grim (1960) tarafından önerilen pH deneyi sonucunda 12.4 değerine ulaşıldığı an olan ilk kireç-su-zemin karışımı optimum kireç miktarının belirlenmesini sağlamıştır. Yapılmış olan pH deneyi değerleri Tablo 7.4' de gösterilmektedir.

Tablo 7.4: PH deneyi sonucu elde edilen değerler

Kireç (%)	pH	C
0	8,97	20,3
1	11,47	20,2
2	12,20	20,6
3	12,29	20,6
4	12,38	19,8
5	12,40	19,9
6	12,40	19,6
7	12,42	20,2
8	12,44	20,4
9	12,43	20,6
10	12,43	20,8

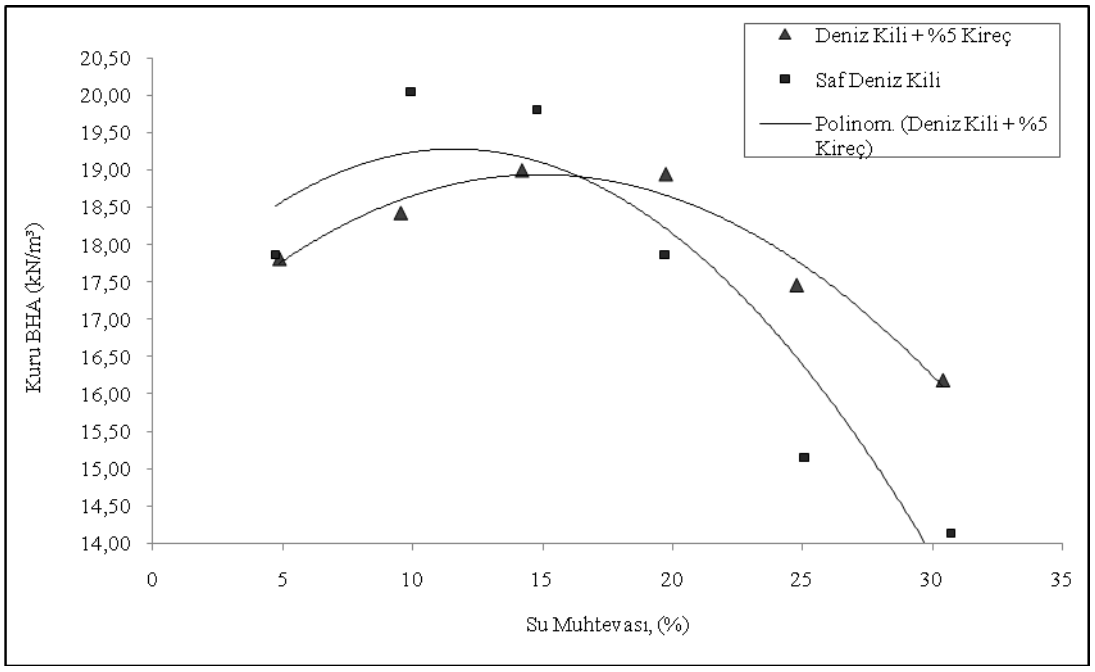
Deney sonuçlarına bakıldığında % 5 kireçli zeminde 12.4 değerine ulaşılmış ve optimum kireç miktarı % 5 olarak belirlenmiştir. Şekil 7.3' de pH deneyi sonucunda ulaşılan değerler grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 7.3: PH deneyi sonuçları

7.3. Modifiye Proktor Deneyleri

Deneyler; saf ve %5 kireçli olarak yapılmış, optimum su muhtevaları ve maksimum KBHA ları belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında kireçli durumda optimum su muhtevalarında artış, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında düşüş gözlemlenmiştir. Deniz kili için modifiye proktor deneyleri sonuçları Şekil 7.4' de gösterilmiştir.



Şekil 7.4: Deniz kili için modifiye proktor eğriler

Saf deniz kili için optimum su muhtevası % 10.5, maksimum KBHA ise 19.35 kN/m³ olarak bulunmuştur. Ağırlıkça % 5 kireç eklendiğinde optimum su muhtevası % 15.5' e çıkmış, maksimum KBHA ise 19 kN/m³' e düşmüştür.

Bulunan sonuçlar itibariyle sonradan yapılan deneylerde optimum su muhtevası modifiye için ise % 15.5 olarak kabul edilmiştir. Tablo 7.5' de bulunan optimum ve maksimum KBHA değerleri gösterilmiştir.

Tablo 7.5: Saf ve % 5 kireçli deniz kili için belirlenen değerler

	Optimum Su Muhtevası, w (%)	Maks. KBHA (kN/m³)
Saf	10.5	19.4
% 5 Kireçli	15.5	19.0

7.4. Harvard (Minyatür) Proktor Deneyleri

Bu deney, optimum su muhtevalarını (standart, modifiye) bulmak ve serbest basınç deneyi için numune hazırlamak amacıyla yapılmıştır.

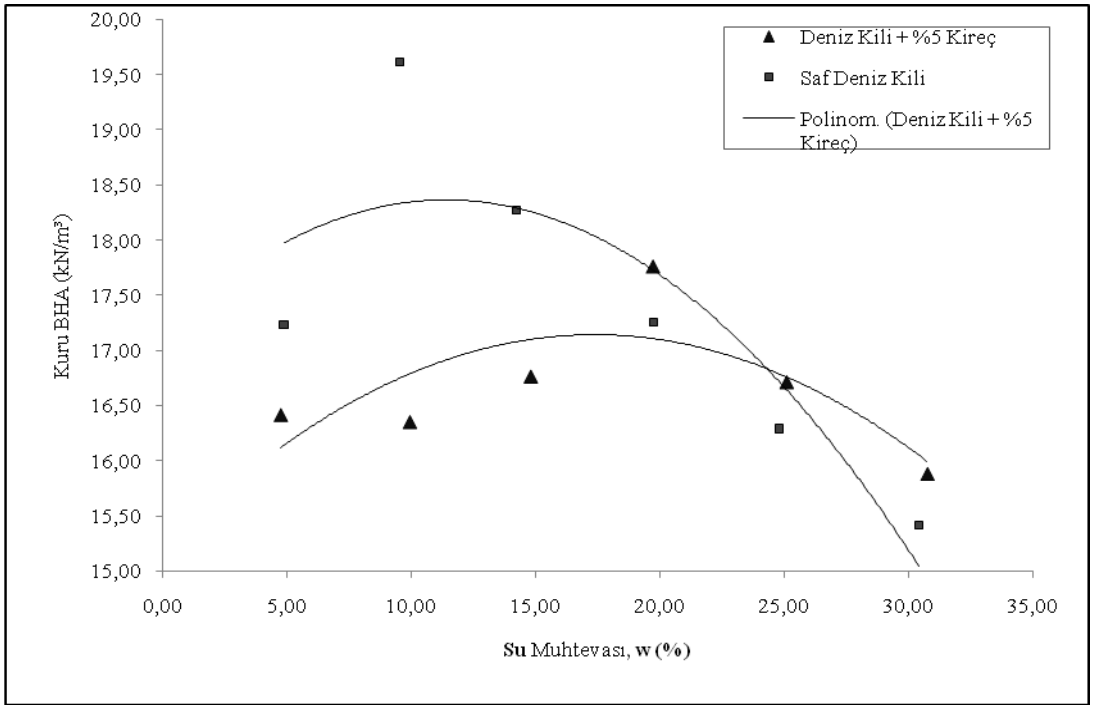
7.4.1. Optimum su muhtevalarının tayini

Deneyler standart ve modifiye olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Deneyler; saf ve % 5 kireçli olarak yapılmış, optimum su muhtevaları belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında standart proktor deneylerinde olduğu gibi kireçli durumda optimum su muhtevalarında artış, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında düşüş gözlemlenmiştir.

Bulunan optimum su muhtevaları proktor deneyi sonuçlarıyla kıyaslanmış ve çok yakın değerlere ulaşılmıştır.

7.4.1.1. Standart minyatür proktor deneyleri

Standart proktor deneyinde olduğu gibi saf ve ağırlıkça % 5 kireçli deniz kilinin optimum su muhtevaları minyatür standart proktor deneyiyle bulunmuştur. Deniz kili için minyatür standart proktor deney sonuçları Şekil 7.5' de gösterilmiştir.

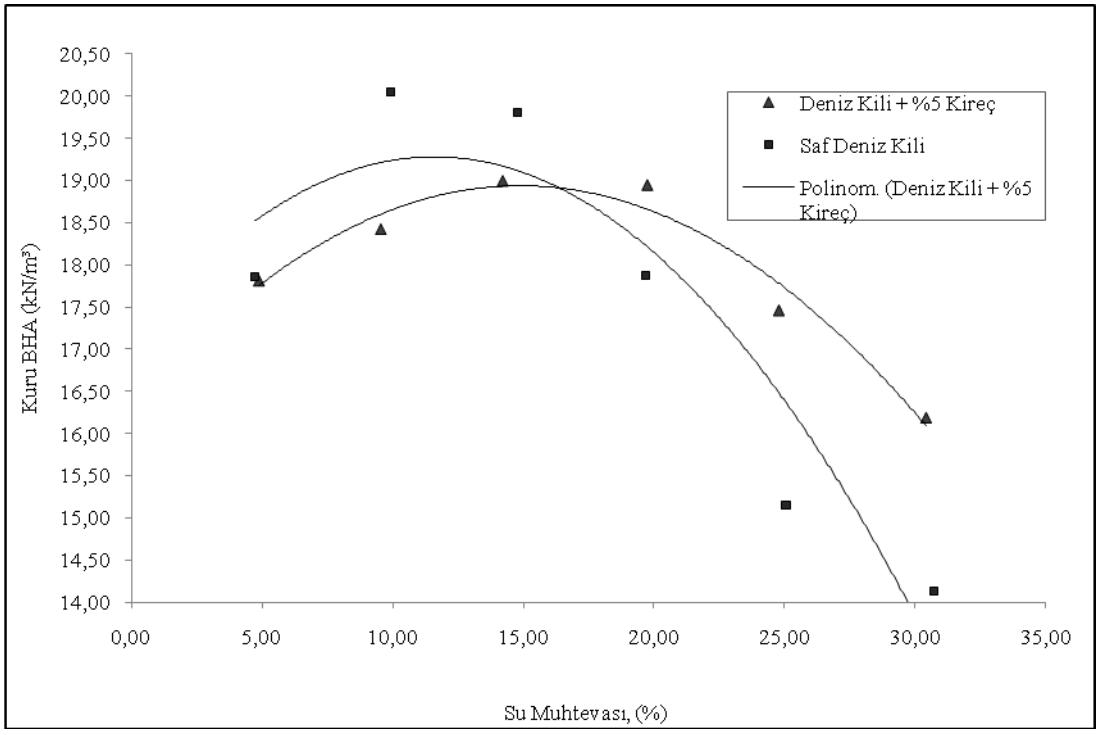


Şekil 7.5: Deniz kili için Harvard standart proktor eğrileri

Saf deniz kili için optimum su muhtevası % 12, maksimum KBHA ise 18.4 kN/m³ olarak bulunmuştur. Ağırlıkça % 5 kireç eklendiğinde optimum su muhtevası % 17' ye çıkmış, maksimum KBHA ise 15.9 kN/m³' e düşmüştür.

7.4.1.2. Modifiye minyatür Poctor deneyleri

Modifiye proktor deneyinde olduğu gibi saf ve ağırlıkça % 5 kireçli deniz kilinin optimum su muhtevaları minyatür modifiye proktor deneyiyle bulunmuştur. Deniz kili için minyatür modifiye proktor deney sonuçları Şekil 7.6' da gösterilmiştir.



Şekil 7.6: Deniz kili için minyatür modifiye proktor eğrileri

Saf deniz kili için optimum su muhtevası % 12, maksimum KBHA ise 19.4 kN/m³ olarak bulunmuştur. Ağırlıkça % 5 kireç eklendiğinde optimum su muhtevası % 15' ye çıkmış, maksimum KBHA ise 18.9 kN/m³' e düşmüştür.

Bulunan sonuçlar itibariyle serbest basınç numunelerinin hazırlanmasında optimum su muhtevası; standart için % 17, modifiye için ise % 15 olarak kabul edilmiştir. Tablo 7.6' da bulunan optimum ve maksimum KBHA değerleri gösterilmiştir.

Tablo 7.6: Saf ve % 5 kireçli deniz kili için belirlenen değerler

	Optimum Su Muhtevası, w (%)		Maksimum KBHA. (kN/m³)	
	Standart	Modifiye	Standart	Modifiye
Saf Deniz Kili	12	11	18,4	19,4
Deniz Kili + % 5 Kireç	17	15	15,9	18,9

7.4.2. Serbest basınç numunelerinin hazırlanması

Serbest basınç numuneleri; doğal su muhtevasında ağırlıkça % 5 sönmemiş kireçli, Harvard proktor deneyi sonucu belirlenen optimum su muhtevaları oranlarına göre saf ve ağırlıkça % 5 sönmüş kireçli olarak hazırlanmıştır. Doğal su muhtevasında zemin saf halde olduğunda sıkıştırma sağlanamadığı için numune hazırlanamamıştır. Hazırlanan toplam numune adedi Tablo 7.7' de gösterilmiştir.

Tablo 7.7: Serbest basınç deneyi için hazırlanan numune adedi

Örneğin Tanımı	Kireç Oranı (%)	Su Muhtevası (%)		Hazırlanan Numune (ad.)
		Standart	Modifiye	
Doğal	5		30	30
Optimum	0	30	30	120
	5	30	30	

Boyu 7.1cm, çapı 3.2 cm olan 120 adet numune hazırlanmıştır. Optimum su muhtevasında bir değişim olmaması için hazırlanan numuneler alüminyum folyoyla sarılmış ve özel kür odasında (21˚) kırım tarihi gelene kadar saklanmıştır.

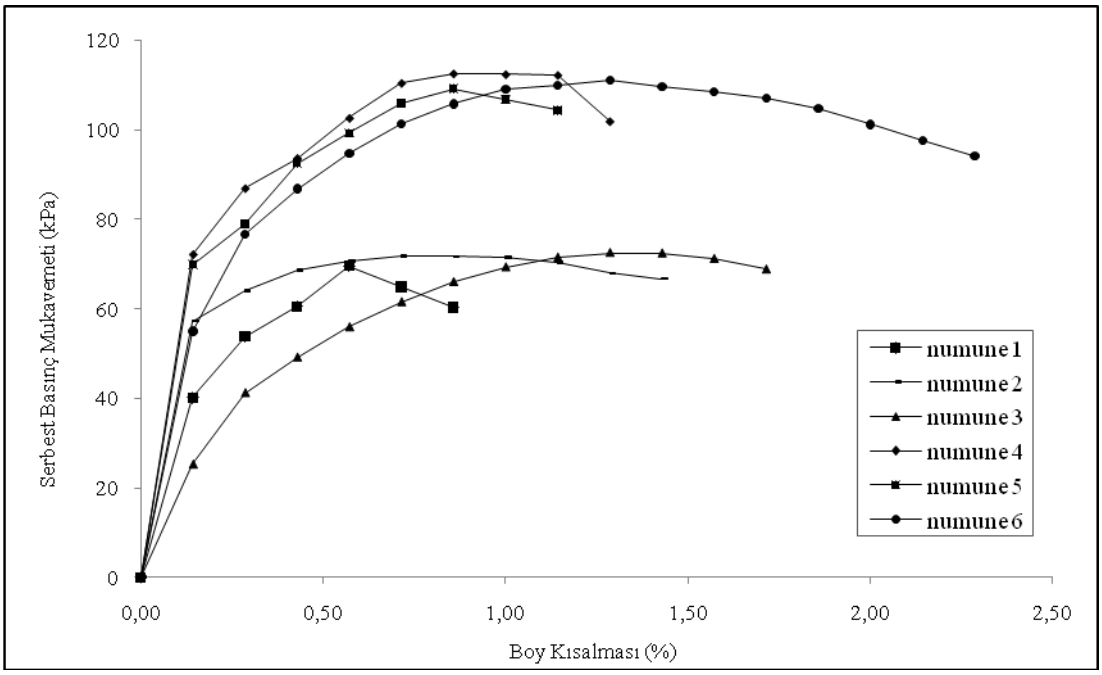
7.5. Serbest Basınç Deneyleri

Doğal su muhtevasında (kireçsiz) serbest basınç deneyi, deniz kilinin su muhtevasının sıkıştırma yapılamayacak kadar yüksek olmasından dolayı yapılamamıştır ve zeminin saf halde dayanımı 0,00 kPa olarak kabul edilmiştir.
Optimum su muhtevasında saf ve ağırlıkça % 5 sönmüş kireçli kısa ve uzun dönemli serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında kireçli zeminin dayanımı saf zemine oranla çok daha yüksek çıkmıştır.

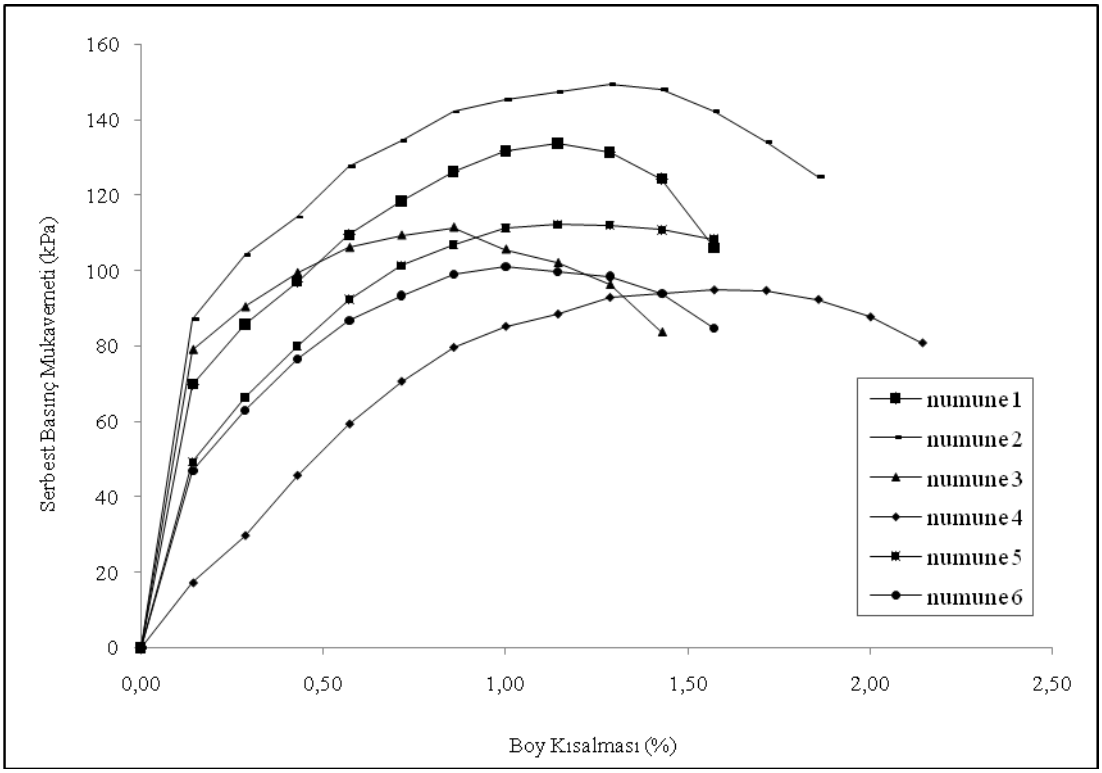
Son olarak doğal su muhtevasında ağırlıkça % 5 sönmemiş kireçli kısa ve uzun dönemli serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında doğal su muhtevasında ağırlıkça % 5 sönmemiş kireçli zeminin dayanımı, optimum su muhtevasında ağırlıkça % 5 sönmüş kireçli zeminin standart serbest basınç değerleriyle hemen hemen eşdeğer çıkmıştır.

7.5.1. Standart serbest basınç deneyleri

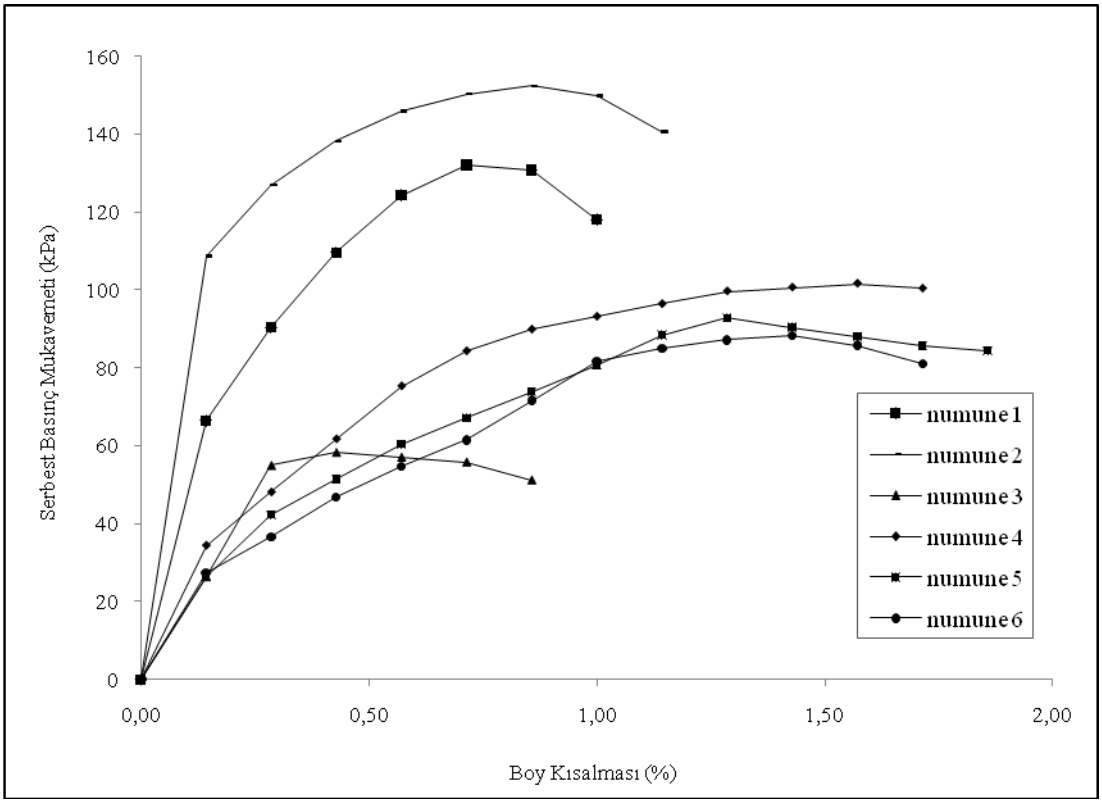
Deniz kiline, % 5 oranında kireç ilave edilerek serbest basınç deneyleri standart olarak yapılmıştır. Harvard proktor deneyi sonucunda bulunan su muhtevalarında kısa dönemde anlık, 1, 7, 28 ve uzun dönemde 60 günlük olarak hazırlanan serbest basınç numuneleri toplamda her biri için altı adet numuneden oluşmuştur. Değişik kür sürelerinde uygulanmış olan standart serbest basınç deneyleri Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9, Şekil 7.10, Şekil 7.11, ve Şekil 7.12' de gösterilmiştir.



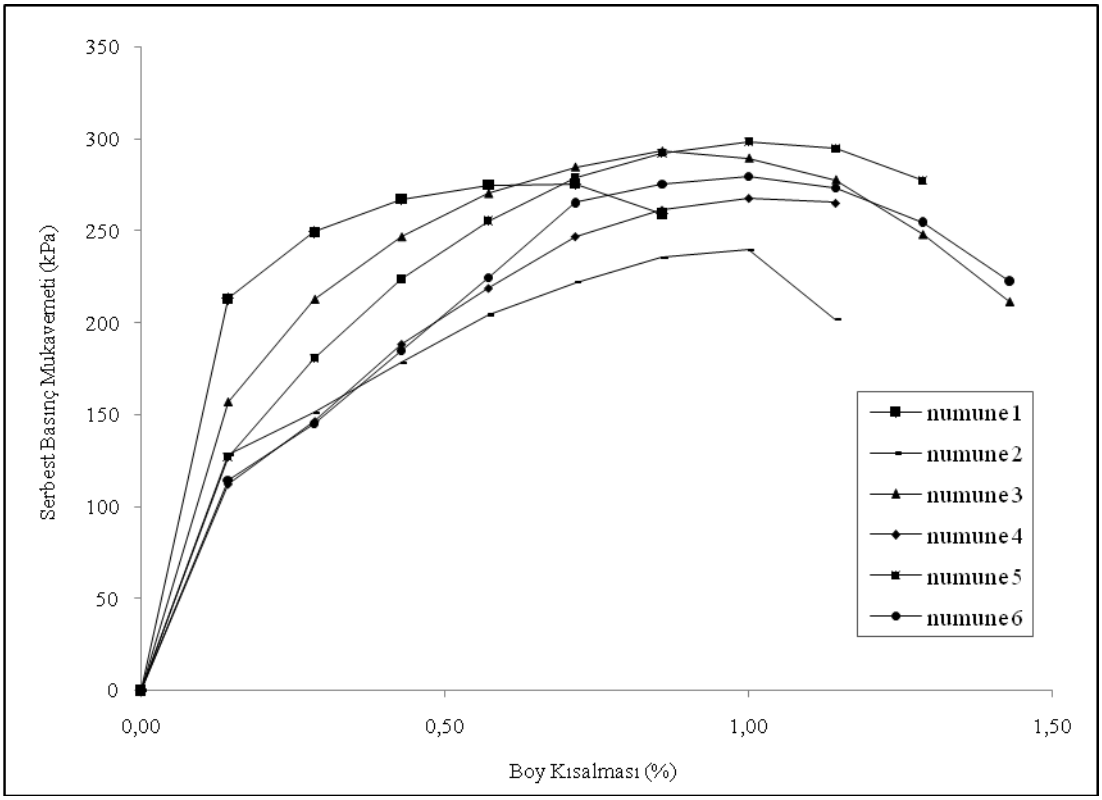
Şekil 7.7: Saf numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği



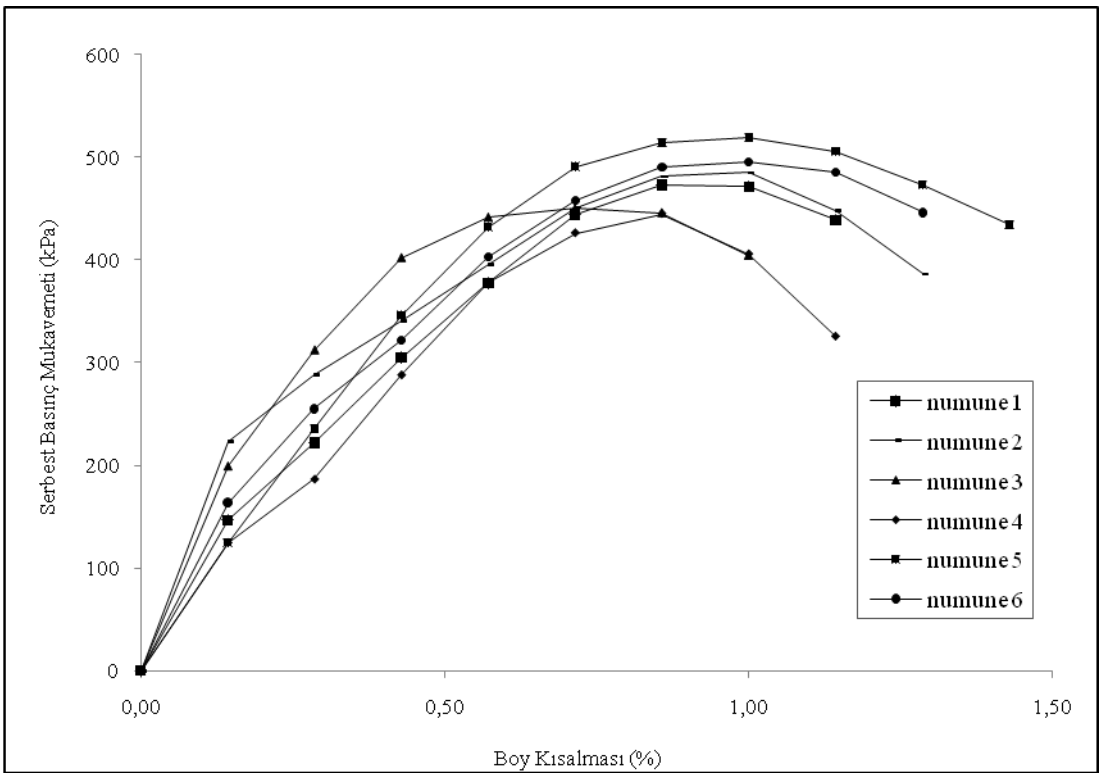
Şekil 7.8: Kireçli numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği



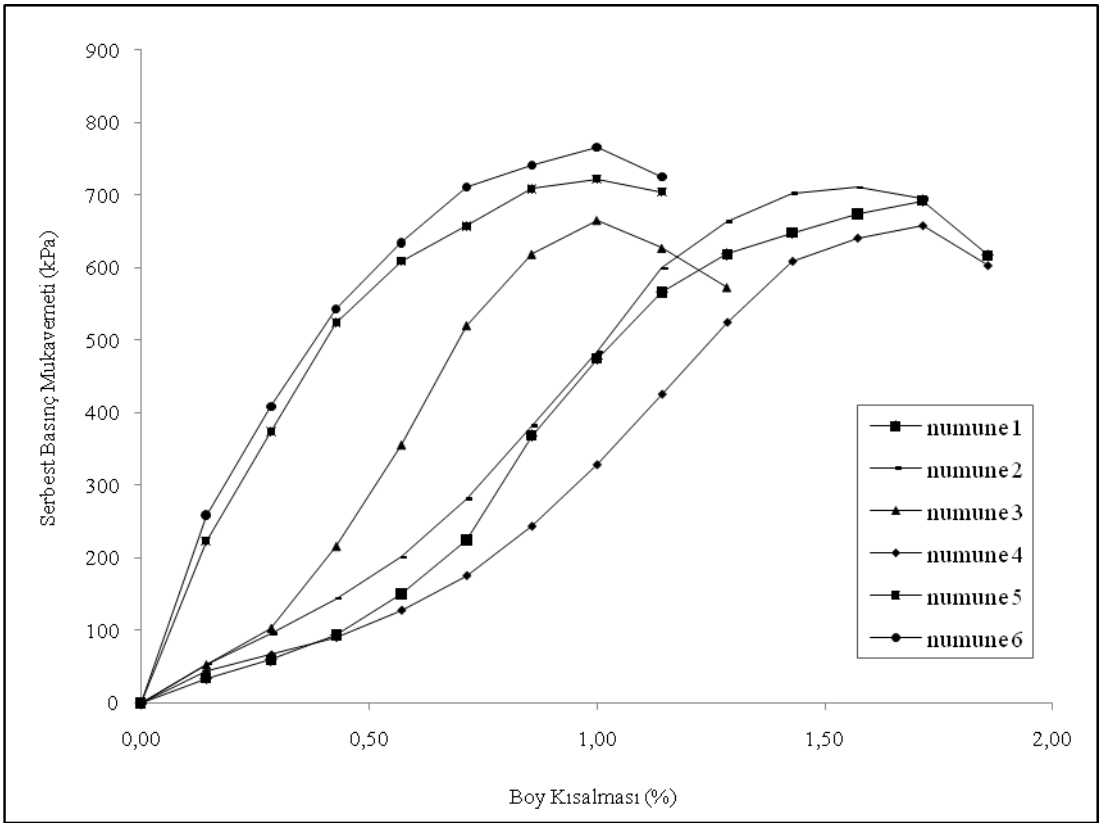
Şekil 7.9: Kireçli numunelerin 1 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



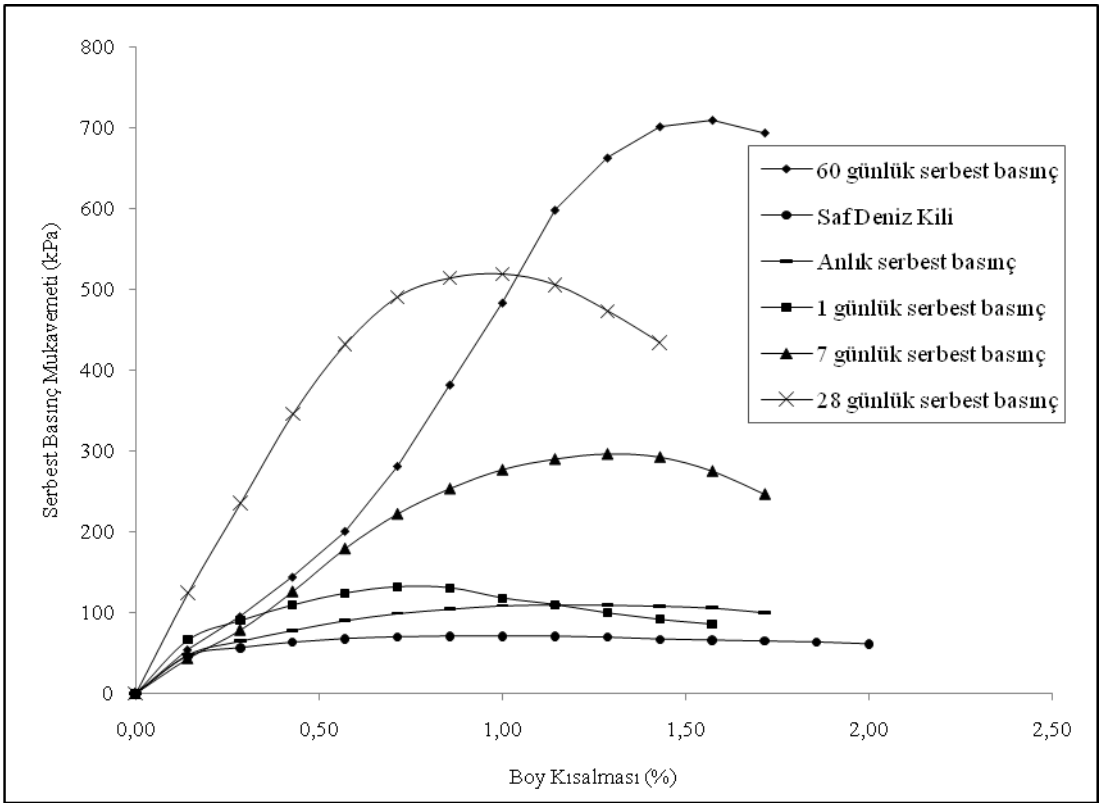
Şekil 7.10: Kireçli numunelerin 7 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



Şekil 7.11: Kireçli numunelerin 28 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



Şekil 7.12: Kireçli numunelerin 60 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



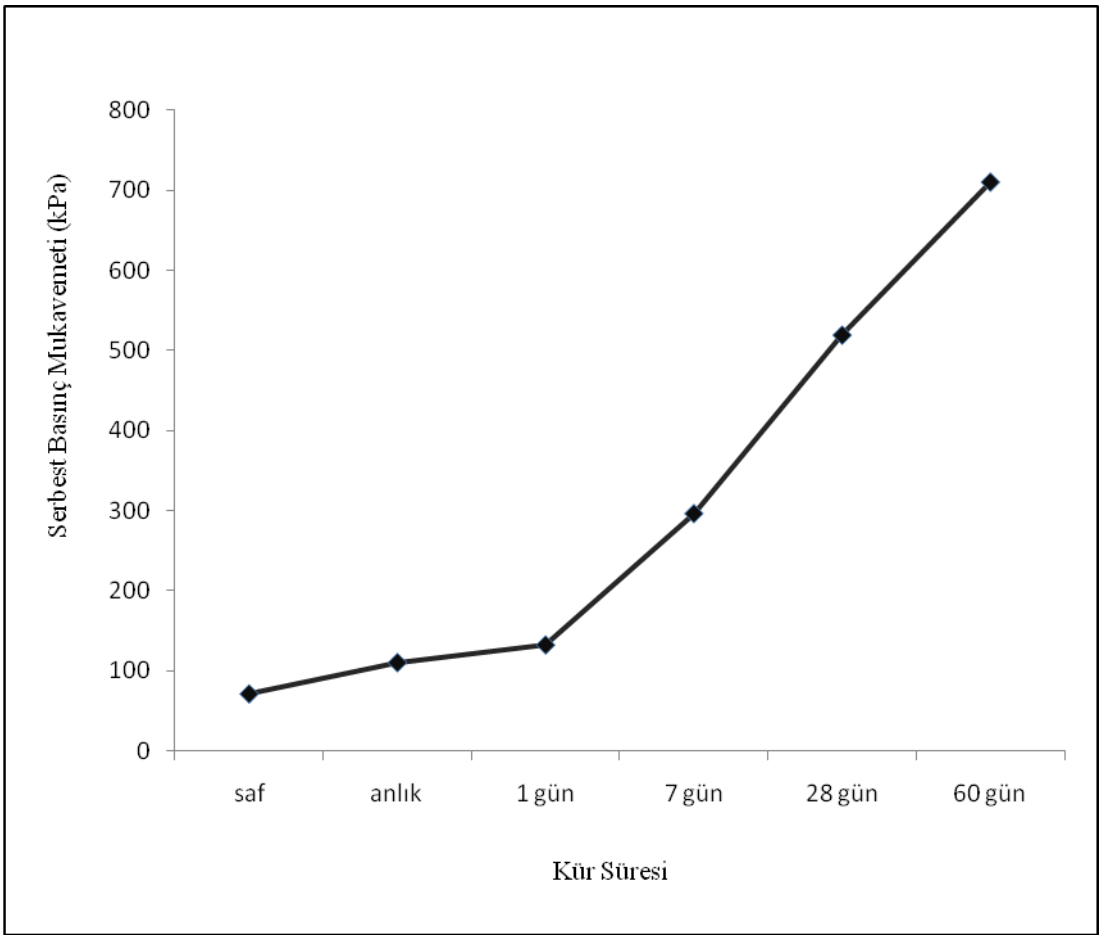
Şekil 7.13: Kireçli deniz kili için ortalama serbest basınç-boy kısalması grafiği

Tablo 7.8: Deniz kili için değişik kür sürelerindeki ortalama serbest basınç değerleri

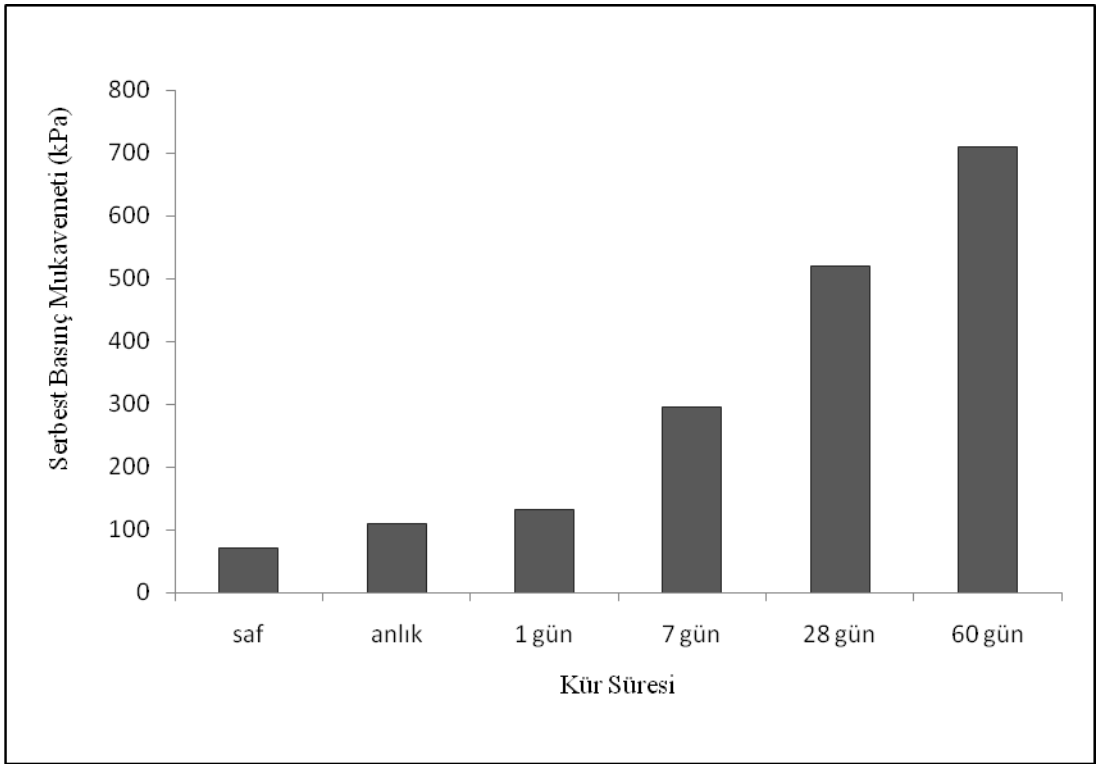
Kür Süresi	Saf	Anlık	1 gün	7 gün	28 gün	60 gün
Serbest Basınç Mukavemeti (kPa)	70.71	109.82	131.91	296.05	518.92	710.11

Şekil 7.13' den ve Tablo 7.8' den görüldüğü gibi deniz kilinin serbest basınç mukavemeti 70,71 kPa iken, kireç ilavesi ile serbest basınç mukavemeti kısa dönemde (28 gün) yedi kat, uzun dönemde ise (60 gün) on kat artış göstermiştir.

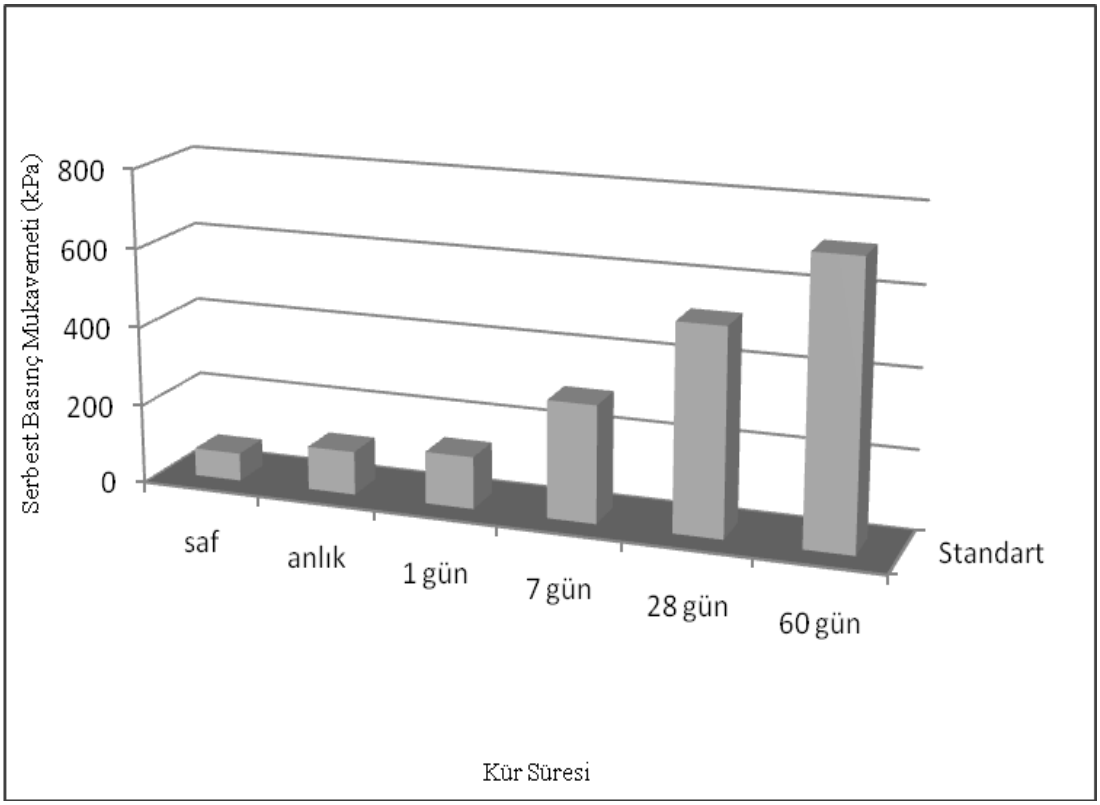
Bu artışlardan da gözlemlenebileceği gibi kireç, deniz kilinin dayanımını kısa ve uzun vadede ciddi oranlarda arttırmakta ve vade uzadıkça dayanımda doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 7.14, 7.15 ve 7.16' da değişik kür sürelerinde bulunan serbest basınç değerleri grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.14: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki standart serbest basınç mukavemeti değerleri



Şekil 7.15: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri

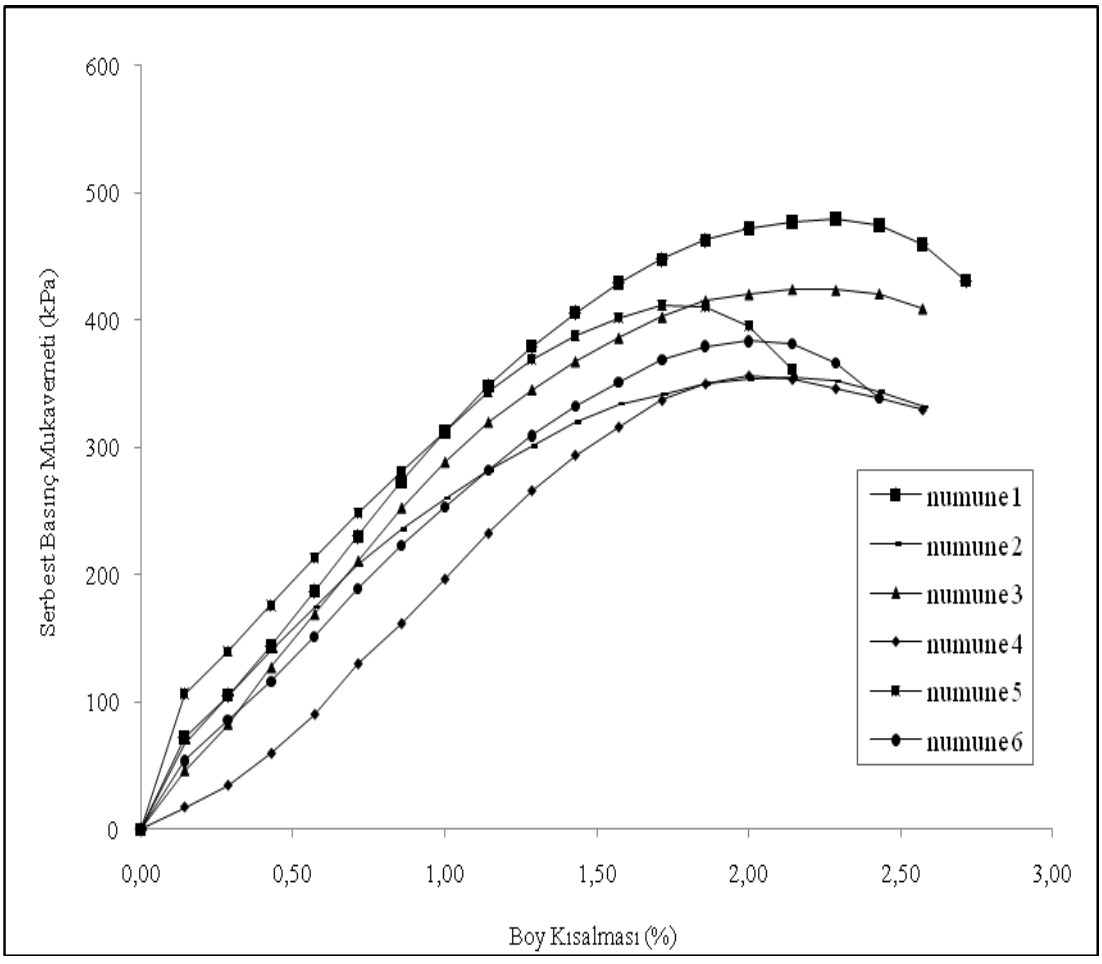


Şekil 7.16: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri

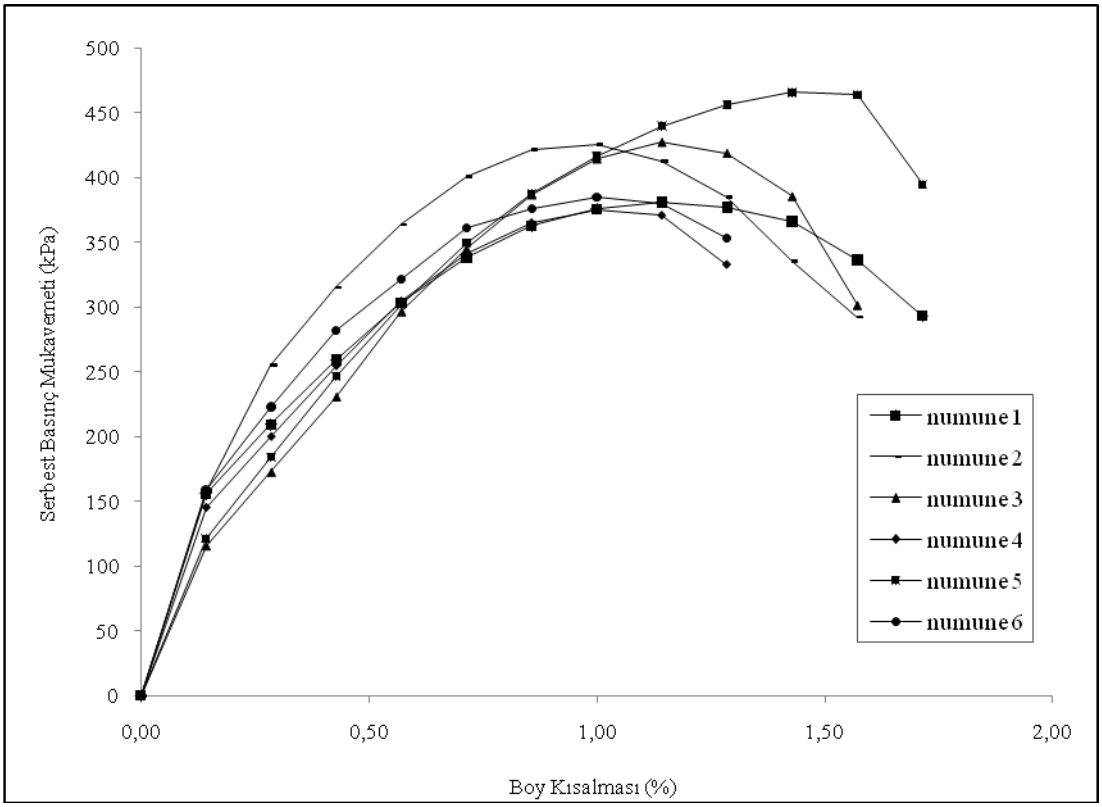
7.5.2. Modifiye serbest basınç deneyleri

Modifiye serbest basınç deneyleri doğal deniz kiline ağırlıkça % 5 oranında sönmemiş kireç ilave ederek ve optimum su muhtevasında ağırlıkça % 5 sönmüş kireç ilave edilerek iki aşamada uygulanmıştır.

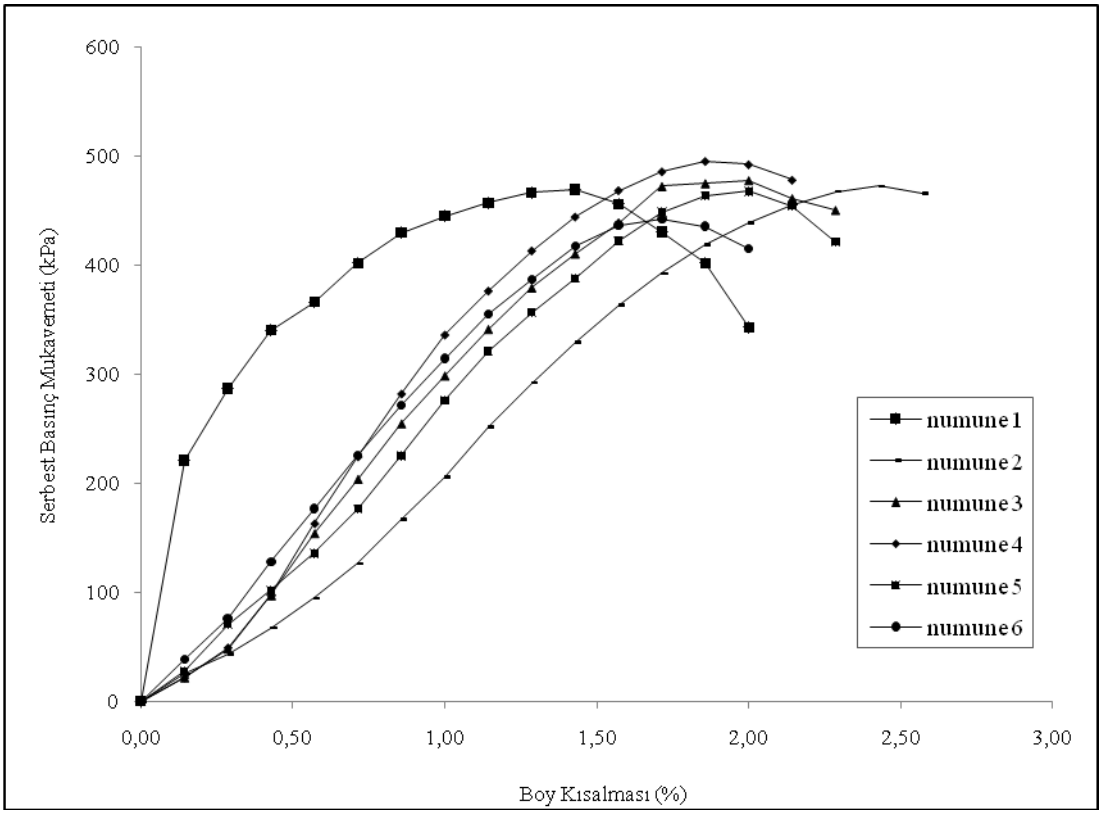
7.5.2.1. Optimum su muhtevasında doğal ve ağırlıkça % 5 sönmüş kireçli modifiye serbest basınç deneyleri



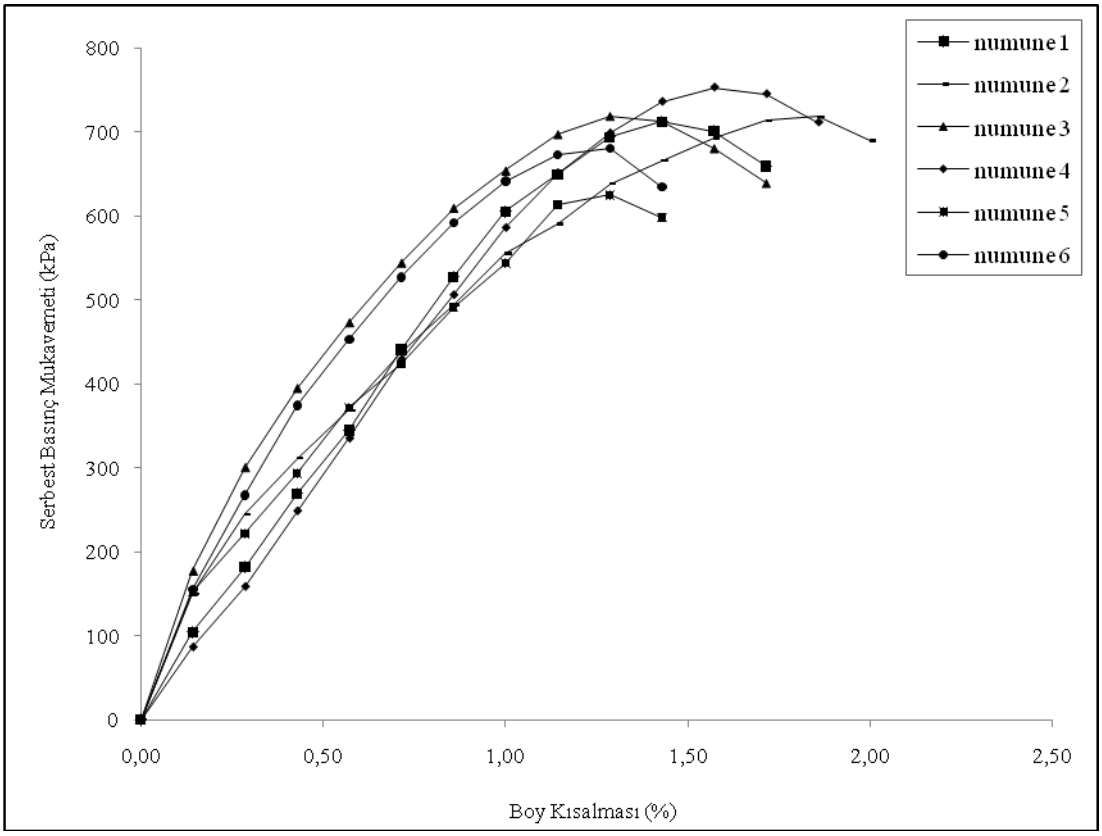
Şekil 7.17: Saf numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği



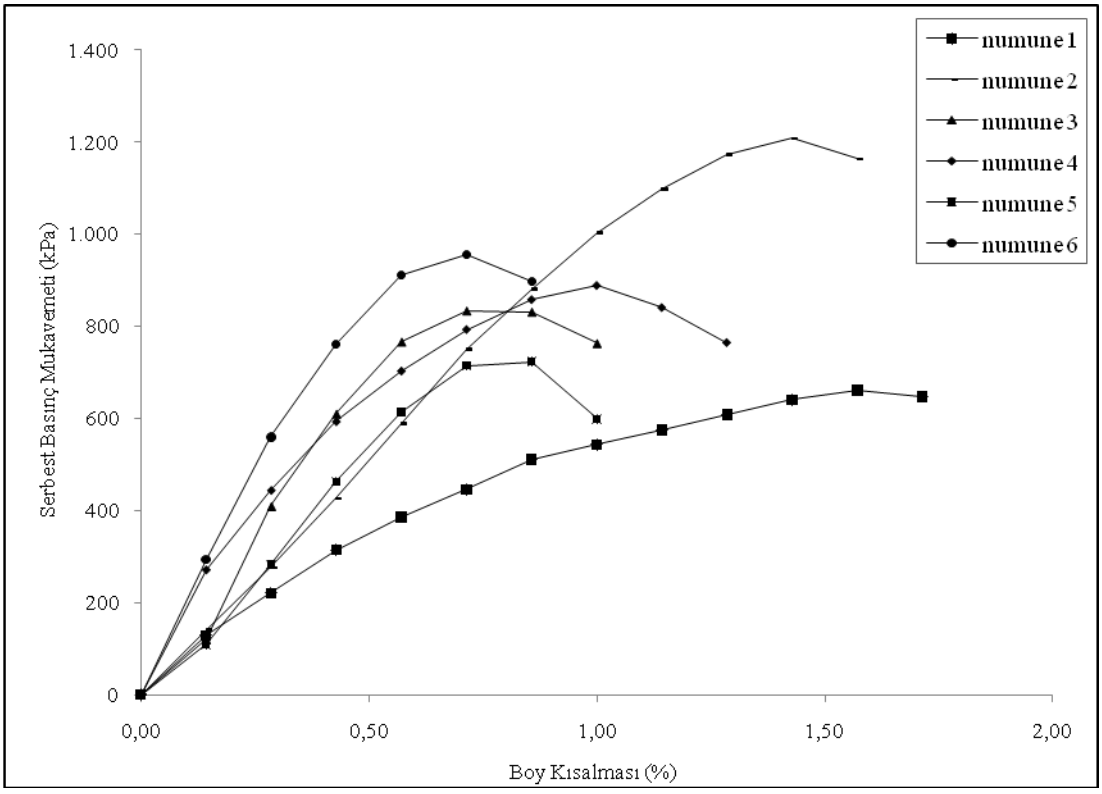
Şekil 7.18: Sönmüş kireçli numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği



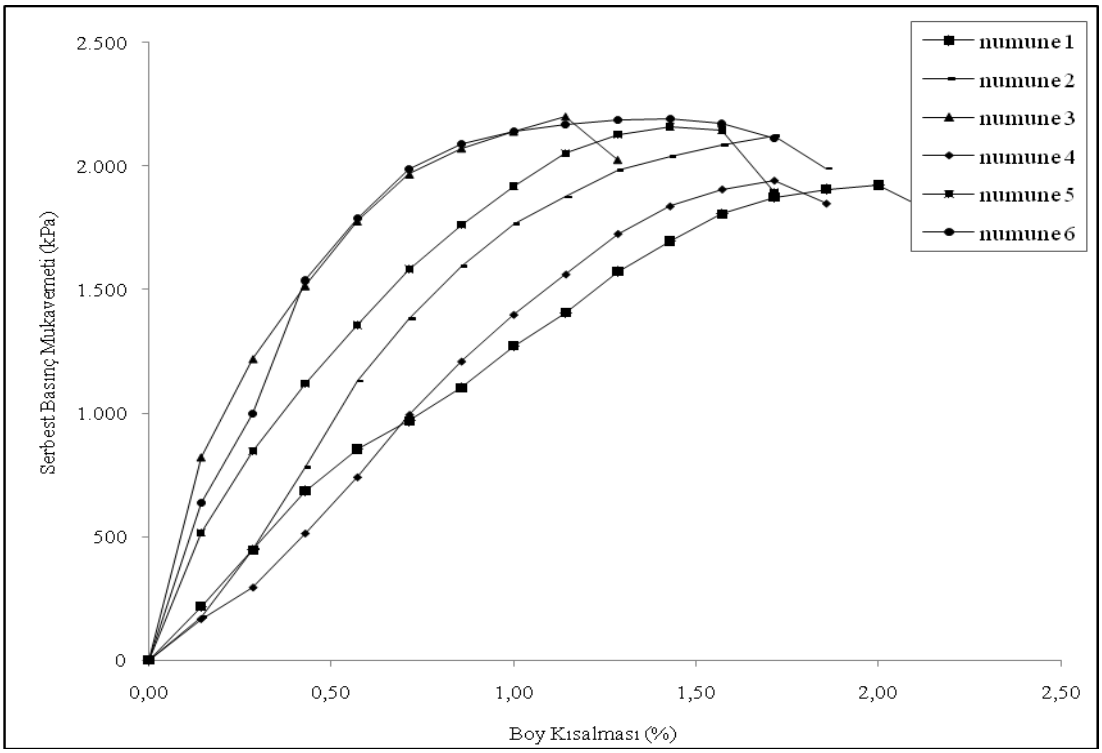
Şekil 7.19: Sönmüş kireçli numunelerin 1 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



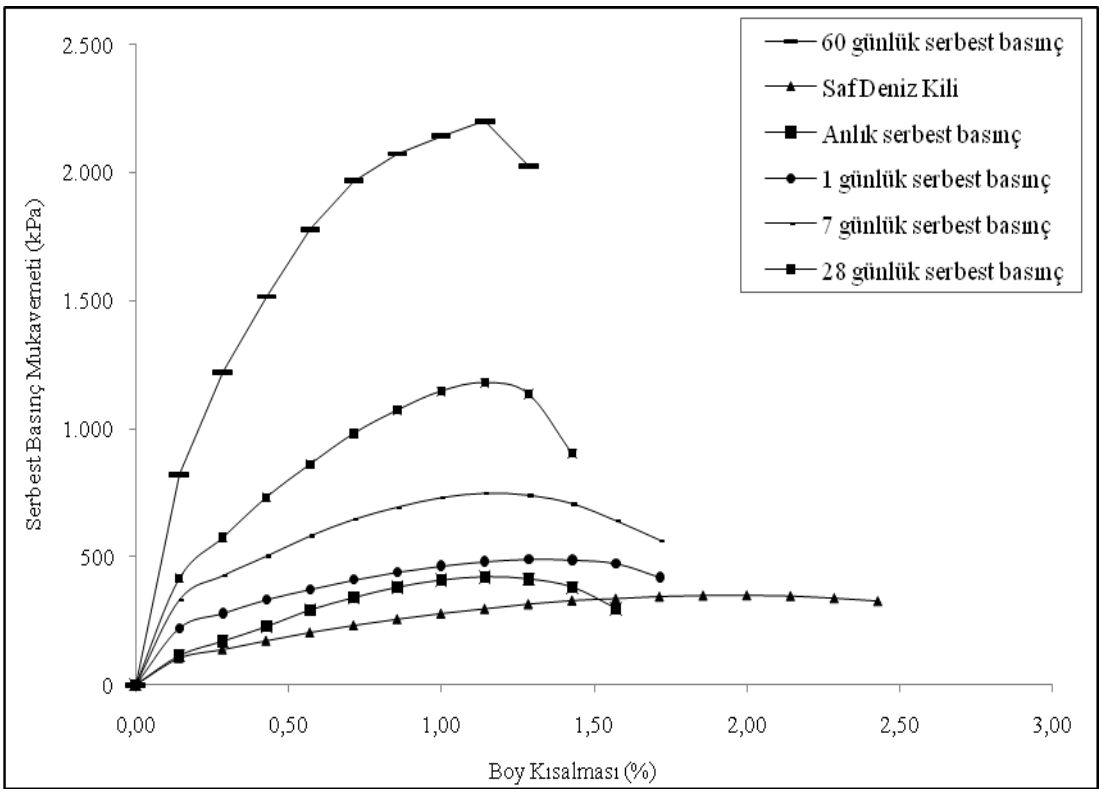
Şekil 7.20: Sönmüş kireçli numunelerin 7 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



Şekil 7.21: Sönmüş kireçli numunelerin 28 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



Şekil 7.22: Sönmüş kireçli numunelerin 60 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



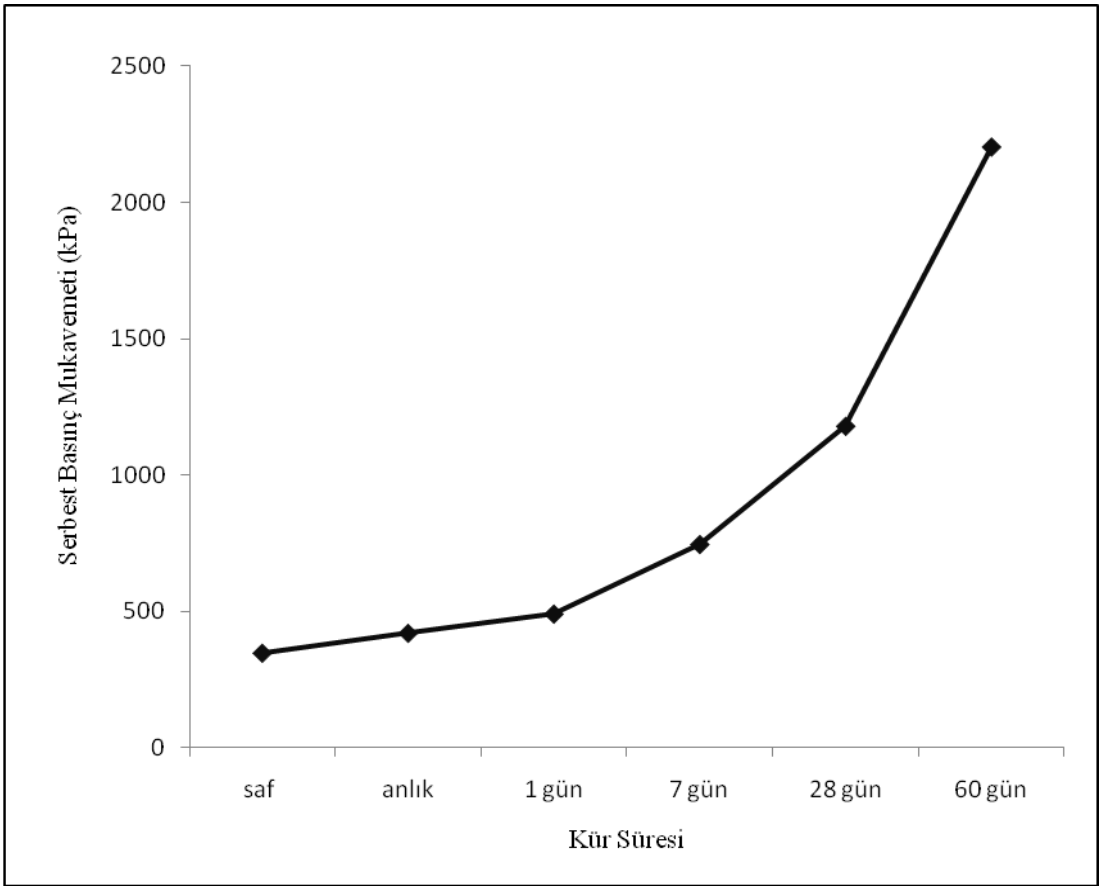
Şekil 7.23: Saf ve sönmüş kireçli deniz kili için modifiye serbest basınç-boy kısalması grafiği

Tablo 7.9: Deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç değerleri

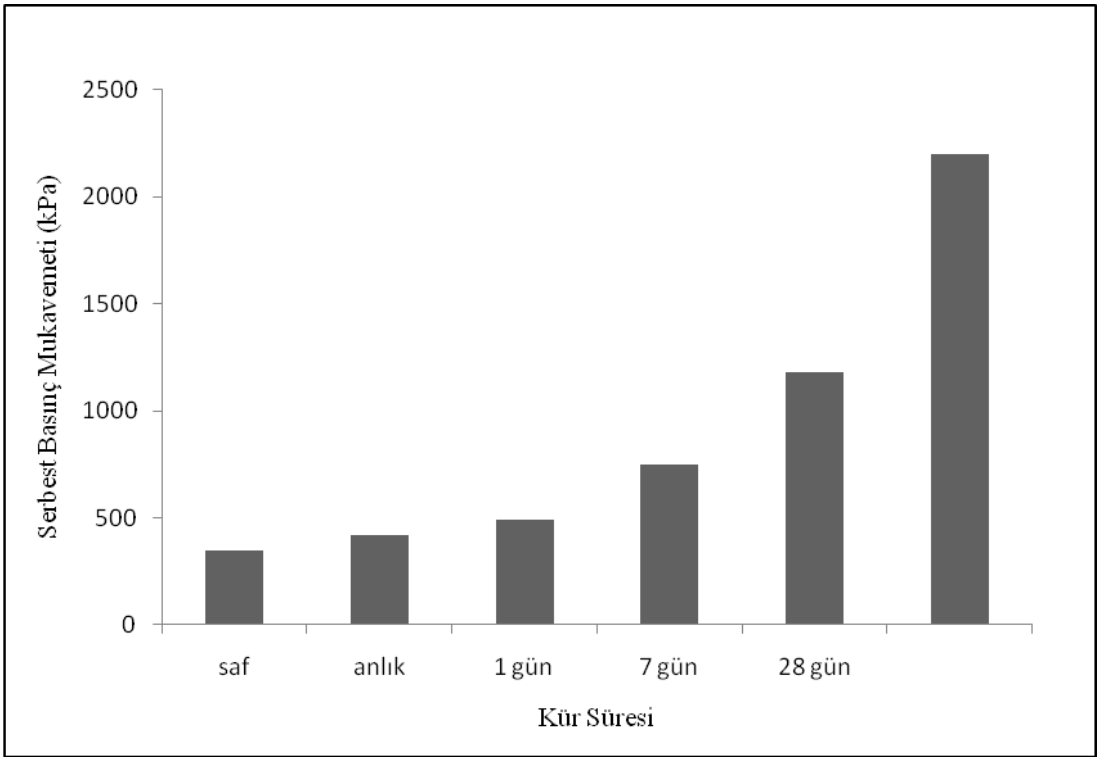
Kür Süresi	Saf	Anlık	1 gün	7 gün	28 gün	60 gün
Serbest Basınç Mukavemeti (kPa)	348.46	421.29	491.69	746.45	1179.46	2201.96

Şekil 7.23' den ve Tablo 7.9' dan görüldüğü gibi deniz kilinin serbest basınç mukavemeti 348.46 kPa iken, kireç ilavesi ile serbest basınç mukavemeti kısa dönemde (28 gün) yaklaşık olarak dört kat, uzun dönemde ise (60 gün) 7 kat artış göstermiştir.

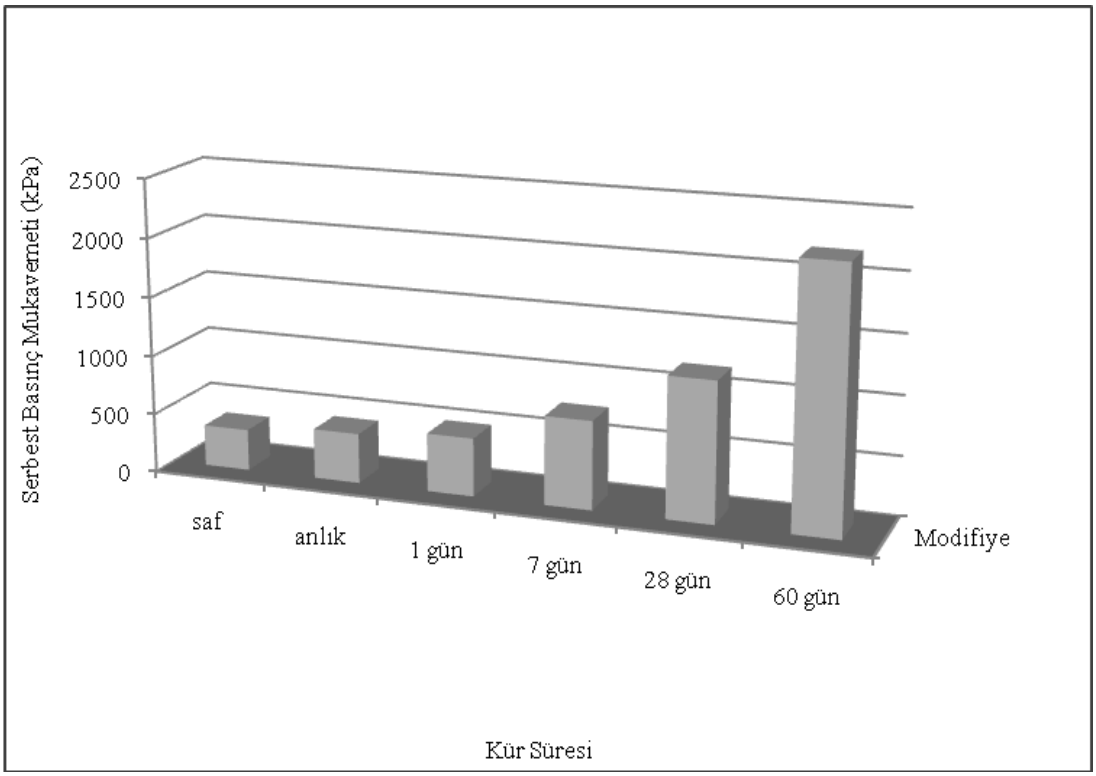
Bu artışlardan da gözlemlenebileceği gibi kireç, deniz kilinin dayanımını kısa ve uzun vadede ciddi oranlarda arttırmakta ve vade uzadıkça dayanımda doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 7.24, 7.25 ve 7.26' da değişik kür sürelerinde bulunan serbest basınç değerleri grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.24: Saf, % 5 kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri

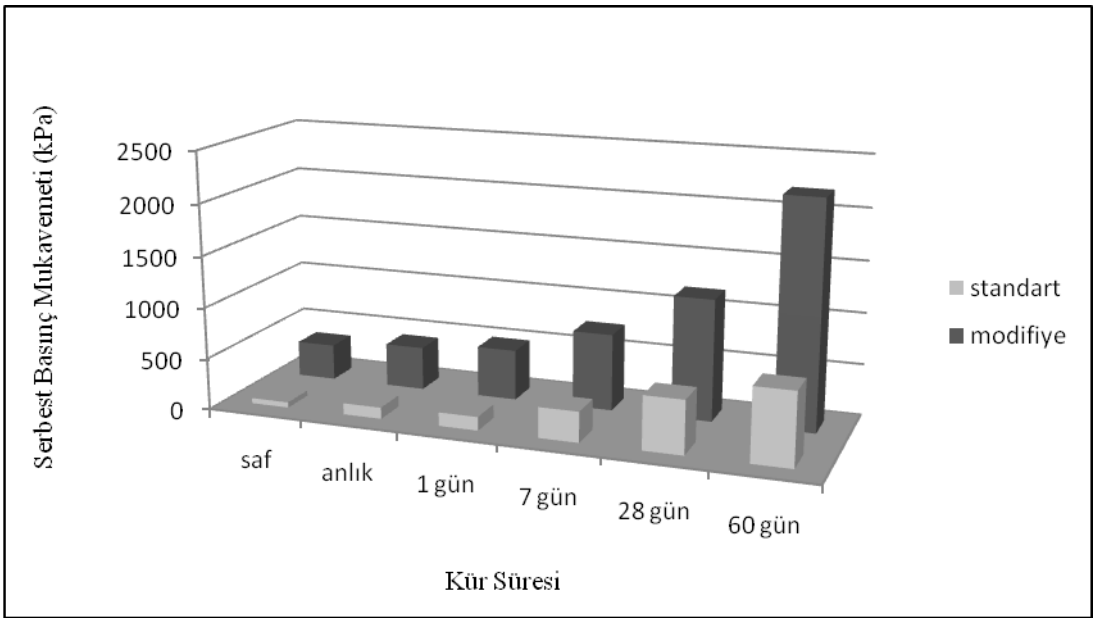


Şekil 7.25: % 5 sönmüş kireç + deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri



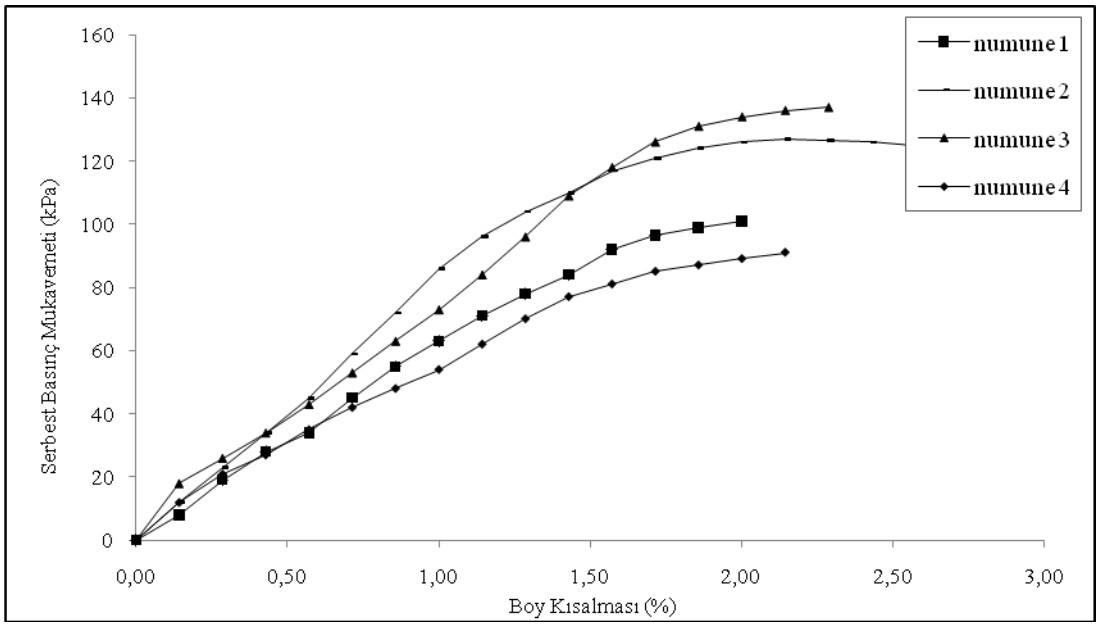
Şekil 7.26: Saf, % 5 sönmüş kireçli deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç mukavemeti değerleri

Standart ve modifiye serbest basınç deneylerinden görüldüğü gibi deniz kilinin mukavemetinde, kireç ilavesi ile birlikte kısa ve uzun dönemde çok ciddi artışlar olmaktadır. Şekil 7.27' de serbest ve modifiye serbest basınç deneylerinin sonuçları kıyaslamalı olarak gösterilmektedir.

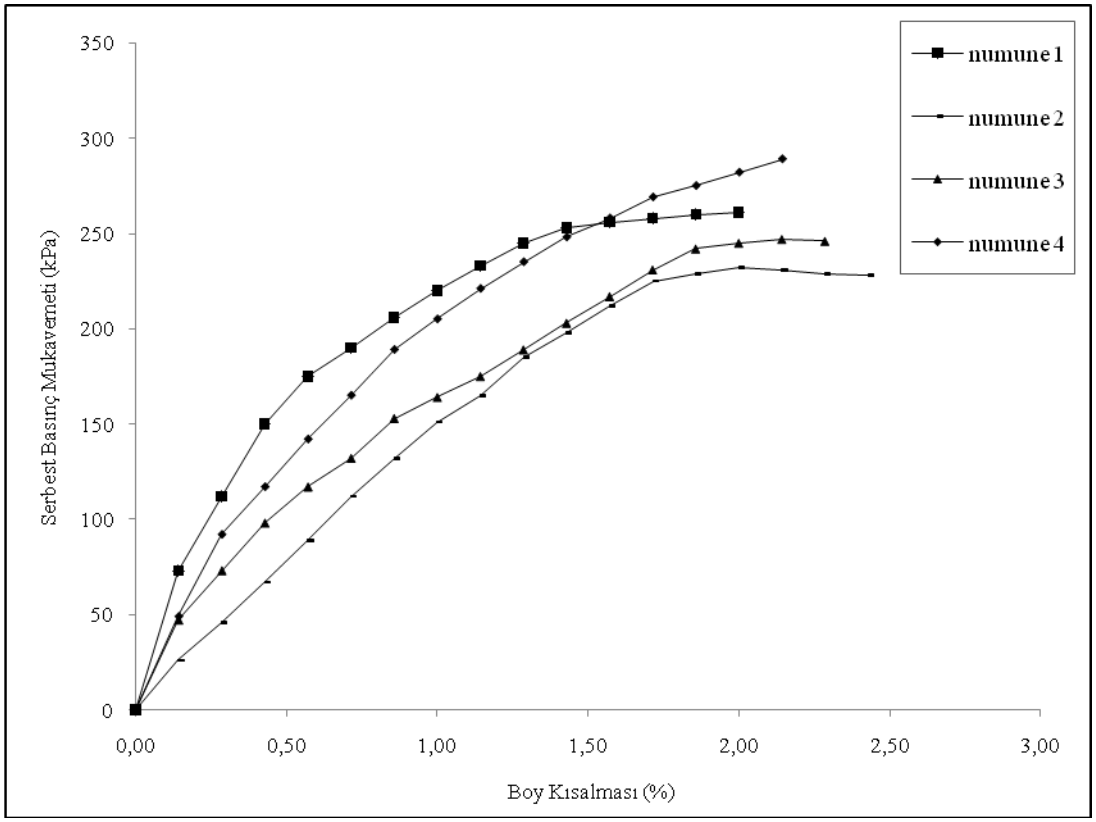


Şekil 7.27: Standart ve modifiye serbest basınç deneyleri

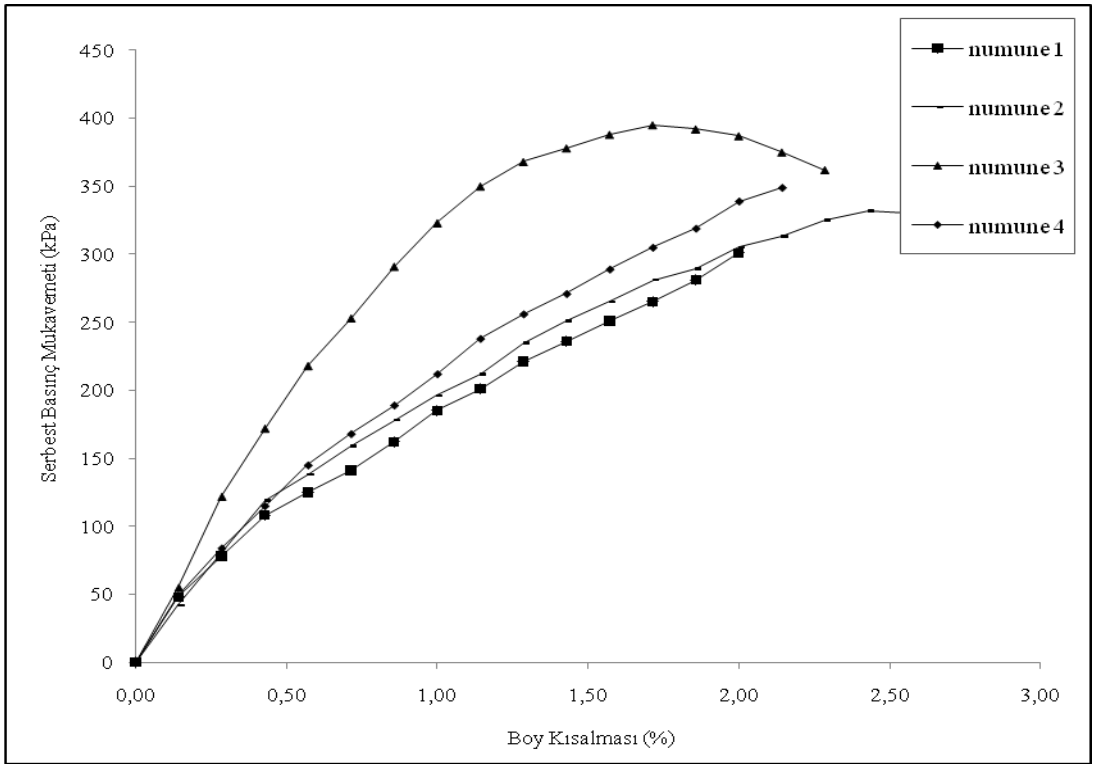
7.5.2.2. Doğal su muhtevasında saf ve ağırlıkça % 5 sönmemiş kireçli modifiye serbest basınç deneyleri



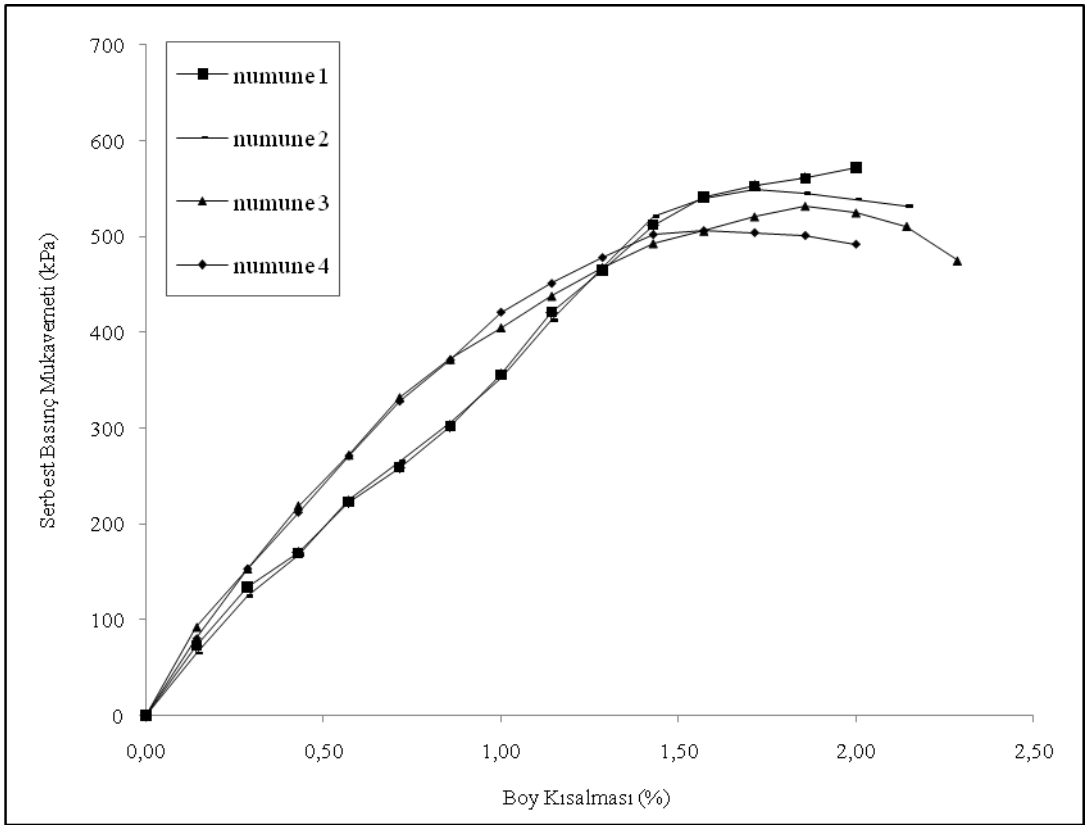
Şekil 7.28: Sönmemiş kireçli numunelerin anlık serbest basınç-boy kısalması grafiği



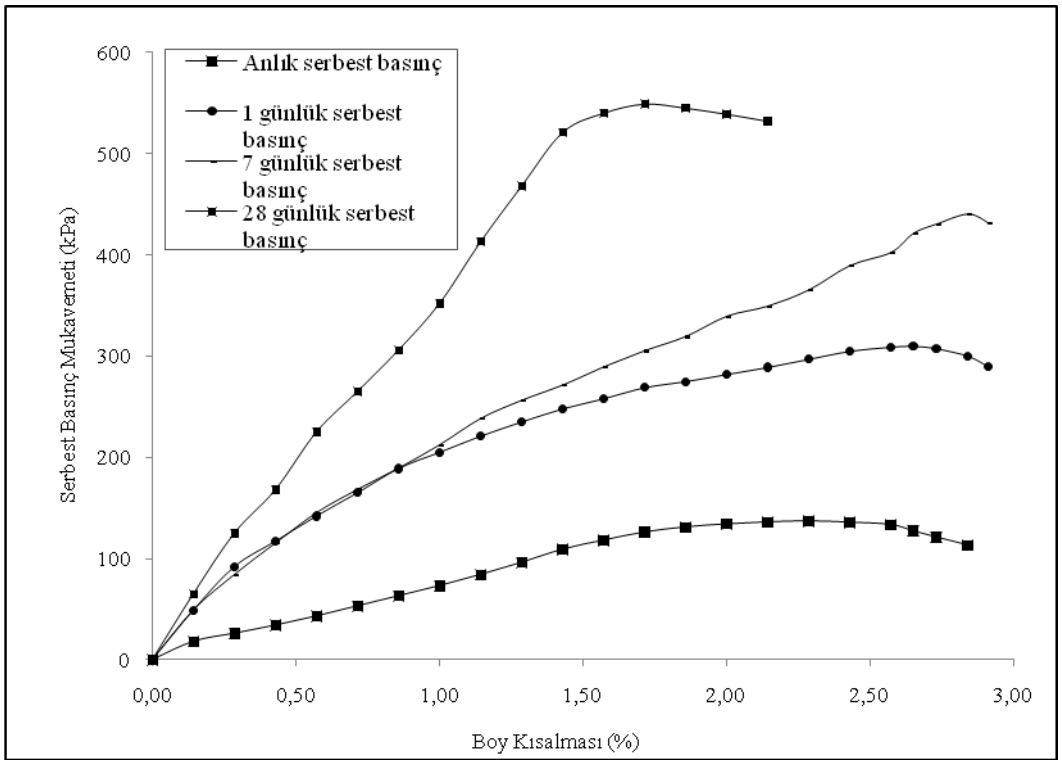
Şekil 7.29: Sönmemiş kireçli numunelerin 1 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



Şekil 7.30: Sönmemiş kireçli numunelerin 7 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği



Şekil 7.31: Sönmemiş kireçli numunelerin 28 günlük serbest basınç-boy kısalması grafiği

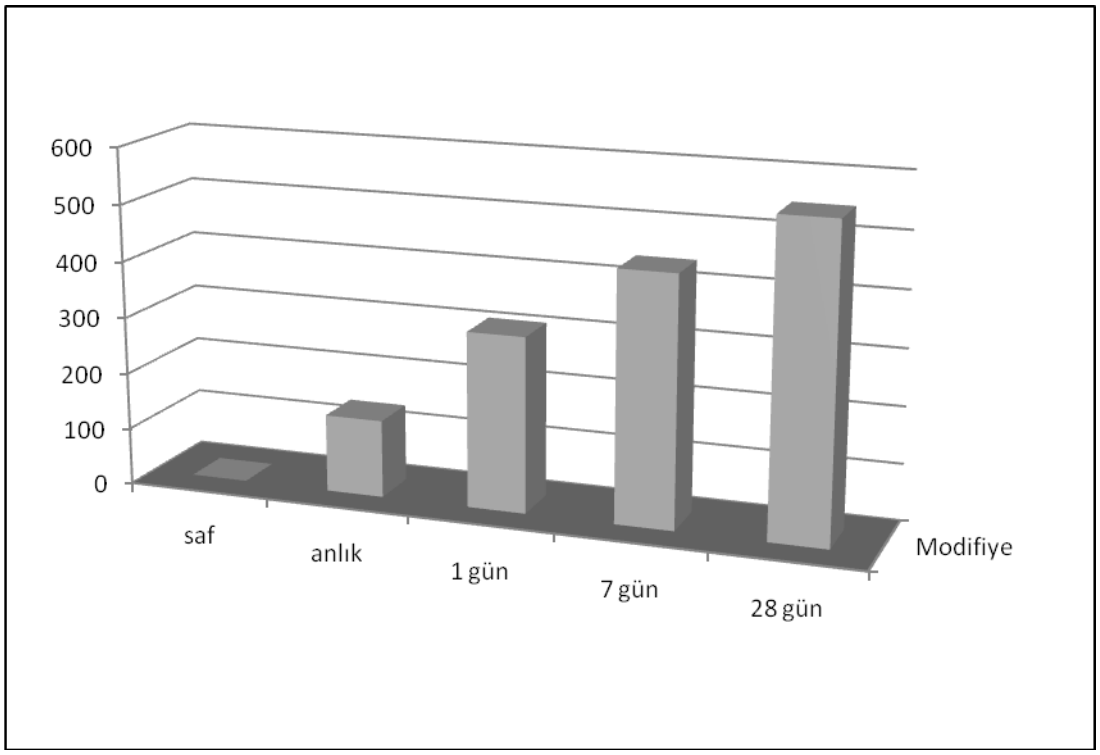


Şekil 7.32: Sönmemiş kireçli deniz kili için serbest basınç-boy kısalması grafiği

Tablo 7.10: Deniz kili için değişik kür sürelerindeki serbest basınç değerleri

Kür Süresi	Saf	Anlık	1 gün	7 gün	28 gün
Serbest Basınç Mukavemeti (kPa)	0,00	137,00	310,00	440,00	549,00

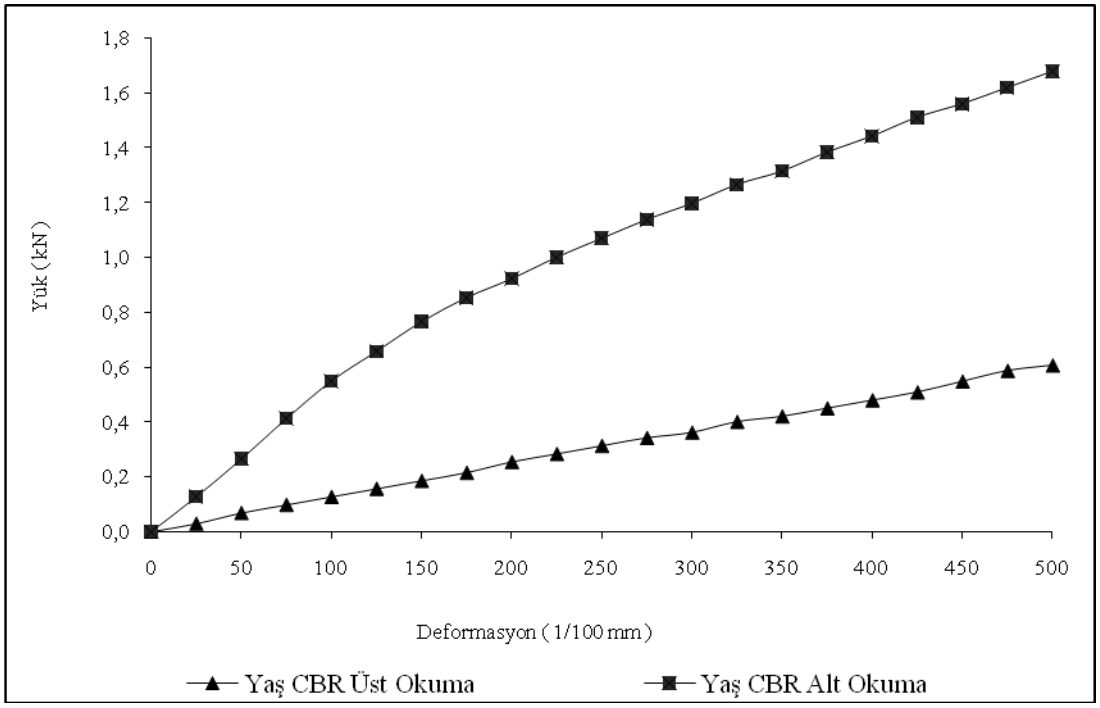
Şekil 7.32' den ve Tablo 7.10' dan görüldüğü gibi saf deniz kilinin serbest basınç mukavemeti doğal su muhtevasından dolayı sıkıştırma yapılamadığı için0,00 kPa iken, kireç ilavesi ile serbest basınç mukavemeti kısa dönemde (28 gün) 549,00 kPa' a çıkarak çok ciddi bir dayanım artışı sağlanmıştır.



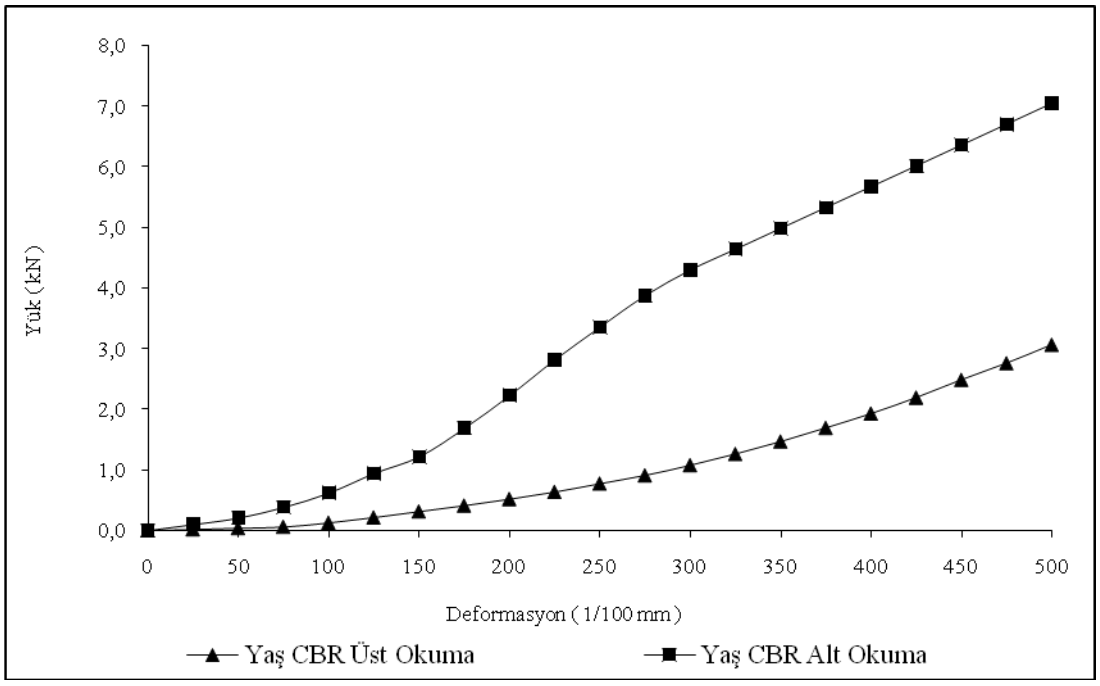
Şekil 7.33: Saf, % 5 sönmemiş kireçli deniz kili için serbest basınç mukavemeti değerleri

7.6. Yaş CBR Deneyleri

Saf ve %5 kireçli deniz kili için yapılan deneyler 4 gün suda bekletilerek yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına bakıldığında % 5 kireçli deniz kilinin mukavemeti saf deniz kilinin mukavemetine oranla yaklaşık 5 kat artmıştır. Şekil 7.34' de saf deniz kilinin yaş CBR deneyi sonuçları gösterilmiştir.

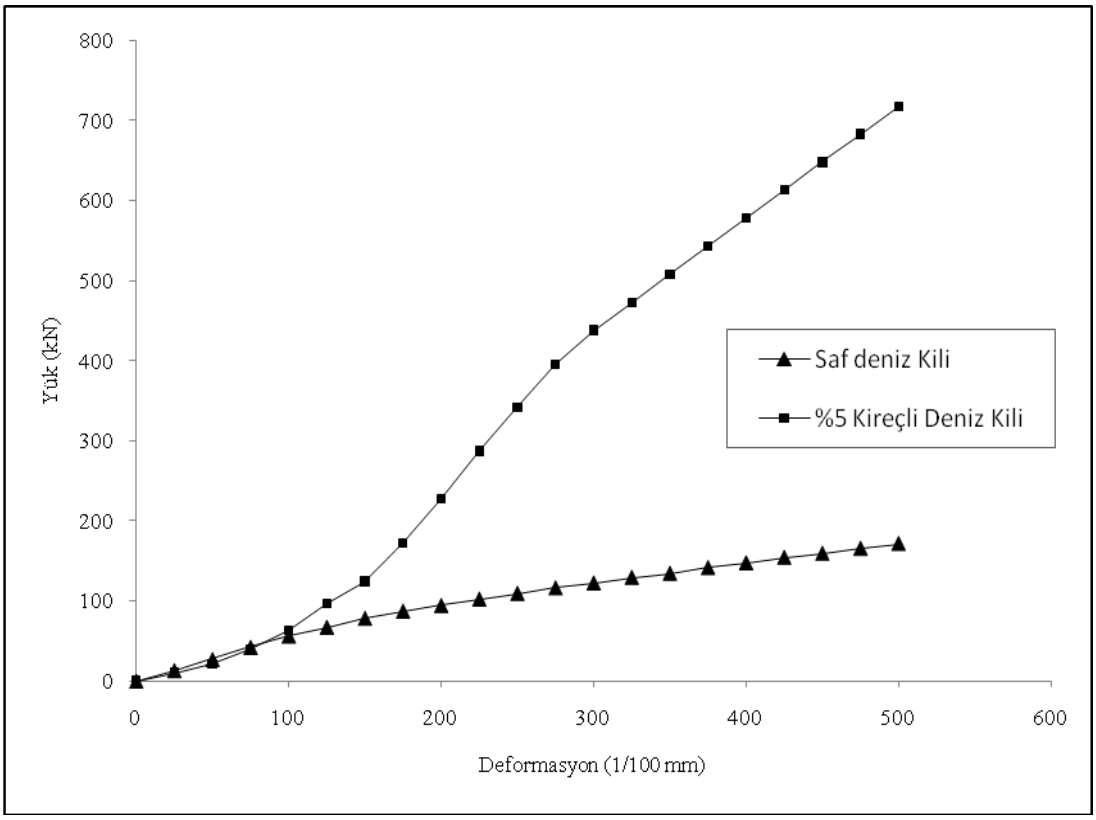


Şekil 7.34: Saf deniz kilinin yaş CBR deneyi

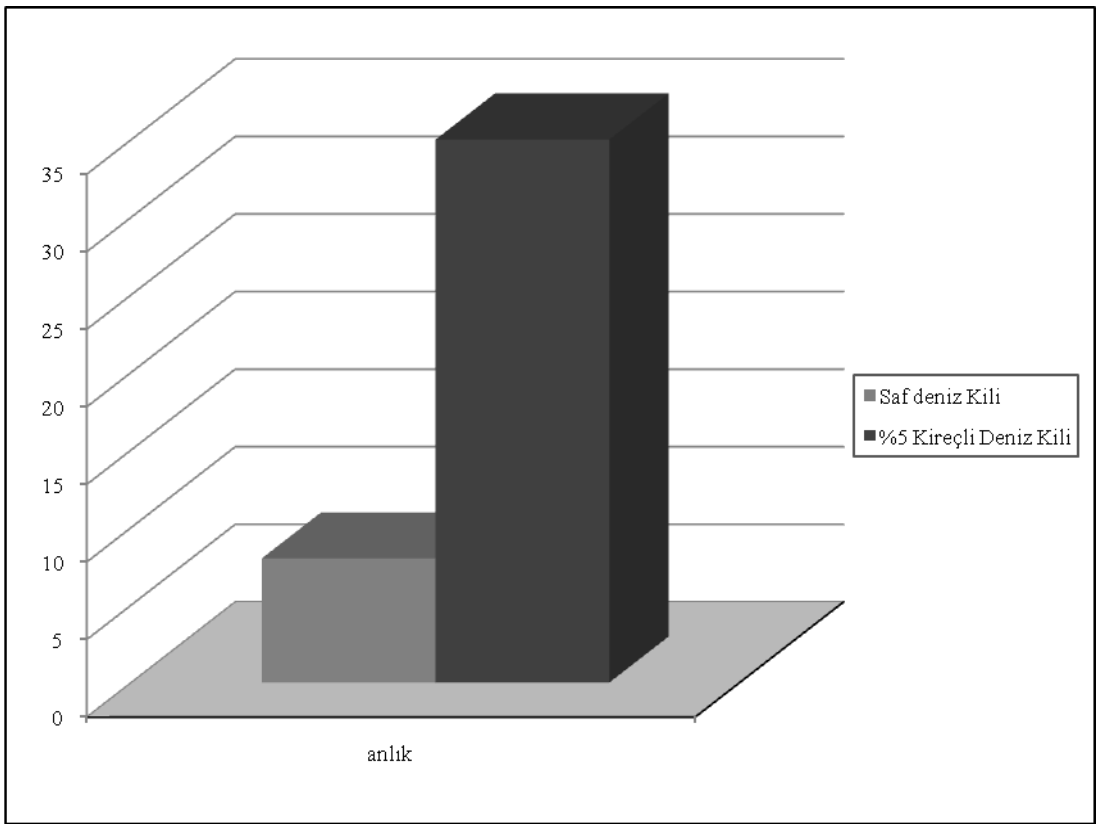


Şekil 7.35: % 5 Kireçli deniz kilinin CBR deneyi

Saf durumdaki deniz kili için yaş CBR değeri 8 iken % 5 kireç ilavesiyle bu değer 35’ e kadar yükselmiş, şişme miktarı 13.62 mm iken 2.41 mm’ ye kadar düşmüştür. Şekil 7.30’ da saf ve % 5 kireçli deniz kilinin yaş CBR değerleri kıyaslamalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 7.36: Saf ve % 5 kireçli deniz kili yaş CBR deneyi



Şekil 7.37: Saf ve % 5 kireçli deniz kili yaş CBR değerleri

7.7. Laboratuar Deneyleri Sonuçları

- Kireç stabilizasyonunun, deniz killerinin geoteknik özelliklerini iyileştirmekte etkili bir yöntem olduğu yapılan deneyler sonucunda anlaşılmıştır. Kireç stabilizasyonu sonucunda deniz kili daha ufalanabilir bir hale gelmiş, likit limit ve plastisite indisleri düşmüş, plastik limit artmıştır.

  Saf haldeki deniz kili için plastik limit % 23 iken % 5 kireç ilavesi ile % 32 ye çıkmıştır. Plastisite indisi ise % 18 iken bu değer % 5 kireç ilavesi ve 1 saatlik kür süresi ile % 12' ye kadar düşmüştür. Bu sayede zeminin sıkılığı artmış ve işlenebilirliği kolaylaşmıştır.

- Deniz kiline kireç ilave ettikçe kısa dönemde optimum su muhtevasında artış, maksimum KBHA değerlerinde düşüş, yaş CBR değerlerinde artış ve proktor eğrilerinde düzleşme tespit edilmiştir.

  Saf haldeki deniz kilinde modifiye proktor deneyi sonuçlarına bakıldığında; optimum su muhtevası % 10.5 iken % 5 kireç ilave edilmesiyle % 15.5' e çıkmış, maksimum KBHA değeri de 19.4 kN/m³ iken bu değer 19.0 kN/m³' e düşmüştür. Aynı şekilde Harvard proktor deneylerine bakıldığında standart için; saf deniz kilinin optimum su muhtevası % 12 iken % 5 kireç ilavesiyle % 17' e çıkmış, maksimum KBHA değeri 18.4 kN/m³ iken % 5 kireç ilavesiyle 15.9 kN/m³' e düşmüştür. Harvard modifiye proktor deneylerine bakıldığında modifiye için; saf deniz kilinin optimum su muhtevası % 11 iken % 5 kireç ilavesiyle % 15' e çıkmış, maksimum KBHA değeri 19.4 kN/m³ iken % 5 kireç ilavesiyle 18.9 kN/m³' e düşmüştür.

- Deniz kiline kireç ilave edilmesi ile birlikte zaman içerinde çimentolaşma etkisi ile serbest basınç mukavemetlerinde, CBR değerlerinde ve şişme – büzülmeye karşı zeminin direncinde artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

Doğal su muhtevasında saf zeminde serbest basınç numunesi dahi hazırlanamıyorken zemine ağırlıkça 5% oranında sönmemiş kireç ilave edildiği zaman mukavemetinde ciddi oranda farklılıklar gözlemlenmiştir. Doğal su muhtevasında saf zeminin dayanımı 0,00kPa iken sönmemiş kireç ilave edildikten sonra 28 günlük kür süresinin sonunda dayanımı 549,00 kPa' a çıkarak ciddi bir mukavemet kazanmıştır.

Optimum su muhtevasında ağırlıkça 5% sönmüş kireçle yapılan standart serbest basınç deneylerine bakıldığında; saf haldeki deniz kilinin mukavemeti 70.71 kPa iken 28 günlük kür süresinin sonunda 518.92 kPa' a, 60 günlük kür süresinin sonunda ise 710.11 kPa' a kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Aynı şekilde optimum su muhtevasında ağırlıkça 5% sönmüş kireçle yapılan modifiye serbest basınç deneylerine bakıldığında; saf deniz kilinin mukavemeti 348.46 kPa iken 28 günlük kür süresinin sonunda 1179.46 kPa' a, 60 günlük kür süresinin sonunda ise 2122.72 kPa' a kadar çıktığı belirlenmiştir.

- CBR deneyi sonuçları incelendiğinde saf deniz kilinin mukavemeti 8 iken % 5 kireç ilavesi ile bu değer 35' e kadar çıkmış ve ciddi oranda dayanımda artışlar elde edilmiştir.

- Saf deniz kilinde şişme miktarı 13.62 mm iken % 5 kireç ilavesi ile bu değer 2.41 mm' ye kadar düşmüştür. Bu sonuçlara bakıldığında kirecin, deniz kilinin şişme miktarını azalttığı gözlemlenmiştir.

8. SEM VE XRD ANALİZLERİNİN SONUÇLARI

8.1. Deniz Kili – Kireç Reaksiyonları

Narasimha Rao ve Rajasekaran (1992), deniz yataklarından alınan deniz kili numunelerine kireç ekleyerek SEM ve XRD analizleri yapmışlardır. İlk aşamada kireç mineralleri, deniz kili numuneleriyle anında tepkimeye girmiştir. 1 günlük kür süresinin sonucunda, deniz kili – kireç karışımı numunelerin yoğunluğunda azalmalar gözlemlenmiştir. Uzun vadedeki numuneler incelendiğinde, numunelerde kristal kaolinit parçacıklarına rastlanmıştır.

Kireç – kil karışımı sonucunda çimentolaşma, topaklanma, katyon değişimi, karbonatlaşma ve puzzolonik reaksiyonlar gözlemlenmiştir (Kodandaramaswamy ve Rajasekaran, 1994).

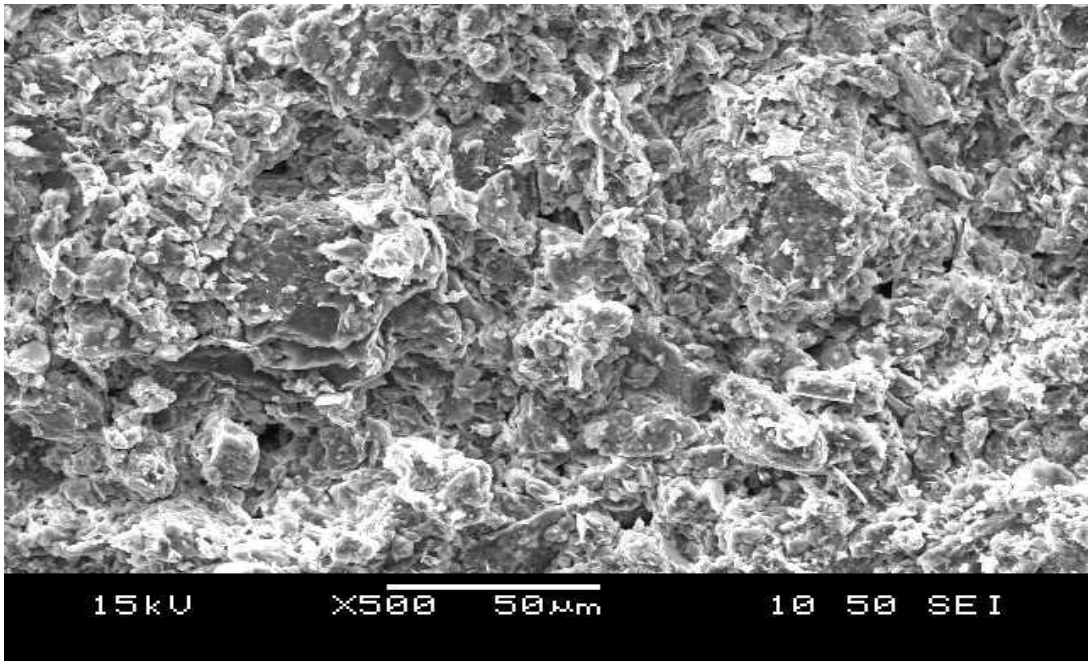
Deniz kili – kireç karışımının SEM ve XRD analizleri yapıldığında topaklanmanın meydana geldiği ve zeminin dayanımının ciddi oranlarda arttığı belirlenmiştir (Narasimha Rao ve Rajasekaran, 1992).

Çimentolaşma etkisi sonucunda kirecin deniz kiliyle reaksiyona girmesiyle kalsiyum alüminat hidratlar ve kalsiyum silikat hidratlar oluşmuş ve zeminin dayanımını arttırmışlardır.

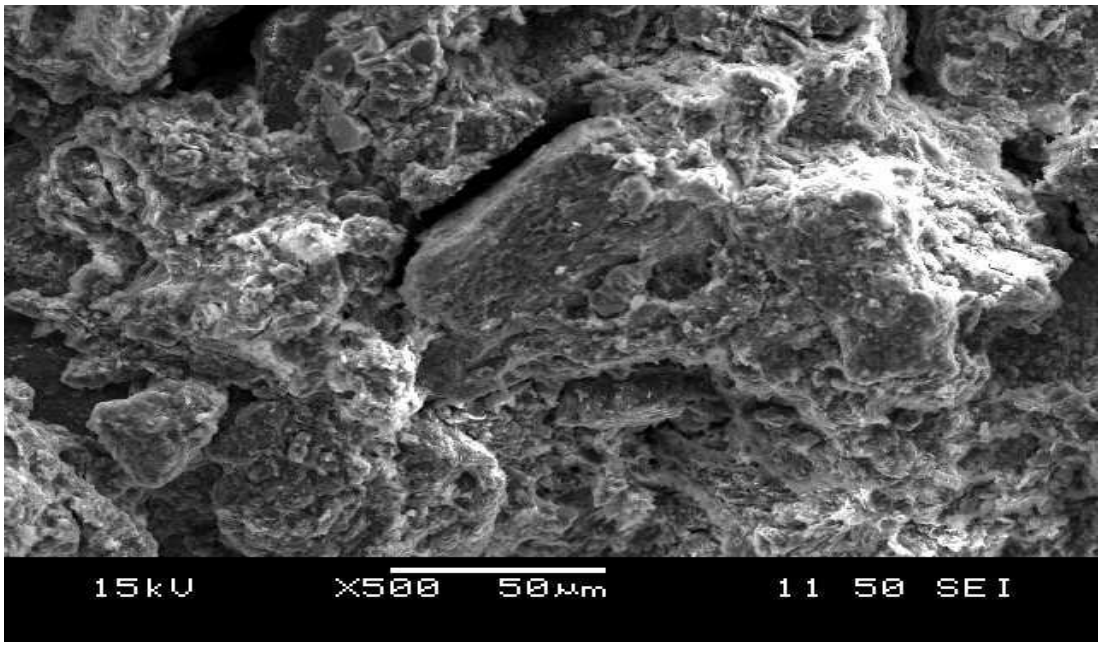
8.2. SEM Analiz sonuçları

SEM analizleri ilk olarak doğal deniz kilinde uygulanmıştır. Burada yarı kantitatif denilen yöntemle analiz yapılmıştır. Görüntüler 500, 2500, 5000 ve 10000 kat büyütülerek incelenmiştir. Yapısında montmorillonit ve kuars minerallerine rastlanmıştır.

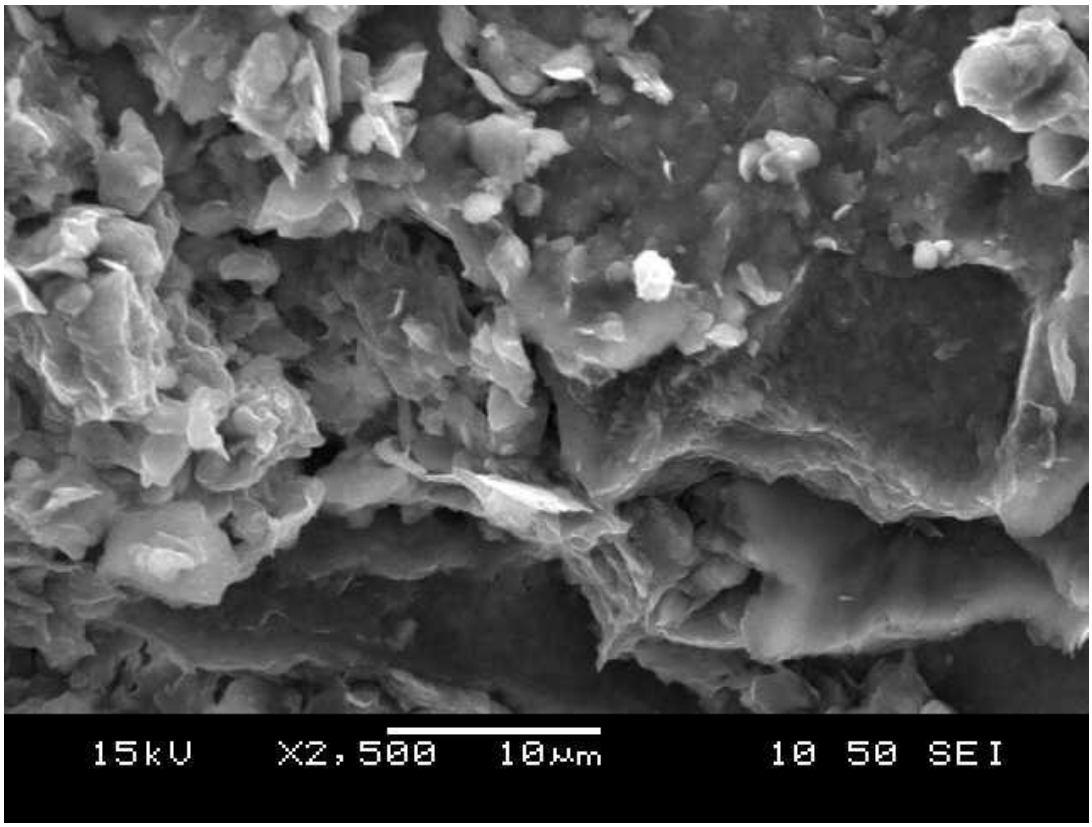
Deniz kiline % 5 kireç ilave edilip uzun dönem kür edilmiş olan numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde yapısında plakalar halinde kaolinit ve kuars mineralleri olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8.1, 8.3, 8.5 ve 8.7' de doğal deniz kilinin, Şekil 8.2, 8.4, 8.6 ve 8.8' de deniz kili – kireç karışımının SEM görüntüleri verilmiştir.



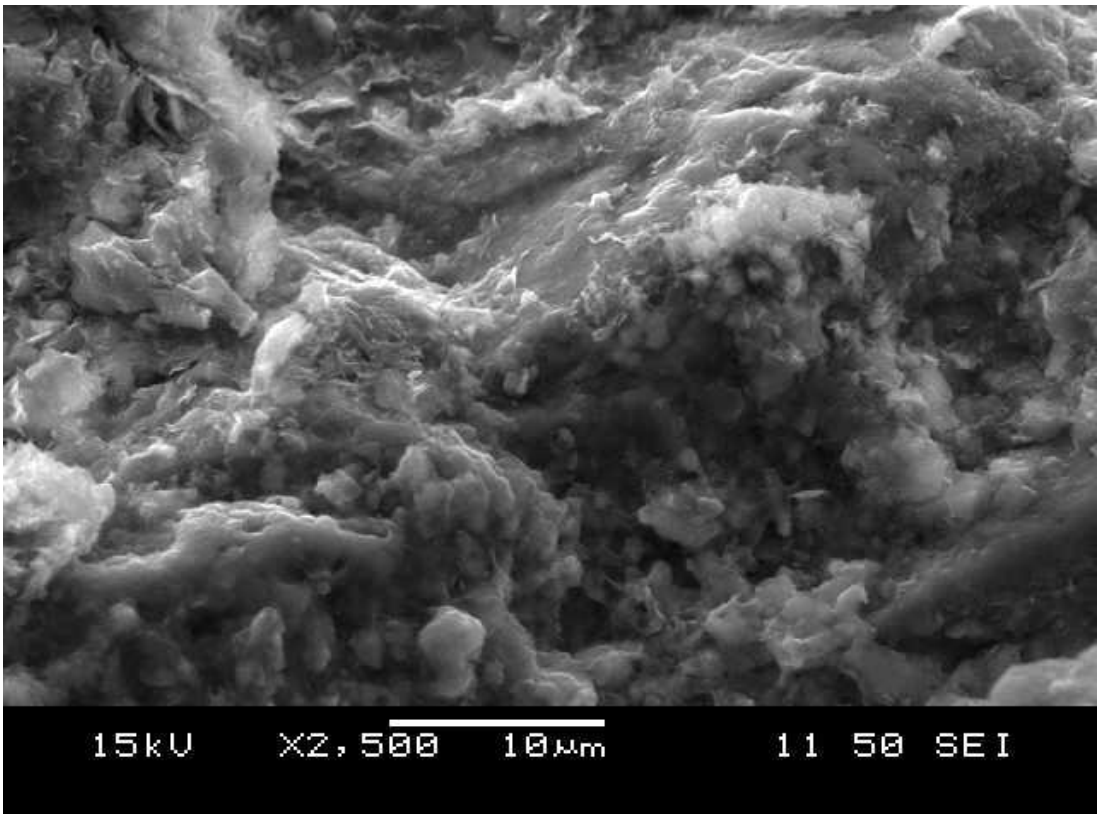
Şekil 8.1: Doğal deniz kili 500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü



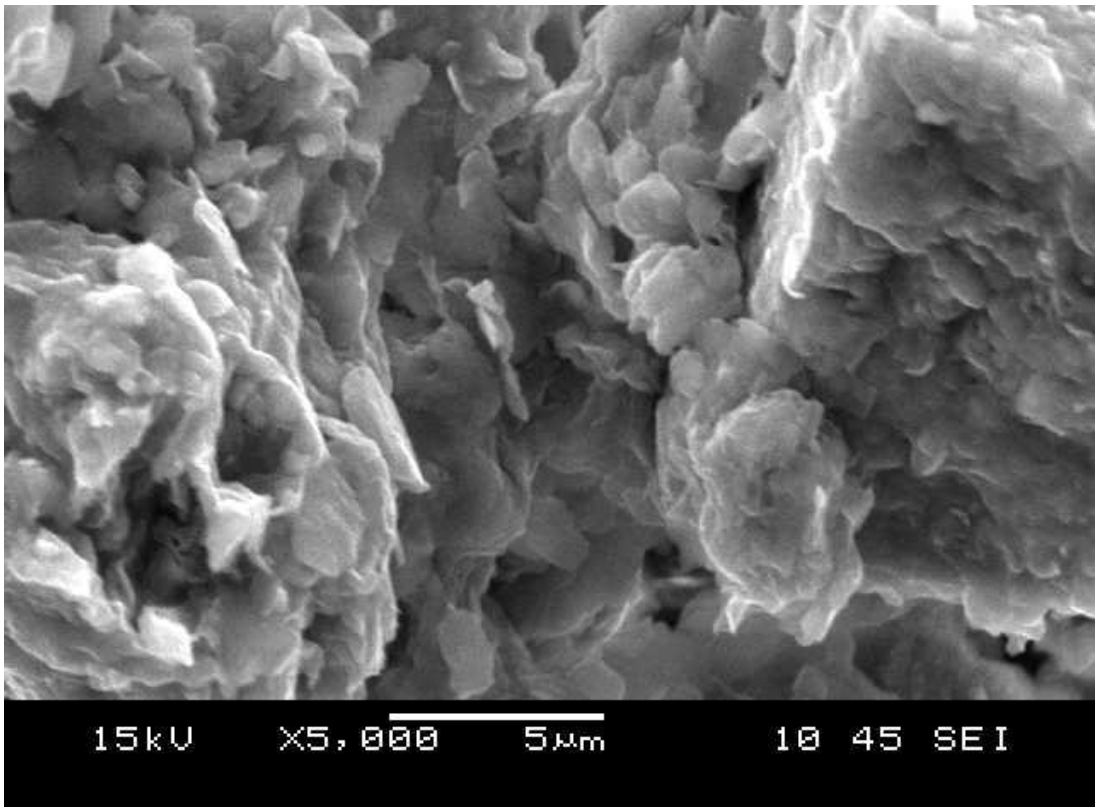
Şekil 8.2: Deniz kili – kireç karışımı 500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü



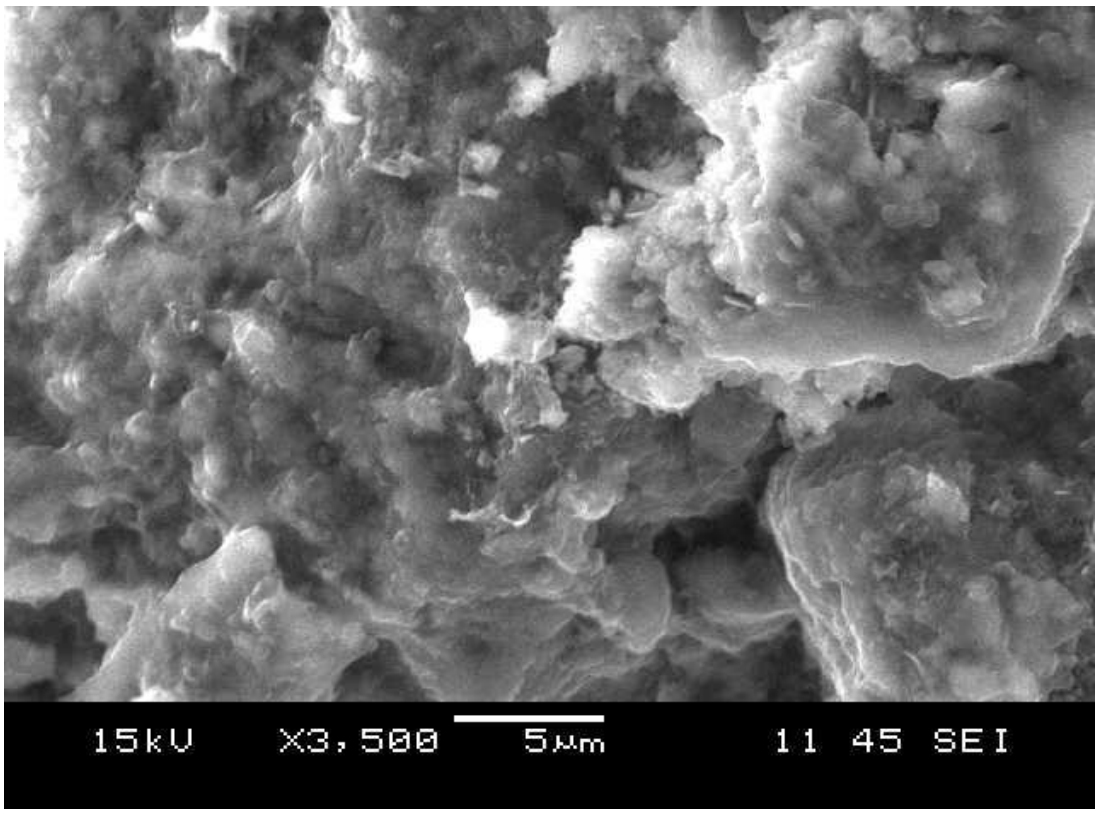
Şekil 8.3: Doğal deniz kili 2500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü



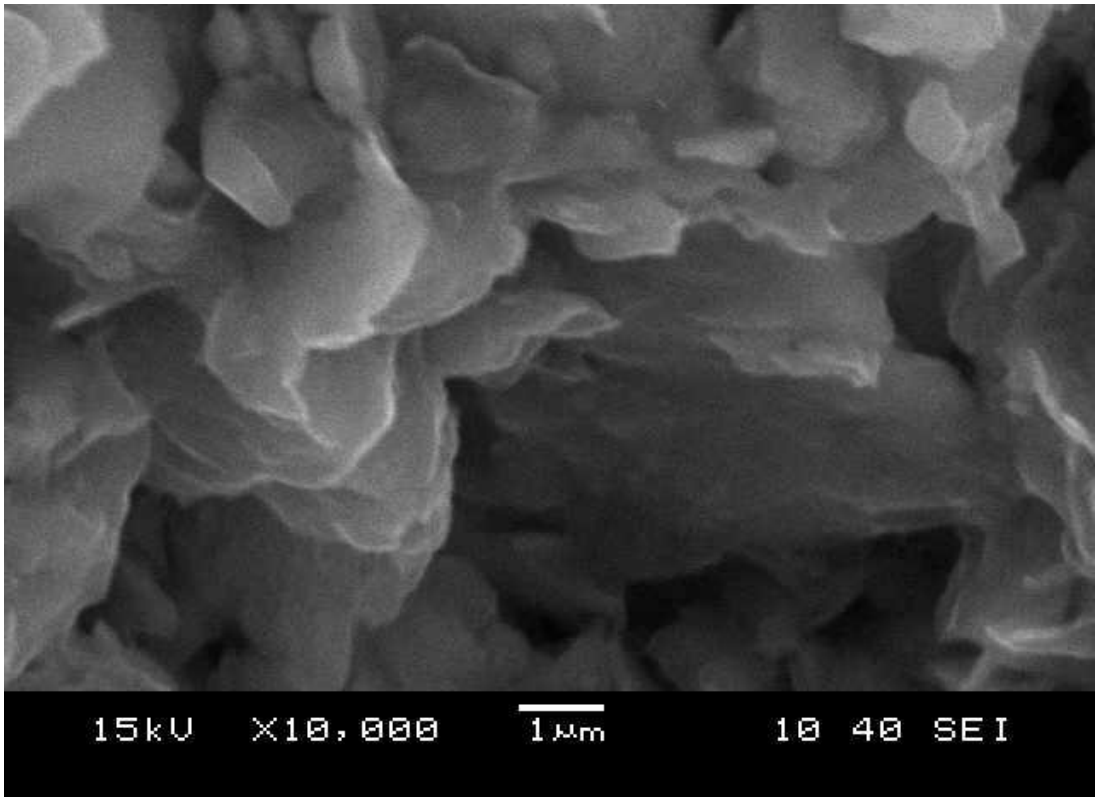
Şekil 8.4: Deniz kili – kireç karışımı 2500 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü



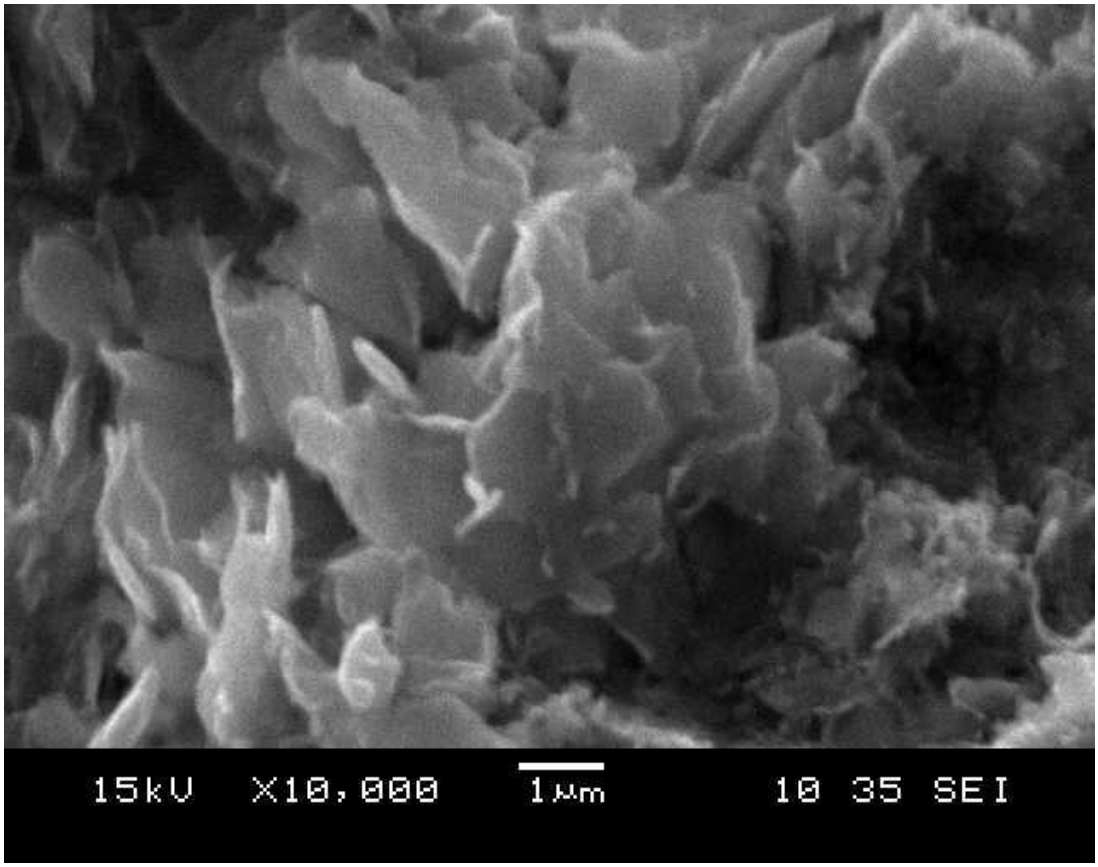
Şekil 8.5: Doğal deniz kili 5000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü



Şekil 8.6: Deniz kili – kireç karışımı 5000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü



Şekil 8.7: Doğal deniz kili 10000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü

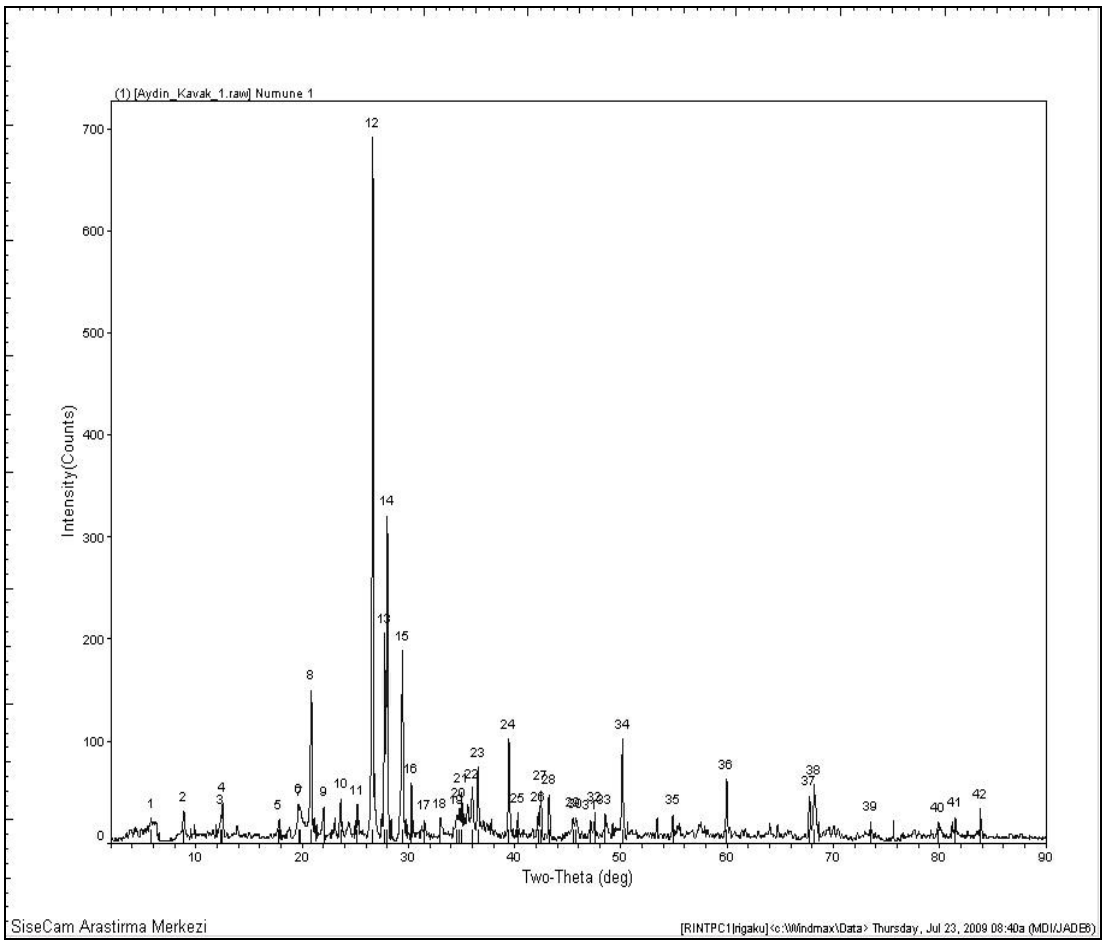


Şekil 8.8: Deniz kili – kireç karışımı 10000 kat büyütülmüş SEM analizi görüntüsü

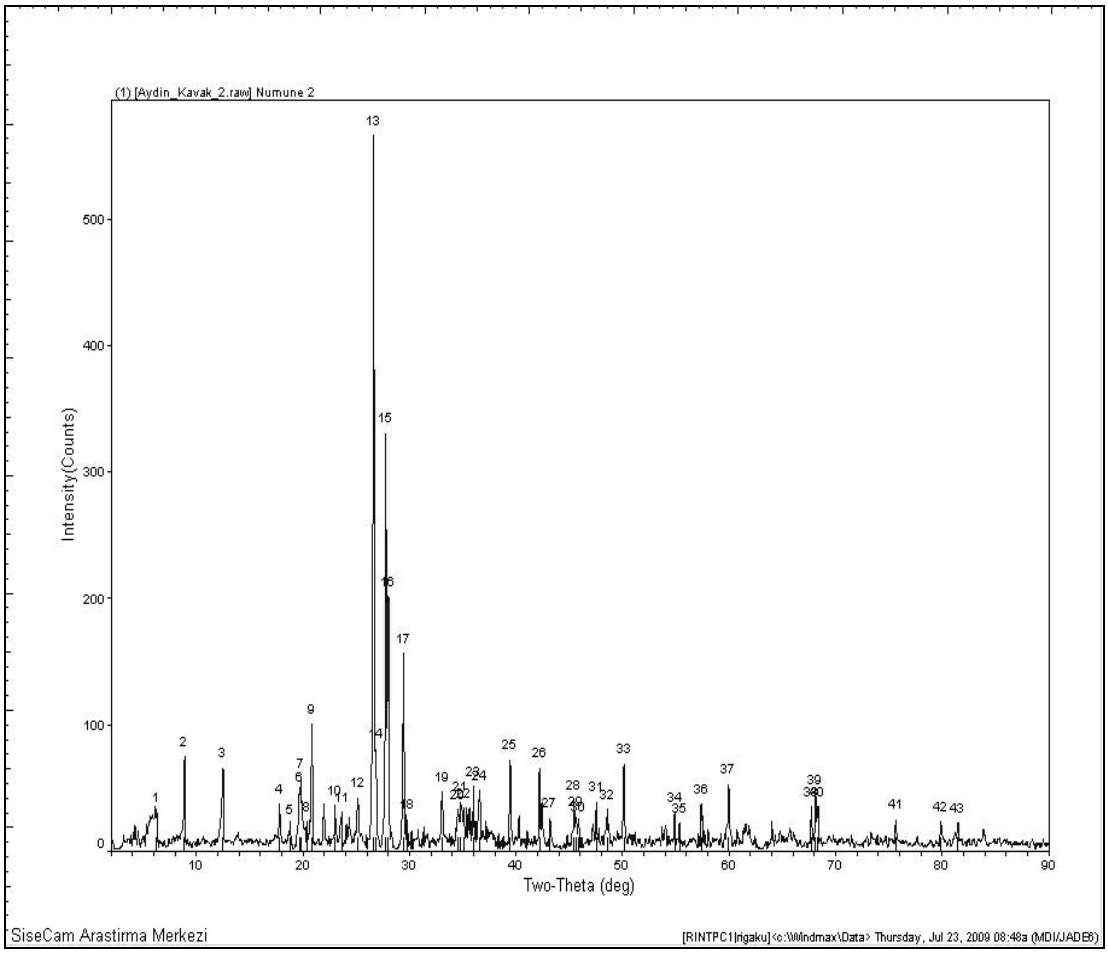
SEM analizlerinin sonuçları incelendiğinde levhamsı yapıda montmorillonit kristallerine rastlanmıştır. Yapısında yoğun bir şekilde anorhite ve kuars mineralleri gözlemlenmiştir.

8.3. XRD Analiz Sonuçları

Deniz kili için yapılan XRD analizlerinin sonuçlarına bakıldığında, yapısında yüksek şişme potansiyeline sahip montmorillonit ve kuars minerallerine rastlanmıştır. Deniz kiline % 5 oranında kireç ilave edildiğinde, yoğun bir şekilde az şişme potansiyeline sahip kaolinit minerallerine rastlanmıştır. Analizler sonucunda kalsiyum silikat hidra ve kalsiyum alümünit hidrat gruplarının reaksiyon sonucu oluştuğu görüldü. Şekil 8.9' da doğal deniz kilinin XRD analiz sonuçları, Şekil 8.10' da % 5 kireçli deniz kilinin XRD analiz sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 8.9: Deniz kilinin XRD analizi sonucu



Şekil 8.10: % 5 kireçli deniz kilinin XRD analizi sonucu

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uygulanmış olan laboratuar deneyleri ve araziye uyumluluk açısından yapılmış olan CBR deneyleri sonucunda saf ve % 5 kireçli zeminler arasında geoteknik ve kimyasal özellikler bakımından ciddi farklılıklar gözlemlenmiştir. Geoteknik özelliklere bakıldığında;

- Saf zemine belirli oranlarda katılan kirecin 1 saatlik kür koşullarında bekletilmesinden sonra yapılan Atterberg kıvam limitleri deneylerine bakıldığında, likit limit değerlerinde düşüş, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinde eklenen kireç miktarıyla doğru orantılı olarak artış gözlemlenmiştir. Bu da yüksek bir su muhtevasına sahip olan deniz kilinin kireç ilavesiyle birlikte daha katı bir kıvam aldığı ve inşaat mühendisliği açısından bakıldığında, işlenebilirliğinin arttığı anlamına gelmektedir. Deniz kilinin su ve kireçle birleşmesi sonucunda oluşan çimentolaşma reaksiyonu, kullanılan zemini gevrek bir hale getirmiş ve dolgu çalışmalarında kullanılabilme olanağı doğurmuştur.

- Saf ve optimum kireçli deniz kiline araziyle uyumluluk açısından CBR deneyleri uygulanmış ve CBR değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Saf deniz kiline oranla % 5 kireçli deniz kilinin CBR değerlerinde yaklaşık olarak beş kata kadar artış ve şişme potansiyelinde altı kata kadar azalma gözlemlenmiştir. CBR değerlerindeki artış, yol kesitlerinin azalmasına neden olacaktır. Yol kesitlerinin azalması da, yol imalatının maliyetlerinde önemli düşüşler sağlayacaktır.

- Yapılan deneyler sonuçları incelendiğinde, denizden çıkarılan malzemenin sönmüş veya sönmemiş (tercihen sönmemiş) kireçle iyileştirilebileceği belirlenmiştir. Denizden çıkan kilin su muhtevasının çok yüksek olmasından dolayı sönmemiş kireç arazi uygulamalarında daha verimli olarak kullanılabilecektir.

- İyileştirilmiş zeminde, şişme ve büzülmeye karşı stabilite artmıştır. Kireç, zeminin şişme miktarını azaltmıştır.

- CBR değerleri kireç stabilizasyonu sonrasında 35'e kadar çıkmaktadır. CBR değerlerindeki bu artış kireçle iyileştirilmiş deniz kilinin dolgu çalışmalarında alttemelin alt tabakalarında dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu da deniz kilinin hem bertarafının yapılmassı, hemde dolgu çalışmalarında kullanılabilmesi ile deniz içinde ve yakınında yapılan inşaat ve dolgu çalışma maliyetlerinde ciddi azalmalara neden olabilecektir.

- Doğal deniz kilinin SEM ve XRD analizleri yapıldığında yapısında montmorillonit ve kuars minerallerine rastlanmıştır. Deniz kiline % 5 oranında kireç ilave edildikten sonra yapılan analizlere baktığımızda, yoğun bir şekilde az şişme potansiyeline sahip kaolinit minerallerine rastlanmıştır. Analizler sonucunda kalsiyum silikat hidra ve kalsiyum alümünit hidrat gruplarının reaksiyon sonucu oluştuğu görülmüştür.

- Sönmemiş ve sönmüş kireç ilave edilmiş olan deniz kilinin serbest basınç değerlerinin kür süreleriyle doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Kısa dönemdeki standart ve modifiye serbest basınç değerleri incelendiğinde; saf deniz kiline oranla % 5 kireçli deniz kilinin dayanımında standart için yaklaşık olarak yedi kat, modifiye için yaklaşık olarak dört kat artış gözlemlenmiştir. Uzun dönem standart ve modifiye serbest basınç değerlerine bakıldığında; saf deniz kiline oranla % 5 kireçli deniz kilinin dayanımında standart için yaklaşık olarak on kat, modifiye için yaklaşık olarak altı kat artış gözlemlenmiştir. Özellikle uzun dönem serbest basınç deneyleri sonucunda optimum kireç miktarı olarak belirlenmiş olan % 5 kirecin, deniz kilin mukavemetini önemli derecede arttırdığı ve deniz kili, kireç reaksiyonlarının uzun dönemde de oluşmaya devam ettiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Abduljauwad, S.N., "Improvement of Plasticity and Swelling Potential of Calcareous Expansive Clays", ***Geotechnical Engineering Journal***, 3-16, (1995).

Al-Rawas, A.A., Taha, R., Nelson, J.D., Beit Al-Shab, T., Al-Siyabi, H., "A comparative evaluation of various addivities used in the stabilization of expansive soils", ***Geotechnical Testing Journal,*** ASTM, 25(2), 199-209, (2002).

Basma, A. A., and Tuncer, E. R., "Effect of Lime on Volume Change and Compressibility of Expansive Clays," ***Transportation Research Record,*** No. 1295, (1998).

Bell, F.G., "Lime stabilization of clay minerals and soils", ***Engineering Geology,*** 42, 223-237, (1996).

Biswas, B.R., "Study of Accelerated Curing and Other Factors Influencing Soil Stabilization", ***Dissertation presented to Texas A&M University***, College Station, Texas, (1972).

Bjerrum, L., "Problems of soil mechanics and construction on soft clays", ***Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,*** Moscow vol.3, 109-159, (1973).

Bjerrum, L., "Geotechnical problems involved in foundation of structures in North Sea", ***Geotechnique,*** 23, 319-358, (1973b).

Blacklock, J.R. and Pengilly, A.D., "Soil treatment for foundations on expansive clay" ***B.M. Special Topics in Foundations,*** 73–92, (1988).

Broderick, G.P., Daniel, D., "Stabilizing compacted clay against chemical attack", ***Journal of Geotechnical Engineering Division,*** 116, 10, (1990).

Broms, B.B., Boman, P., "Lime Stabilized Columns", ***5th Asian Reg. Conf. On Soil Mech. And Found. Engg.,*** Banglore (India), 227-234, (1975).

Brown, G., Brindley, G.W., "Crystal structure of clay minerals and their x-ray identification", ***Mineralogical Society,*** London, 305-359, (1980).

Choquette, M., Berube, M.A., Locat, J., "Mineralogy and microstructural changes associated with lime stabilization of marine clays from Eastern Canada", ***Applied Clay Science,*** 2, 215-232, (1987).

Clare, K.E., Crunchley, A.E., "Laboratory experiments in the stabilization of clays with hydrated lime", ***Geotechnique Vol.,*** 5, 97-111, (1957).

Croft, J.B., "The process involved in the lime stabilization of clay soils", ***Australian Research Board,*** 2, 1169-1203, (1967).

Diamond, S., Kinter, E.B., "Mechanisms of soil-lime stabilization: an interpretive review", ***Highway Research 92***, HRB, National Research Council, Washington, D.C., 83-102, (1965).

Eades, J.L., Grim, R.E., "Reactions of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization, ***Highway Research Bull. Board,*** 262, 51-63, (1960).

Eades, J. E., Grim, R. E., "Formation of New Minerals with Lime Stabilization as Proven by Field Experiments in Virginia," ***Highway Research Bulletin,*** 335, (1963).

Eades, J.L., Grim, R.E., "A quick test to determine lime requirements for lime stabilization", ***Bull. Highw. Res. Board,*** 61-72, (1966).

Focht, J.A., Kraft, L.M., "Progress in marine geotechnical engineering", ***J. Geotech. Eng. Div.,*** 103, 1097-1118, (1977).

Goldberg, I., Klein, A., "Some effects of treating expansive clays with calcium hydroxide", ***ASTM Special Publication 142, Symp. on Exchange Phenomenon in Soils,*** 112-128, (1952).

Grim, R.E., "Clay Mineralogy", ***McGraw-Hill Co.,*** New York, (1953).

Gutschik, K.A., "Lime Stabilization under Hydraulic Conditions", ***4th International Lime Congress, Hershey,*** PA. National Lime Association, Washington, (1978).

Haro Streeter, Inc.,2008, Quicklime, http:// www.haro-consulting.com /quicklime /index .html **(Ziyaret tarihi: 22 Ocak 2009).**

Herrin, M., Mitchell, H., "Lime-soil mixtures", ***Highway Research Board,*** Bulletin, 304, 99-119, (1961).

Ingles, O.G., "Mechanisms of clay stabilization with inorganic acids and alkalis", ***Australian Journal for Soil Research,*** 581-595, (1970).

Ingles, O.G., Metcalf, J.B., "Soil stabilization", ***Butterworths,*** Sydney, (1972).

Irmak, A., "Orman Ekolojisi", Đ.U. Orman Fakültesi Yayın No: 1650/149, ***Tas Matbaası,*** İstanbul, 367, (1972).

Kantarcı, M.D., "Killerin diğer kullanım alanları", ***İ.Ü. Orman Fakültesi,*** İstanbul, Yayın No: 462, (2000).

Kavak, A., "The behavior of lime stabilized clays under cyclic loading", Ph. D., ***University of Boğaziçi,*** İstanbul, 110-112, (1996).

Kelley, C. M., "A Long Range Durability Study of Lime Stabilized Bases at Military Posts in the Southwest," ***National Lime Association Bulletin*** 328, (1977).

Kennedy, J., "Applying log-linear models in educational research", ***Australian Journal of Education,*** 32, 3-24, (1988).

Lokman, L., "Kireç", ***Kireç Sanayicileri Derneği,*** (2001).

Ladd, C.C., Moh, Z.C., Lambe, T.W., "Recent soil-lime research at the Massachusetts Institute of Thechnology", ***Bull. Highw. Res.,*** 64-85, (1960).

Little, D.N., "Soil stabilization for roadways and airfields", ***Report ESL-TR-86-19, Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base,*** Florida, (1987).

Local, J., Berube, M.A., Choquette, M., "Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: shear strength development", ***Canadian Geotechnical Journal,*** 27, 294-304, (1990).

Local, J., Tremblay, H., Leroueil, S., "Mechanical and hydraulic behaviour of a soft inorganic clay treated with lime" ***J. Geotech. Eng.,*** 33, 654–669, (1996).

Long, R.E., "Utilization of Lime Treated Soils at the Dallas/Fort Worth International Airport", ***Lime-Notes, Updates on Lime Applications in Construction***, National Lime Association, Issue No. 4, Fall, Waco, Tx, (1989).

McCallister, L.D., Petry, T.M., "Leach tests on lime treated clays", ***J. Geotech. Eng. Div.,*** 106–114, (1992).

McCallister, L. D., Tidwell, L., "Double treatment to minimize sulfate-lime induced heave in expansive clays", ***United States Military Academy,*** West Point, (1994).

McElroy, C.H., "Effectiveness of Dispersed Clay Treatment, Progress Report", National Program, ***Soil Conservation Service***, Soil Mechanics Laboratory, South National Technical Center, Fort Worth, Tx, (1982).

McElroy, C.H., "Using Hydrated Lime to Control Erosion of Dispersive Clays", ***Lime for Environmental Uses***, ASTM STP 931, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Penn, 100-114, (1987).

Mitchell, J.K., "Practical problems from surprising soil behaviour" ***J. Geotech. Eng.,*** 259-289, (1986).

Okumura, T., Terashi, M., "Deep-lime-mixing method of stabilization for marine clays" ***Proceed ings of the 5th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,*** Bangalore, India, 69–75, (1975).

Ormsby, W.C., Kinter, E.B., "Effects of dolomitic and calcitic limes on strength development in mixtures with two clay minerals", ***Public Roads 37,*** 149–160, (1973).

Pauling, L., "The structure of micas and related minerals", ***Proc.Natl. Acad. Sci. U.S.,*** 16, 123-129, (1930).

Rajasekaran, G., Narasimha Rao, S., "Lime stabilization technique for the improvement of marine clay, ***Soils and Foundations,*** 97-104, (1996).

Rajasekaran, G., Murali, K., Srinivasaraghavan, R., "Microfabric, chemical and mineralogical study of Indian marine clays", ***Ocean Eng.,*** 26, 463-483, (1999).

Rajasekaran, G., Narasimha Rao, S., "Pollutants behaviour and temperature effect on chemical piles treated marine clay", ***Ocean Engineering,*** 27, 147-166, (2000).

Rogers, C.D.F., Glendinning, S., Roff, T.E.J., "Lime modification of clay soils of construction expediency", ***Geotechnical Engineering,*** 125(4), 242-249, (2000).

Rollings, R. S., Rollings, M. P., "Sulfate attack on cement-stabilized sand" ***ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,*** Vol. 125, (1996).

Rosen, W., Marks, D., "Lime and lime-flyash stabilization", ***Transportation Research Record,*** (1971).

Scheffer F., Schachtschabel P., "Lehrbuch der Bodenkunde", ***SSSAJ***, (1970).

Sherwood, P.T., "Soil stabilization with cement and lime", ***Transportation Research Laboratory, HMSO,*** London, (1993).

Silvia, A.J., "Marine geomechanics: overview and projections. ***Deep-Sea Sediments,*** 45-76, (1974).

Stocker, P.T., "Diffusion and diffuse cementation in lime and cement stabilised clayey soils", ***Australian Road Research Board,*** Australia, 8, (1972).

T.A.B.D. Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, 2005, Kireç stabilizasyonu teknik şartnamesi, http://www.kirec.org/# **(Ziyaret tarihi: 27 Şubat 2009).**

Terrel, R. L., Epps, A., Barenberg, J. E., Mitchell, J. K., Thompson, M. R., " Soil stabilization", ***FHWA. U.S. Department of Transportation,*** (1979).

Thompson, M.R., "Lime reactivity of Illinois soils", ***J. SM FE, Proc. ASCE,*** 67–92, (1966).

Thompson, M.R., "Engineering properties of lime-soil mixtures", ***Journal of Materials, ASTM,*** (1969).

Townsend, D.L., Klym, T.W., "Durability of Lime-Stabilized Soils", ***Highway Research Record No. 139***, HRB, National Research Council, Washington, D.C., 25-41, (1966).

Transportation Research Board State of the Art Report, ***Transportation Research Board, Washington, D.C.,*** 5, (1987).

Troitzsch, U.; "X-Ray Diffraction", ***Australian National University***, Australia, (2007)

Tunç, E., "Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları", ***Atlas Yayın ve Dağıtım,*** İstanbul, 147, (2002).

Walker, R., Esmer, E., Krebs, R.D., "Strength loss in lime-stabilized clay soils when moistened and exposed to freezing and thawing", ***Highway Research Record,*** (1967).

Yong, R.N., Warkentin, B.P., "Soil properties and behaviour", ***Developments in Geotechnical Engineering,*** 5, (1975).

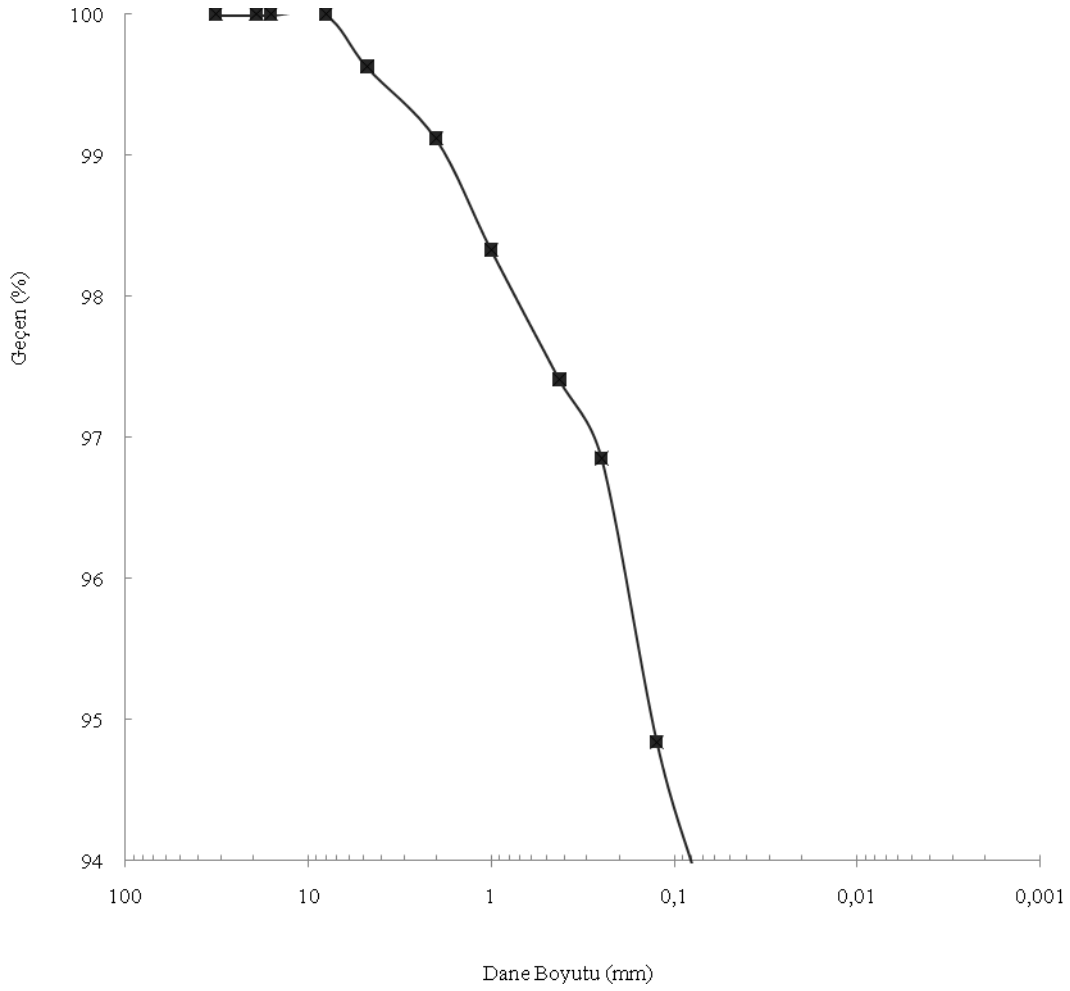
EKLER

Ek A – Elek Analizi Deneyi

Tablo A.1: Deniz kili için elek analizi deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireçle Stabilizasyonu	TOPLAM AĞIRLIK	100.00
YERİ	Bursa-Gemlik	NO 200'de KALAN	6.18
ÖRNEĞİN TANIMI		KİL+SİLT ORANI	93.82
ELEME YÖNTEMİ	Yıkamalı	TARİH	23.02.2009

ELEK NO	ELEK AÇIKLIĞI	KALAN AĞIRLIK	KALAN (%)	GEÇEN (%)
1 1/4"	32.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.20	0.00	0.00	100.00
5/8"	16.00	0.00	0.00	100.00
5/16"	8.00	0.00	0.00	100.00
No 4	4.76	0.37	0.37	99.63
No 10	2.00	0.51	0.51	99.12
No 18	1.00	0.79	0.79	98.33
No 40	0.43	0.92	0.92	97.41
No 60	0.25	0.56	0,56	96.85
No 120	0.13	2.01	2.01	94.84
No 200	0.07	1.02	1.02	93.82
PAN		93.82	93.82	0.00
		100.00		



Şekil A.1: Elek analizi kümülatif dağılım eğrisi

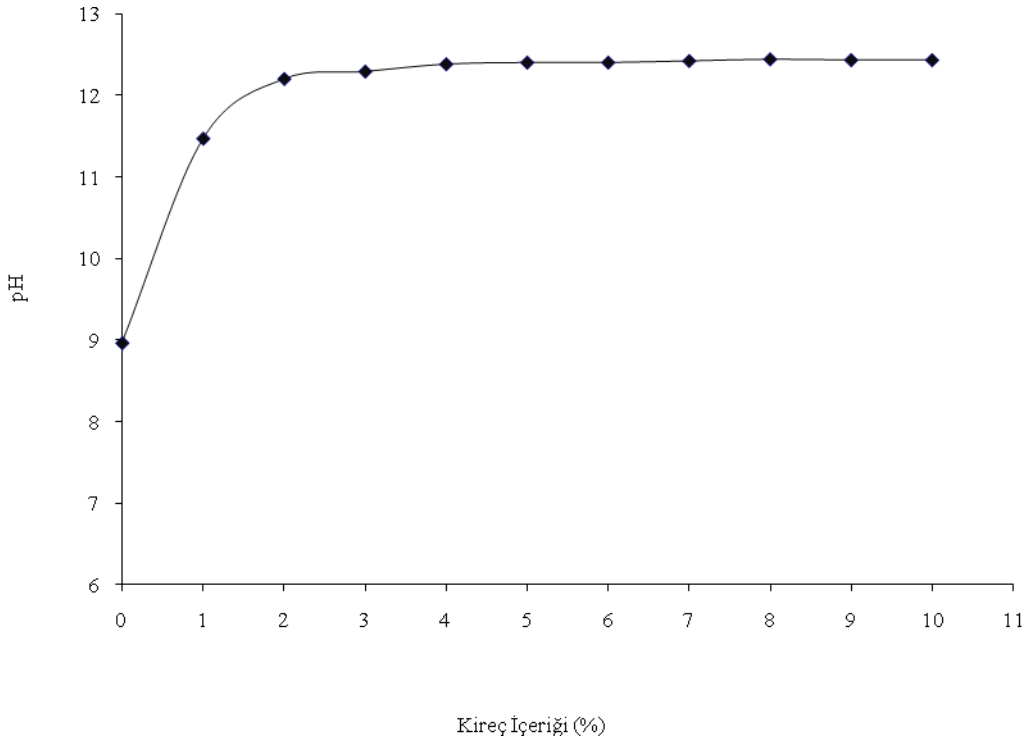
Ek B – PH Deneyi

Tablo B.1: Deniz kili için pH deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	Kireçli
TARİH	26.04.2008

Kireç (%)	pH	C
0	8,97	20.3
1	11.47	20.2
2	12.20	20.6
3	12.29	20.6
4	12.38	19.8
5	12.40	19.9
6	12.40	19.6
7	12.42	20.2
8	12.44	20.4
9	12.43	20.6
10	12.43	20.8

100 gr Suda		
Kireç (gr)	pH	C
5	12.52	17.4
10	12.50	17.6
15	12.41	17.8
20	12.41	17.6



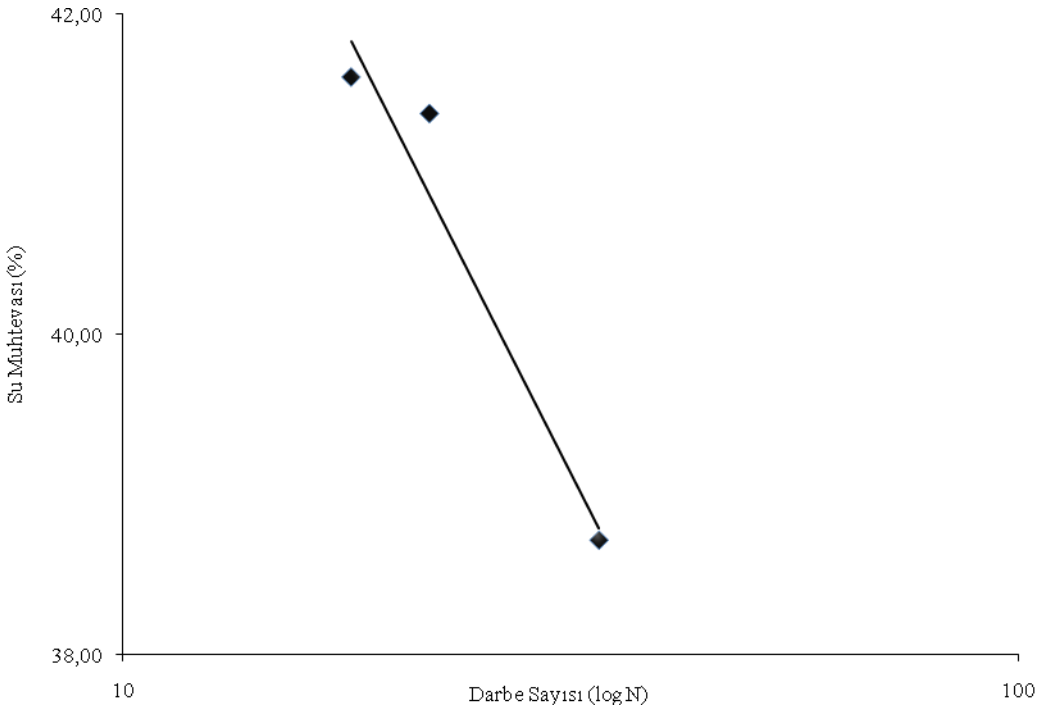
Şekil B.1: pH değeri grafiği

Ek C – Atterberg Kıvam Limitleri

Tablo C.1: Saf deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	Saf
TARİH	23.02.20009

	Likit L.				**Plastik L.**	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	68	188	184	Kap No	20	157
Kap+Örnek (gr.)	42.56	42.03	44.07	Kap+Örnek (gr.)	49.34	37.10
Kap+Kuru Örnek (gr.)	40.45	40.11	41.17	Kap+Kuru Örnek (gr.)	48.86	36.74
Kap Ağırlığı (gr.)	35.00	35.47	34.20	Kap Ağırlığı (gr.)	46.85	35.18
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	5.45	4.64	6.97	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	2.01	1.56
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	2.11	1.92	2.90	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.48	0.36
Su Muhtevası,w (%)	38.72	41.38	41.61	Su Muhtevası w (%)	23.88	23.08
Darbe Sayısı, N	34	22	18	Plastik Limit Wp (%)	23.48	



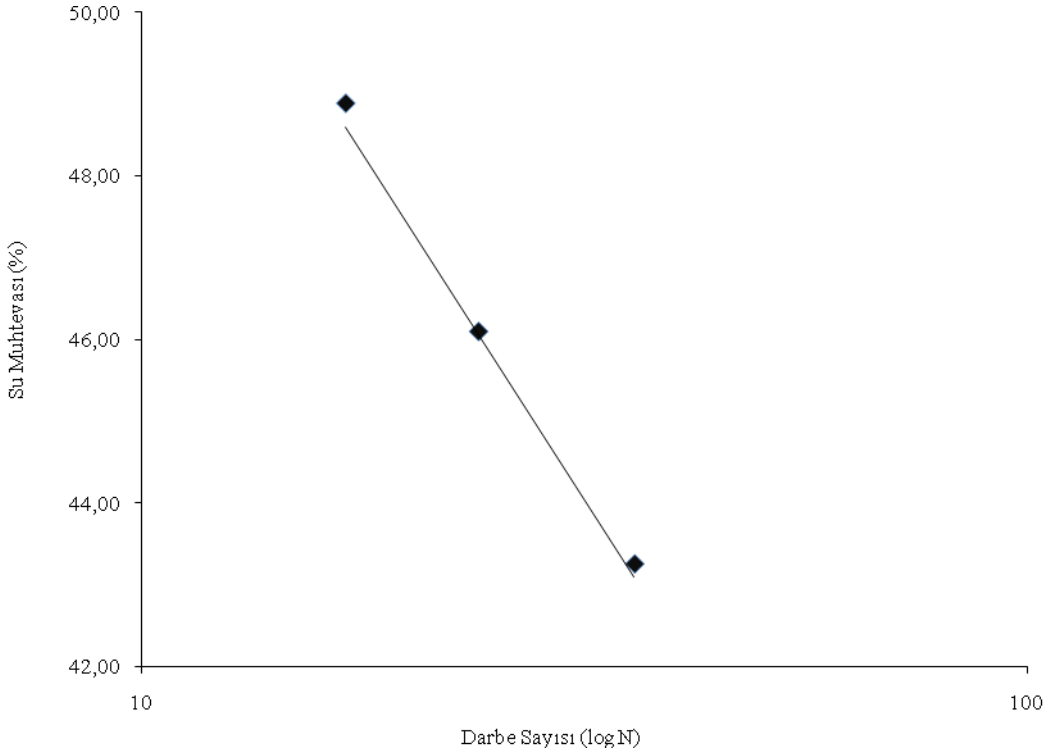
Şekil C.1: Saf deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	41
PLASTİK LİMİT	23
PLASTİSİTE İNDİSİ	18

Tablo C.2: % 1 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%1 Kireçli
TARİH	24.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	67	69	246	Kap No	125	146
Kap+Örnek (gr.)	38.91	39.53	38.10	Kap+Örnek (gr.)	38.21	38.06
Kap+Kuru Örnek (gr.)	37.69	38.17	36.78	Kap+Kuru Örnek (gr.)	37.61	37.62
Kap Ağırlığı (gr.)	34.87	35.22	34.08	Kap Ağırlığı (gr.)	35.47	36.00
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	2.82	2.95	2.70	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	2.14	1.62
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	1.22	1.36	1.32	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.60	0.44
Su Muhtevası,w (%)	43.26	46.10	48.89	Su Muhtevası w (%)	28.04	27.16
Darbe Sayısı, N	36	24	17	Plastik Limit Wp (%)	27.60	



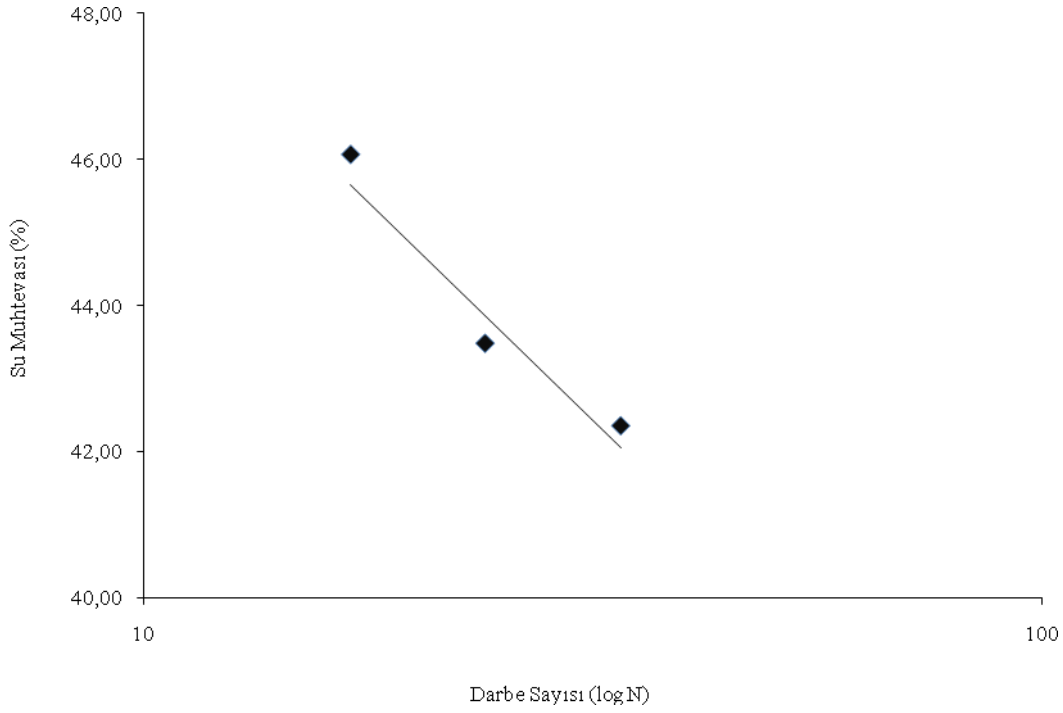
Şekil C.2: % 1 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	46
PLASTİK LİMİT	28
PLASTİSİTE İNDİSİ	18

Tablo C.3: % 2 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%2 Kireçli
TARİH	24.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	58	191	99	Kap No	126	231
Kap+Örnek (gr.)	44.38	41.63	40.57	Kap+Örnek (gr.)	36.67	36.47
Kap+Kuru Örnek (gr.)	42.36	39.73	38.52	Kap+Kuru Örnek (gr.)	36.28	36.15
Kap Ağırlığı (gr.)	37.59	35.36	34.07	Kap Ağırlığı (gr.)	35.04	34.87
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	4.77	4.37	4.45	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	1.24	1.28
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	2.02	1.90	2.05	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.39	0.32
Su Muhtevası,w (%)	42.35	43.48	46.07	Su Muhtevası w (%)	31.45	25.00
Darbe Sayısı, N	34	24	17	Plastik Limit Wp (%)	28.23	



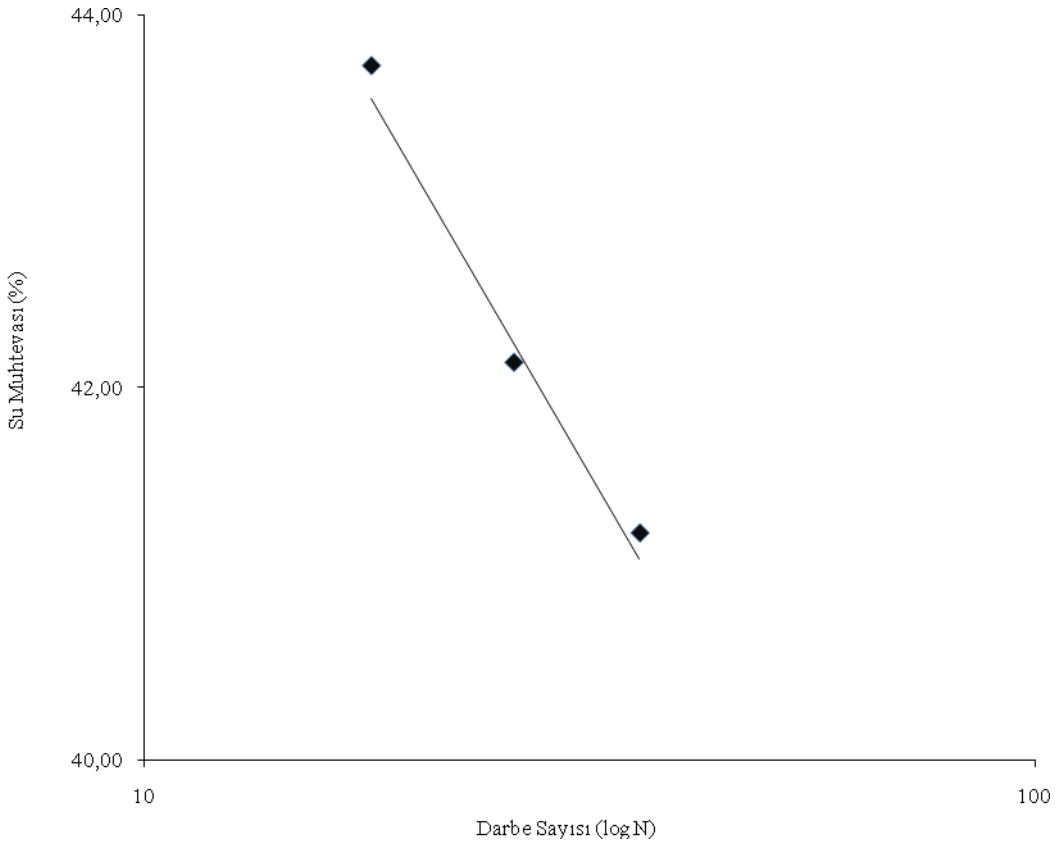
Şekil C.3: % 2 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	44
PLASTİK LİMİT	28
PLASTİSİTE İNDİSİ	16

Tablo C.4: % 3 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%3 Kireçli
TARİH	24.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	77	132	446	Kap No	234	198
Kap+Örnek (gr.)	39.94	41.59	38.18	Kap+Örnek (gr.)	37.35	35.84
Kap+Kuru Örnek (gr.)	38.32	39.42	37.03	Kap+Kuru Örnek (gr.)	36.92	35.49
Kap Ağırlığı (gr.)	34.39	34.27	34.40	Kap Ağırlığı (gr.)	35.31	34.19
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	3.93	5.15	2.63	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	1.61	1.30
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	1.62	2.17	1.15	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.43	0.35
Su Muhtevası,w (%)	41.22	42.14	43.73	Su Muhtevası w (%)	26.71	26.92
Darbe Sayısı, N	36	26	18	Plastik Limit Wp (%)	26.82	



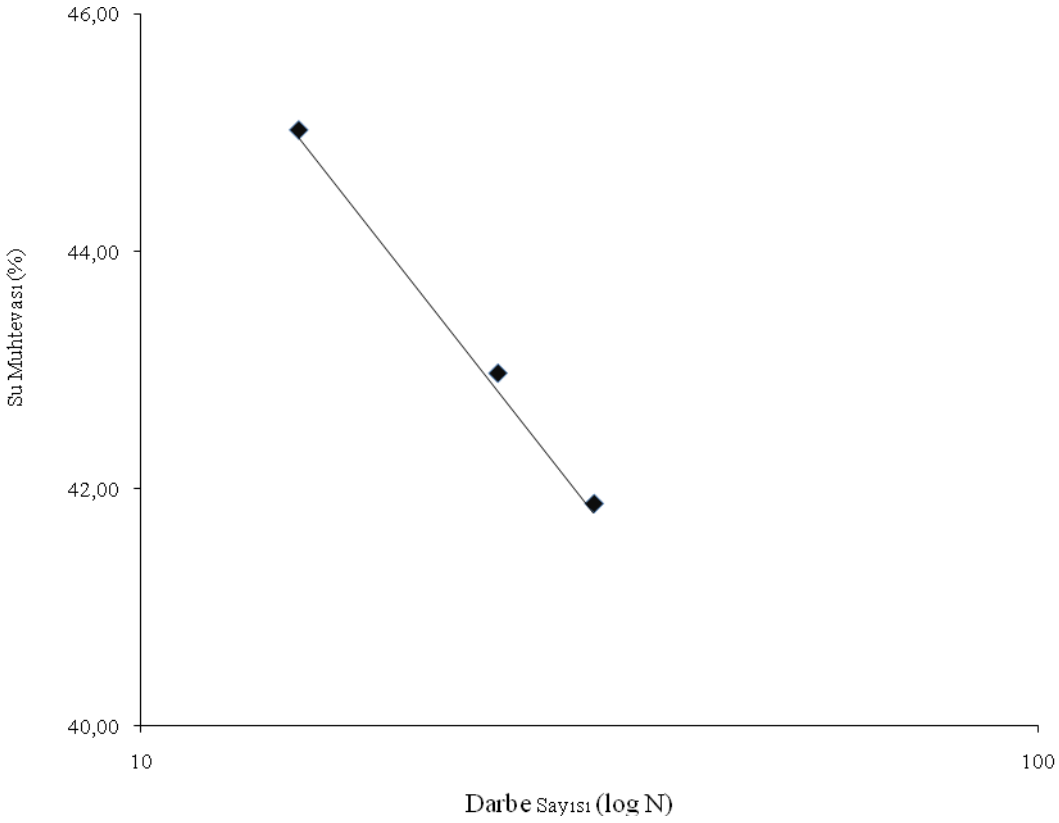
Şekil C.4: % 3 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	42
PLASTİK LİMİT	27
PLASTİSİTE İNDİSİ	15

Tablo C.5: % 4 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%4 Kireçli
TARİH	24.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	412	142	55	Kap No	70	111
Kap+Örnek (gr.)	41.89	46.08	45.47	Kap+Örnek (gr.)	38.88	37.50
Kap+Kuru Örnek (gr.)	39.70	42.87	42.17	Kap+Kuru Örnek (gr.)	38.37	36.82
Kap Ağırlığı (gr.)	34.47	35.40	34.84	Kap Ağırlığı (gr.)	36.63	34.52
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	5.23	7.47	7.33	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	1.74	2.30
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	2.19	3.21	3.30	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.51	0.68
Su Muhtevası,w (%)	41.87	42.97	45.02	Su Muhtevası w (%)	29.31	29.57
Darbe Sayısı, N	32	25	15	Plastik Limit Wp (%)	29.44	



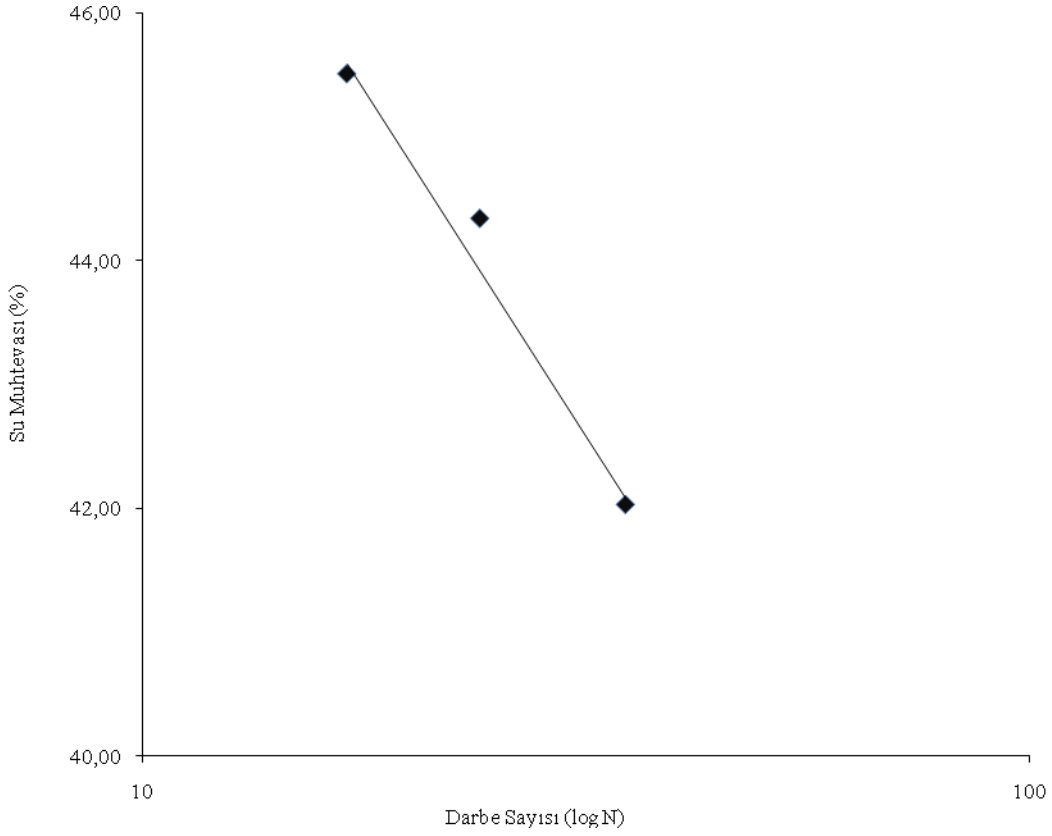
Şekil C.5: % 4 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	43
PLASTİK LİMİT	29
PLASTİSİTE İNDİSİ	14

Tablo C.6: % 5 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	% 5 Kireçli
TARİH	24.02.2009

	Likit L.			Plastik L.		
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	166	93	45	Kap No	87	203
Kap+Örnek (gr.)	42.45	40.44	41.85	Kap+Örnek (gr.)	35.77	36.82
Kap+Kuru Örnek (gr.)	40.55	38.48	39.62	Kap+Kuru Örnek (gr.)	35.32	36.06
Kap Ağırlığı (gr.)	36.03	34.06	34.72	Kap Ağırlığı (gr.)	33.75	33.86
Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	4.52	4.42	4.90	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	1.57	2.20
Su Ağırlığı Ww (gr.)	1.90	1.96	2.23	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.45	0.76
Su Muhtevası w (%)	42.04	44.34	45.51	Su Muhtevası w (%)	28.66	34.55
Darbe Sayısı N	35	24	17	Plastik Limit Wp (%)	31.60	



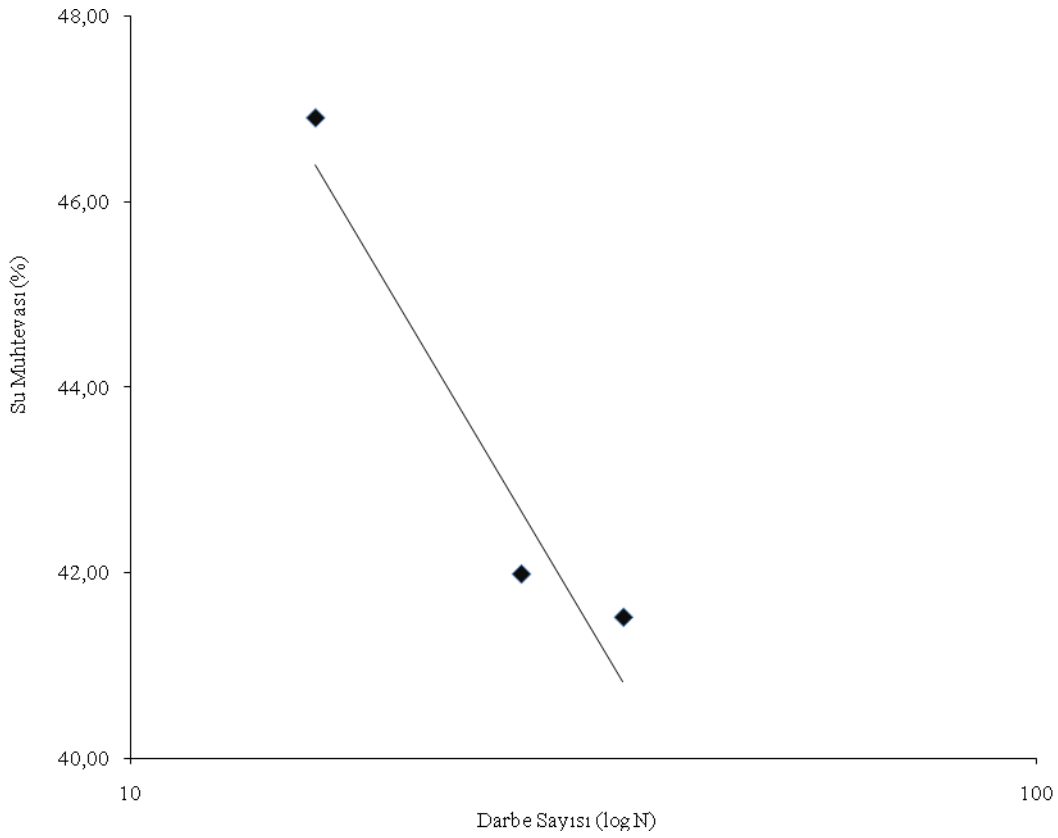
Şekil C.6: % 5 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	44
PLASTİK LİMİT	32
PLASTİSİTE İNDİSİ	12

Tablo C.7: % 6 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%6 Kireçli
TARİH	24.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	92	121	21	Kap No	154	180
Kap+Örnek (gr.)	38.78	39.28	50.01	Kap+Örnek (gr.)	37.26	36.85
Kap+Kuru Örnek (gr.)	37.63	37.84	48.80	Kap+Kuru Örnek (gr.)	36.62	36.37
Kap Ağırlığı (gr.)	34.86	34.41	46.22	Kap Ağırlığı (gr.)	34.55	34.57
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	2.77	3.43	2.58	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	2.07	1.80
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	1.15	1.44	1.21	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.64	0.48
Su Muhtevası,w (%)	41.52	41.98	46.90	Su Muhtevası w (%)	30.92	26.67
Darbe Sayısı, N	35	27	16	Plastik Limit Wp (%)	28.79	



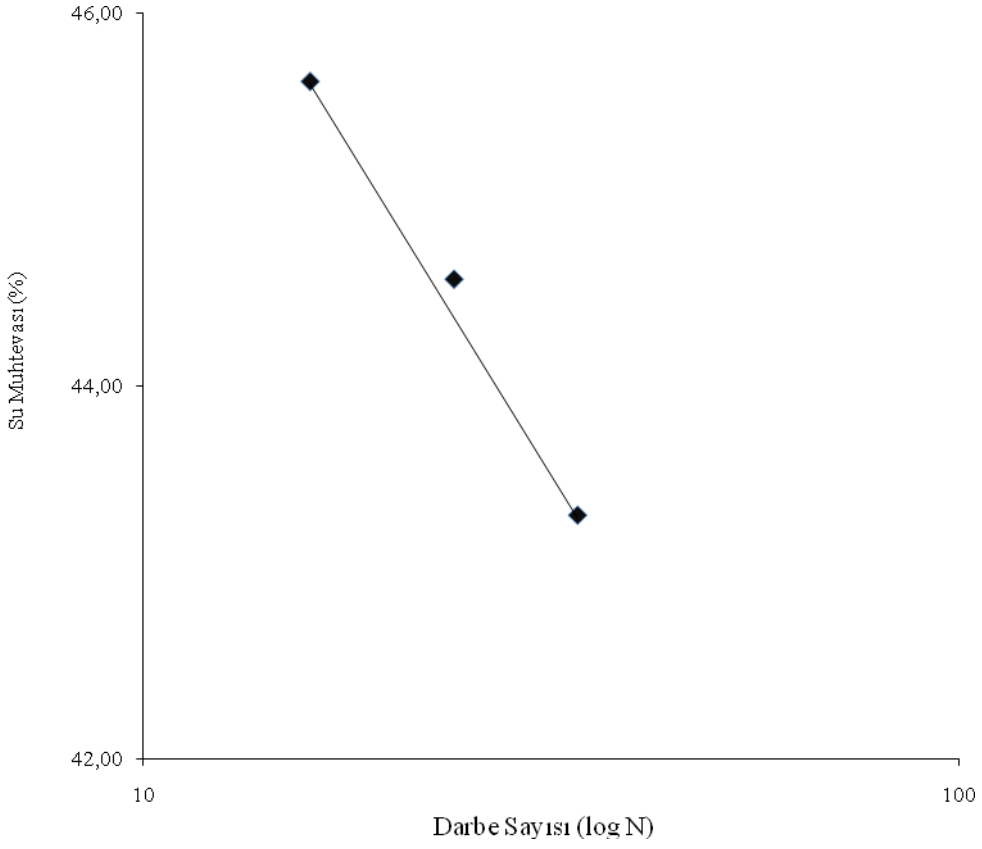
Şekil C.7: % 6 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	43
PLASTİK LİMİT	29
PLASTİSİTE İNDİSİ	14

Tablo C.8: % 7 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%7 Kireçli
TARİH	24.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	91	120	213	Kap No	150	998
Kap+Örnek (gr.)	41.28	41.92	40.80	Kap+Örnek (gr.)	38.58	38.25
Kap+Kuru Örnek (gr.)	39.34	39.58	38.71	Kap+Kuru Örnek (gr.)	37.83	37.67
Kap Ağırlığı (gr.)	34.86	34.33	34.13	Kap Ağırlığı (gr.)	35.24	35.71
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	4.48	5.25	4,58	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	2.59	1.96
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	1.94	2.34	2.09	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.75	0.58
Su Muhtevası,w (%)	43.30	44.57	45.63	Su Muhtevası w (%)	28.96	29.59
Darbe Sayısı, N	34	24	16	Plastik Limit Wp (%)	29.27	



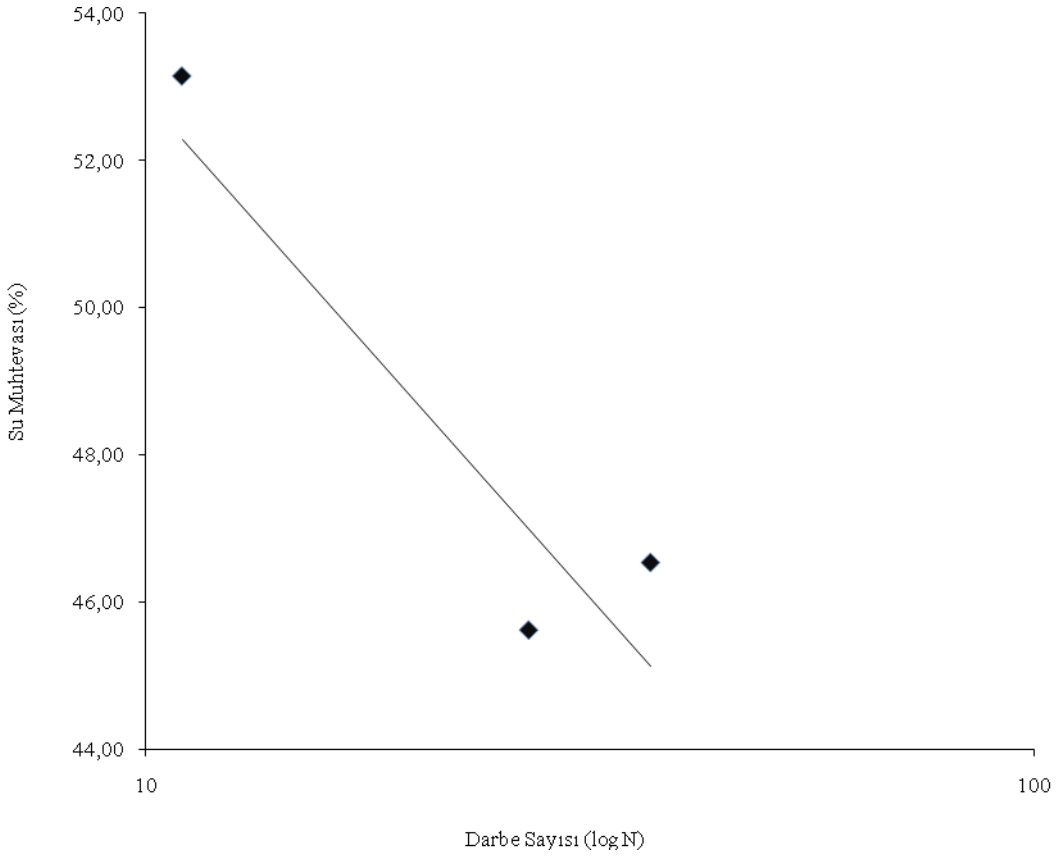
Şekil C.8: % 7 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	44
PLASTİK LİMİT	29
PLASTİSİTE İNDİSİ	15

Tablo C.9: % 8 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%8 Kireçli
TARİH	25.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	55	27	412	Kap No	180	154
Kap+Örnek (gr.)	40.54	54.38	44.92	Kap+Örnek (gr.)	36.77	36.12
Kap+Kuru Örnek (gr.)	38.73	51.99	41.29	Kap+Kuru Örnek (gr.)	36.24	35.77
Kap Ağırlığı (gr.)	34.84	46.75	34.46	Kap Ağırlığı (gr.)	34.56	34.55
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	3.89	5.24	6.83	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	1.68	1.22
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	1.81	2.39	3.63	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.53	0.35
Su Muhtevası,w (%)	46.53	45.61	53.15	Su Muhtevası w (%)	31.55	28.69
Darbe Sayısı, N	37	27	11	Plastik Limit Wp (%)	30.12	



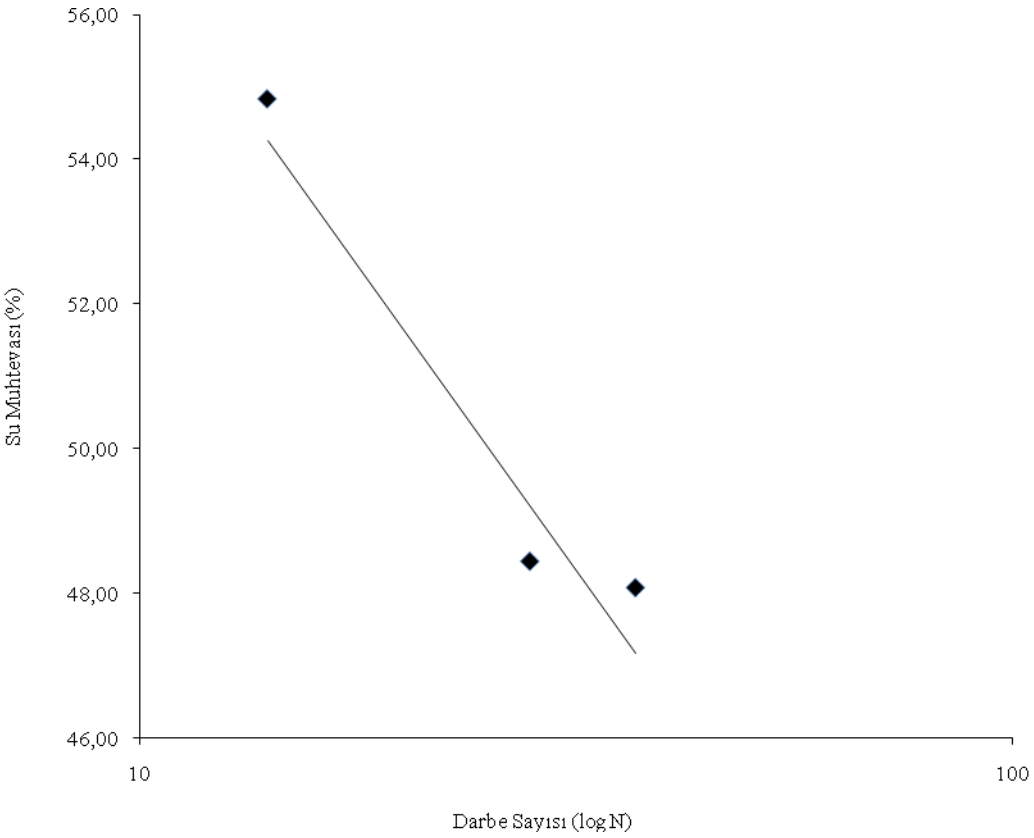
Şekil C.9: % 8 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	47
PLASTİK LİMİT	30
PLASTİSİTE İNDİSİ	17

Tablo C.10: % 9 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%9 Kireçli
TARİH	25.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	93	132	150	Kap No	121	91
Kap+Örnek (gr.)	38.31	36.66	40.04	Kap+Örnek (gr.)	36.23	36.73
Kap+Kuru Örnek (gr.)	36.93	35.88	38.34	Kap+Kuru Örnek (gr.)	35.78	36.27
Kap Ağırlığı (gr.)	34.06	34.27	35.24	Kap Ağırlığı (gr.)	34.40	34.85
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	2.87	1.61	3.10	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	1.38	1.42
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	1.38	0.78	1.70	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.45	0.46
Su Muhtevası,w (%)	48.08	48.45	54.84	Su Muhtevası w (%)	32.61	32.39
Darbe Sayısı, N	37	28	14	Plastik Limit Wp (%)	32.50	



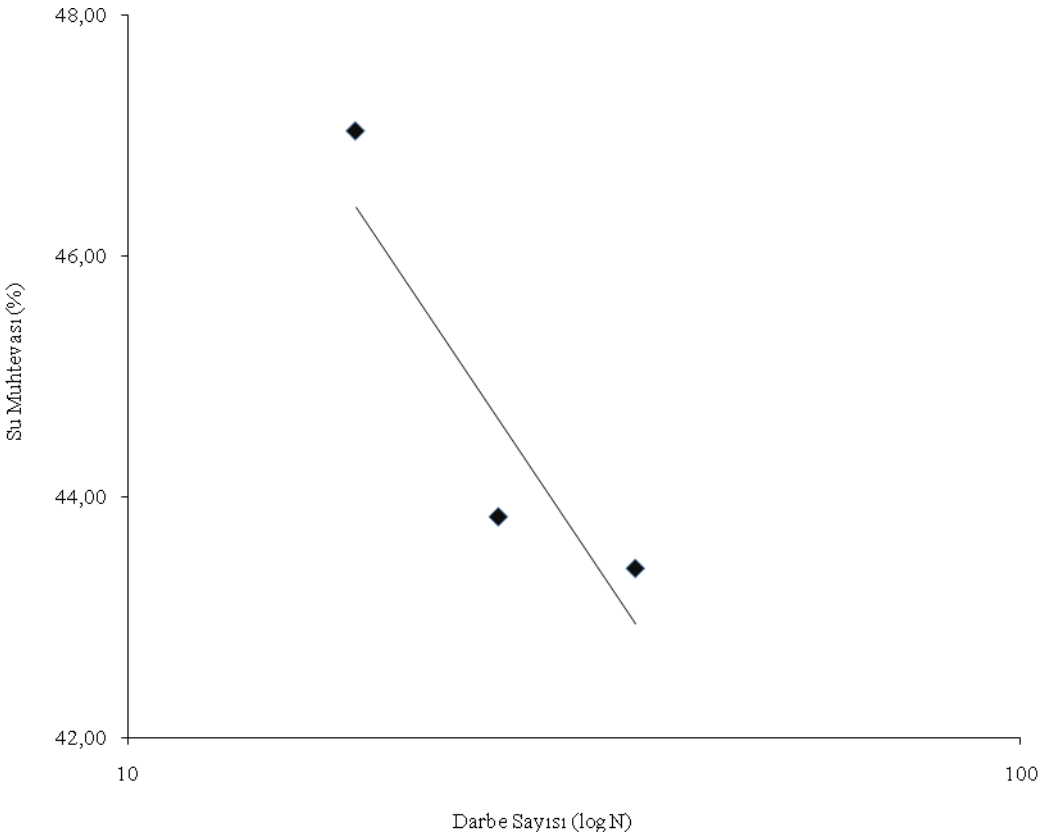
Şekil C.10: % 9 kireçli deniz kili likit limit grafiği

LİKİT LİMİT	50
PLASTİK LİMİT	33
PLASTİSİTE İNDİSİ	17

Tablo C.11: % 10 kireçli deniz kili kıvam limitleri

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%10 Kireçli
TARİH	25.02.2009

	Likit L.				Plastik L.	
Deney No	1	2	3	Deney No	1	2
Kap No	998	45	246	Kap No	166	217
Kap+Örnek (gr.)	38.31	37.87	42.51	Kap+Örnek (gr.)	37.77	36.35
Kap+Kuru Örnek (gr.)	37.52	36.91	39.81	Kap+Kuru Örnek (gr.)	37.34	35.92
Kap Ağırlığı (gr.)	35.70	34.72	34.07	Kap Ağırlığı (gr.)	36.04	34.08
Kuru Örnek Ağırlığı,Ws (gr.)	1.82	2.19	5.74	Kuru Örnek Ağırlığı Ws (gr.)	1.30	1.84
Su Ağırlığı,Ww (gr.)	0.79	0.96	2.70	Su Ağırlığı Ww (gr.)	0.43	0.43
Su Muhtevası,w (%)	43.41	43.84	47.04	Su Muhtevası w (%)	33.08	23.37
Darbe Sayısı, N	37	26	18	Plastik Limit Wp (%)	28.22	

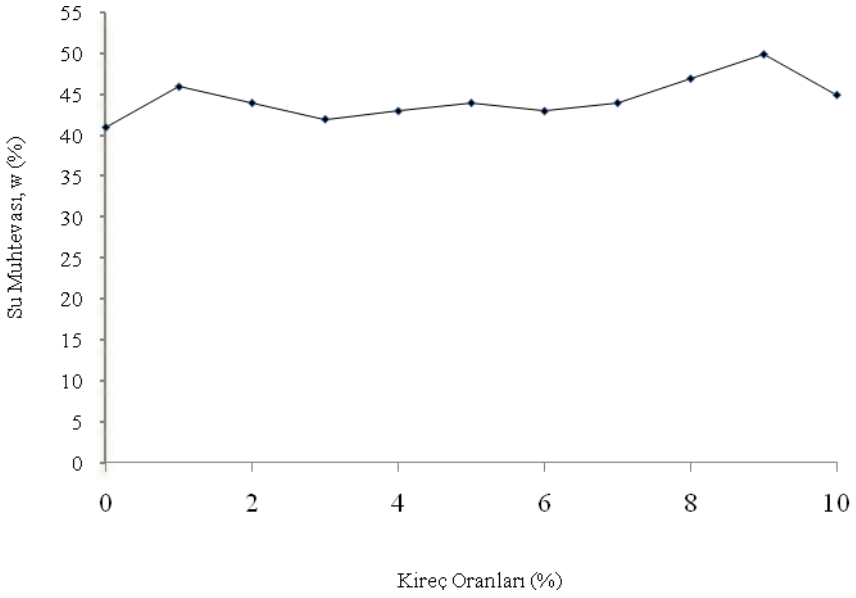


Şekil C.11: % 10 kireçli deniz kili likit limit grafiği

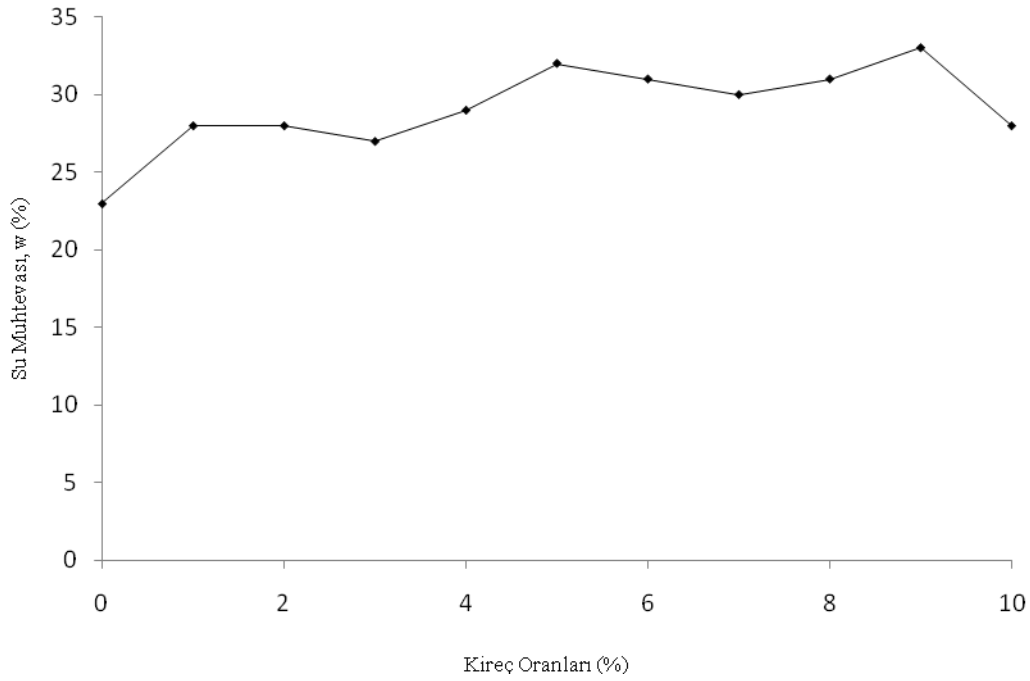
LİKİT LİMİT	45
PLASTİK LİMİT	28
PLASTİSİTE İNDİSİ	17

Tablo C.12: Değişik kireç oranlarına göre likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri

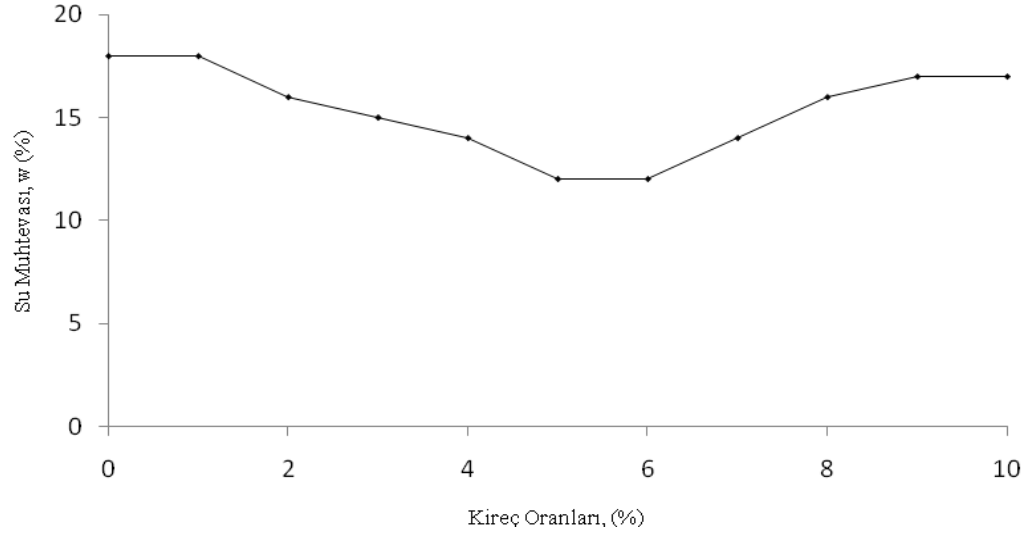
Kireç Oranı (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
0	41	23	18
1	46	28	18
2	44	28	16
3	42	27	15
4	43	29	14
5	44	32	12
6	43	31	12
7	44	30	14
8	47	31	16
9	50	33	17
10	45	28	17



Şekil C.12: Likit limit değerleri



Şekil C.13: Plastik limit değerleri



Şekil C.14: Plastisite indisi değerleri

Ek D – Modifiye Proktor Deneyleri

Tablo D.1: Saf deniz kili modifiye proktor deneyi

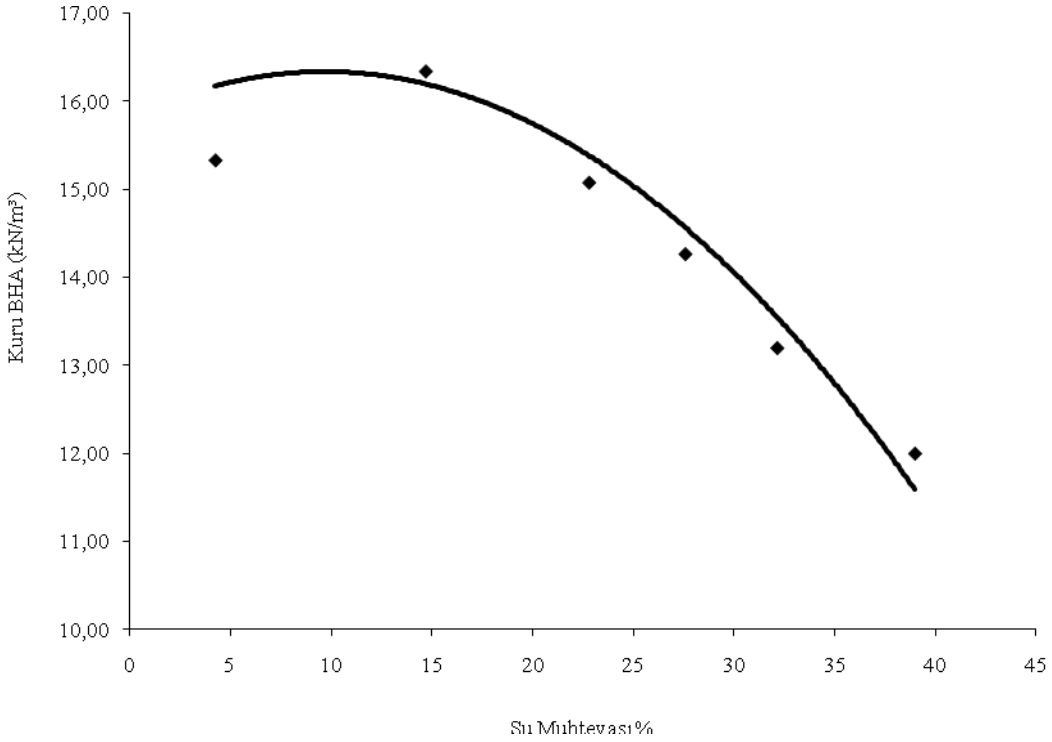
PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	Saf
DENEYİN ÖZELLİĞİ	Modifiye
KALIBIN İÇ HACMİ (cm^3)	61.97
TARİH	29.02.2009

Ör.Numune No	1		2		3		4		5		6		7	
Kap No	60	57	24	76	30	96	212	71	63	23	98	12	56	29
Kap Ağırlığı (gr)	35.45	34.43	33.76	35.14	34.56	34.23	33.54	32.13	34.54	34.87	33.65	35.75	36.09	35.26
Kap+Yaş zemin (gr)	44.46	44.56	48.01	47.76	44.98	45.15	47.68	48.65	45.87	46.87	48.89	49.14	47.5	46.87
Kap+Kuru zemin (gr)	43.75	43.76	47.11	47.21	44.06	44.57	46.69	47.98	45.06	45.78	47.93	48.23	46.65	45.98
Su Ağırlığı (gr)	0.71	0.80	0.90	0,55	0.92	0.58	0.99	0.67	0.81	0.90	0.96	0.91	0.85	0.89
Zemin Ağırlığı (gr)	8.30	9.33	13.35	12.07	9.50	10.34	13.15	15.85	10.52	10.91	14.28	12.48	10.56	10.51
Su muhtevası w (%)	4.12	4.56	9.98	9.45	14.23	14.90	22.56	22.96	27.76	27.43	32.01	32.22	38.99	38.94
Tahm. Su Muhtev.%	5		10		15		20		25		30		35	
Su muhtevası w (%)	4.23		9.78		14.67		22.78		27.56		32.12		38.96	
Kalıp+Zemin ağr. (gr)	521.34		542.34		538.76		537.34		535.36		530.57		525.76	
Kalıp Ağırlığı (gr)	420.40		420.40		420.40		420.40		420.40		420.40		420.40	
Zemin Ağırlığı (gr)	100.94		121.94		118.36		116.94		114.96		110.17		105.36	
Doğ.BHA (kN/m^3)	15.98		19.30		18.74		18.51		18.20		17.44		16.68	
Kuru BHA (kN/m^3)	15.33		17.58		16.34		15.80		14.27		13.20		12.00	

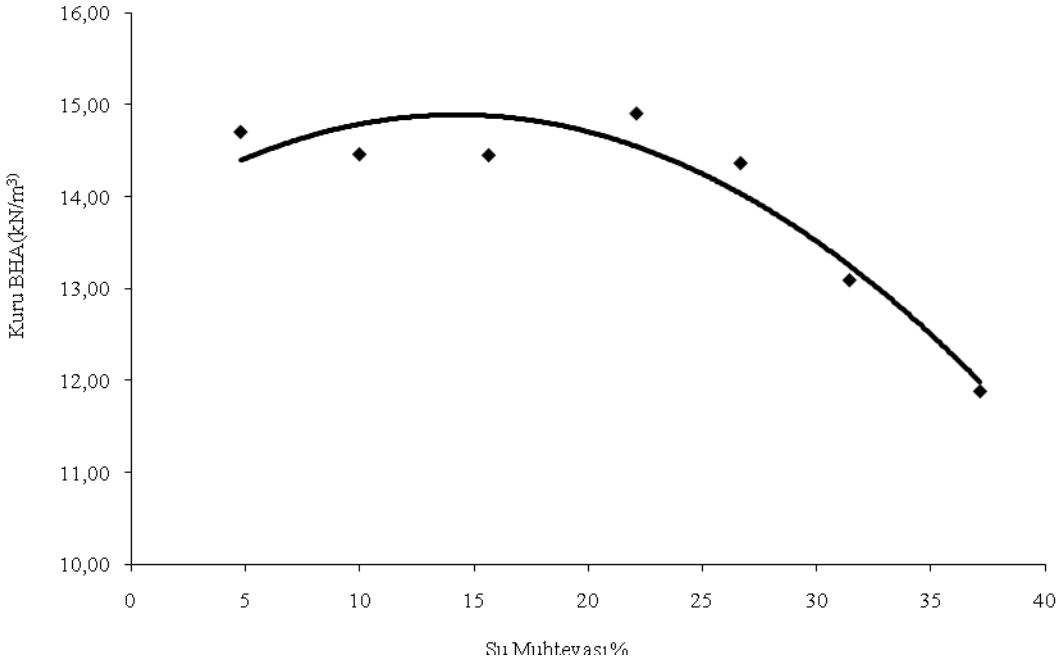
Tablo D.2: % 5 kireçli deniz kili modifiye proktor deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%5 Kireçli
DENEYİN ÖZELLİĞİ	Modifiye
KALIBIN İÇ HACMİ (cm^3)	61.97
TARİH	29.02.2009

Ör.Numune No	1		2		3		4		5		6		7	
Kap No	53	91	118	172	130	123	205	362	223	233	113	246	64	213
Kap Ağırlığı (gr)	34.58	34.84	35.03	34.39	33.95	37.32	34.22	35.46	34.08	33.47	34.34	34.05	35.68	34.12
Kap+Yaş zemin (gr)	44.11	45.02	40.38	40.47	40.91	45.05	40.14	44.79	41.72	39.4	41.63	42.22	43.52	41.83
Kap+Kuru zemin (gr)	43.67	44.56	39.91	39.9	39.99	43.98	39.1	43.05	40.1	38.16	39.9	40.25	41.47	39.67
Su Ağırlığı (gr)	0.44	0.46	0.47	0.57	0.92	1.07	1.04	1.74	1.62	1.24	1.73	1.97	2.05	2.16
Zemin Ağırlığı (gr)	9.09	9.72	4.88	5.51	6.04	6.66	4.88	7.59	6.02	4.69	5.56	6.20	5.79	5.85
Su muhtevası w (%)	4.84	4.73	9.63	11.34	15.23	16.07	21.31	22.92	26.91	26.44	31.12	31.77	35.41	38.92
Tahm. Su Muhtev.%	5		10		15		20		25		30		35	
Su muhtevası w (%)	4.79		9.99		15.65		22.12		26.67		31.44		37.16	
Kalıp+Zemin ağr. (gr)	517.74		520.88		525.98		535.38		535.36		529.12		523.39	
Kalıp Ağırlığı (gr)	420.4		420.4		420.4		420.4		420.4		420.4		420.4	
Zemin Ağırlığı (gr)	97.34		100.48		105.58		114.98		114.96		108.72		102.99	
Doğ.BHA (kN/m^3)	15.41		15.91		16.71		18.20		18.20		17.21		16.30	
Kuru BHA (kN/m^3)	14.71		14.46		14.45		14.90		14.37		13.10		11.89	



Şekil D.1: Saf deniz kili modifiye proktor eğrisi



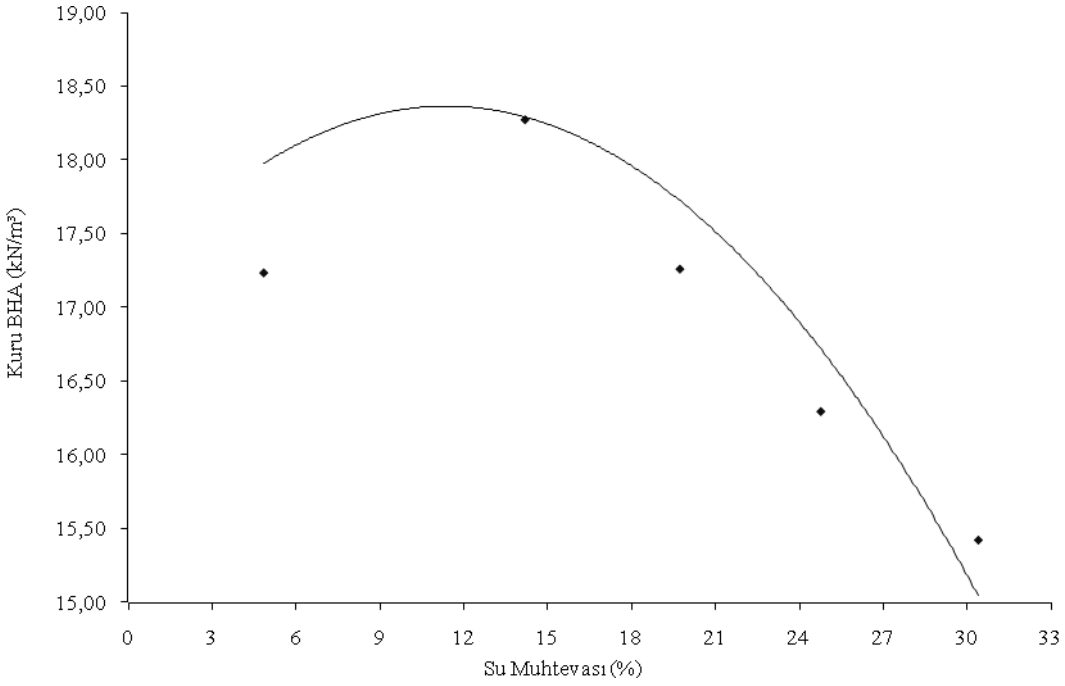
Şekil D.2: % 5 kireçli deniz kili modifiye proktor eğrisi

Ek E – Harvard Proktor Deneyleri

Tablo E.1: Saf deniz kili Harvard standart proktor deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%5 Kireçli
DENEYİN ÖZELLİĞİ	Modifiye
KALIBIN İÇ HACMİ (cm.3)	62.27
TARİH	26.02.2009

Ör. Numune No	1	2	3	4	5	6
Kap No	132	235	218	91	27	233
Kap Ağırlığı (gr)	34.69	33.94	34.69	34.84	46.74	33.48
Kap+Yaş zemin (gr)	56.93	43.36	48.36	60.07	61.19	45.40
Kap+Kuru zemin (gr)	55.90	42.54	46.66	55.91	58.32	42.62
Su Ağırlığı (gr)	1.03	0.82	1.70	4.16	2.87	2.78
Zemin Ağırlığı (gr)	21.21	8.60	11.97	21.07	11.58	9.14
Su muhtevası w (%)	4.86	9.53	14.20	19.74	24.78	30.42
Tahm. Su Muhtev.%	5	10	15	20	25	30
Su muhtevası w (%)	4.86	9.53	14.20	19.74	24.78	30.42
Kalıp+Zemin ağr. (gr)	535.65	557.32	553.40	552.13	550.00	548.60
Kalıp Ağırlığı (gr)	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96
Zemin Ağırlığı (gr)	114.69	136.36	132.44	131.17	129.04	127.64
Doğ.BHA (kN/m³)	18.07	21.48	20.86	20.66	20.33	20.11
Kuru BHA (kN/m³)	17.23	19.61	18.27	17.26	16.29	15.42

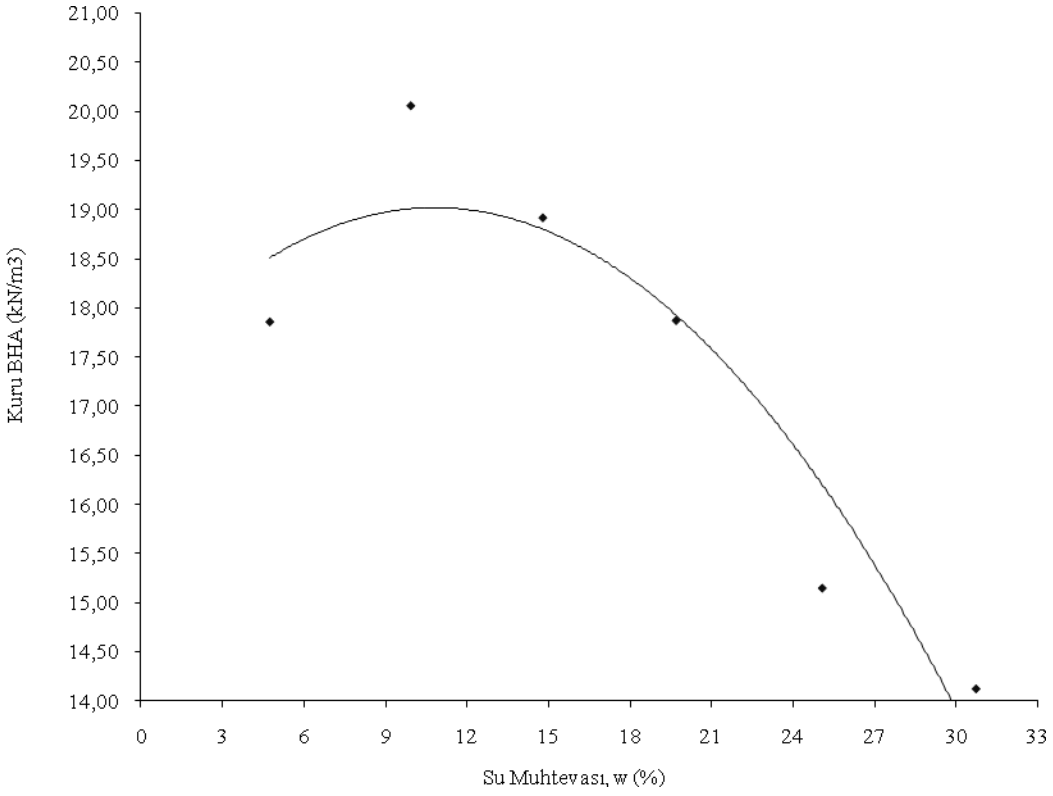


Şekil E.1: Saf deniz kili Harvard standart proktor eğrisi

Tablo E.2: Saf deniz kili Harvard modifiye proktor deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	Saf
DENEYİN ÖZELLİĞİ	Modifiye
KALIBIN İÇ HACMİ (cm.3)	62.27
TARİH	26.02.2009

Ör. Numune No	1	2	3	4	5	6
Kap No	74	243	154	93	121	213
Kap Ağırlığı (gr)	36.08	34.30	34.54	34.05	34.40	34.12
Kap+Yaş zemin (gr)	44.27	42.28	52.17	60.74	55.26	52.16
Kap+Kuru zemin (gr)	43.90	41.56	49.90	56.35	51.08	47.92
Su Ağırlığı (gr)	0.37	0.72	2.27	4.39	4.18	4.24
Zemin Ağırlığı (gr)	7.82	7.26	15.36	22.30	16.68	13.80
Su muhtevası w (%)	4.73	9.92	14.78	19.69	25.06	30.72
Tahm. Su Muhtev.%	5	10	15	20	25	30
Su muhtevası w (%)	4.73	9.92	14.78	19.69	25.06	30.72
Kalıp+Zemin ağr. (gr)	539.67	560.87	558.76	556.72	541.23	538.19
Kalıp Ağırlığı (gr)	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96
Zemin Ağırlığı (gr)	118.71	139.91	137.80	135.76	120.27	117.23
Doğ.BHA (kN/m³)	18.70	22.04	21.71	21.39	18.95	18.47
Kuru BHA (kN/m³)	17.86	20.05	18.91	17.87	15.15	14.13

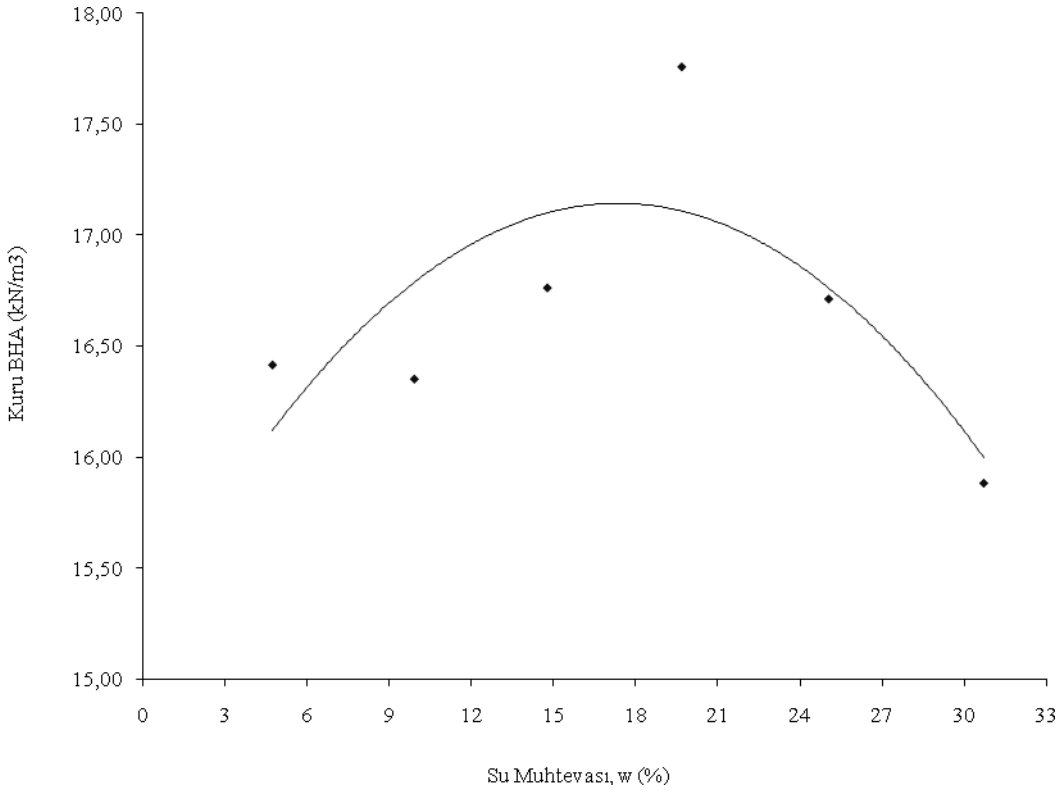


Şekil E.2: Saf deniz kili Harvard modifiye proktor eğrisi

Tablo E.3: % 5 kireçli deniz kili Harvard standart proktor deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%5 Kireçli
DENEYİN ÖZELLİĞİ	Standart
KALIBIN İÇ HACMİ (cm.3)	62.27
TARİH	26.02.2009

Ör. Numune No	1	2	3	4	5	6
Kap No	74	243	154	93	121	213
Kap Ağırlığı (gr)	36.08	34.30	34.54	34.05	34.40	34.12
Kap+Yaş zemin (gr)	44.27	42.28	52.17	60.74	55.26	52.16
Kap+Kuru zemin (gr)	43.90	41.56	49.90	56.35	51.08	47.92
Su Ağırlığı (gr)	0.37	0.72	2.27	4.39	4.18	4.24
Zemin Ağırlığı (gr)	7.82	7.26	15.36	2230	16.68	13.80
Su muhtevası w (%)	4.73	9.92	14.78	1969	25.06	30.72
Tahm. Su Muhtev.%	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
Su muhtevası w (%)	4.73	9.92	14.78	19.69	25.06	30.72
Kalıp+Zemin ağr. (gr)	530.08	535.04	543.08	555.87	553.62	552.74
Kalıp Ağırlığı (gr)	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96
Zemin Ağırlığı (gr)	109.12	114.08	122.12	134.91	132.66	131.78
Doğ.BHA (kN/m³)	17.19	17.97	19.24	21.25	20.90	20.76
Kuru BHA (kN/m³)	16.41	16.35	16.76	17.76	16.71	15.88

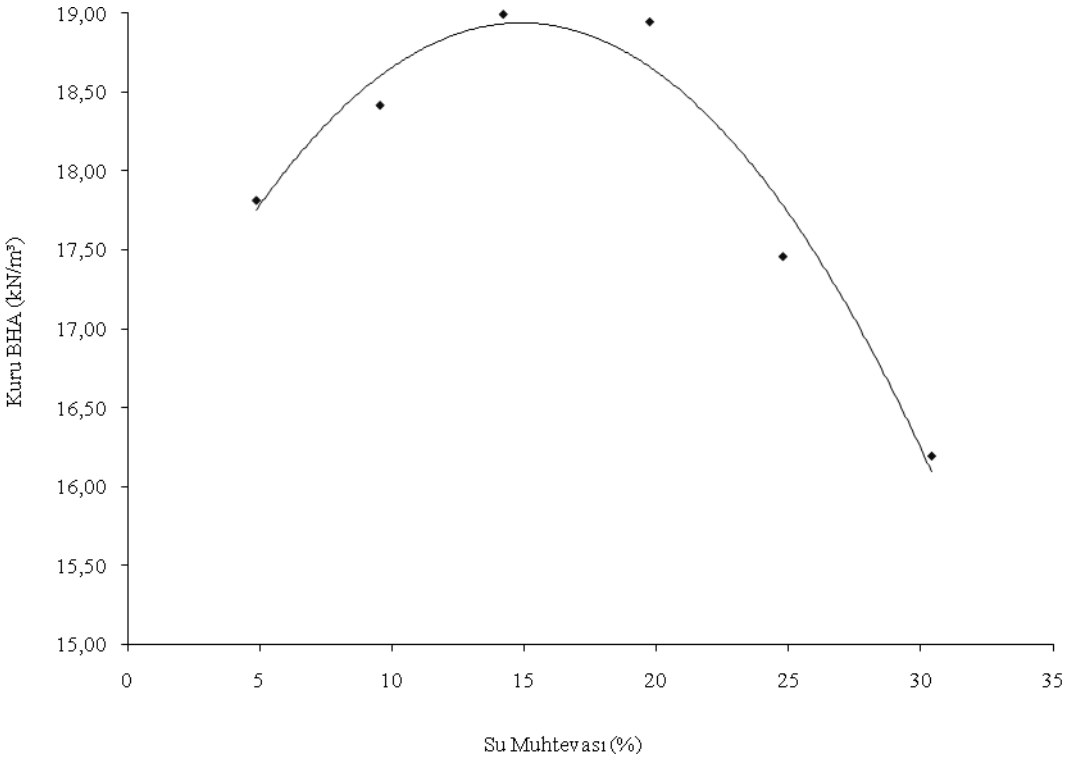


Şekil E.3: % 5 kireçli deniz kili Harvard standart proktor eğrisi

Tablo E.4: % 5 kireçli deniz kili Harvard modifiye proktor deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%5 Kireçli
DENEYİN ÖZELLİĞİ	Modifiye
KALIBIN İÇ HACMİ (cm.3)	62.27
TARİH	26.02.2009

Ör. Numune No	1	2	3	4	5	6
Kap No	132	235	218	91	27	233
Kap Ağırlığı (gr)	34.69	33.94	34.69	34.84	46.74	33.48
Kap+Yaş zemin (gr)	56.93	43.36	48.36	60.07	61.19	45.40
Kap+Kuru zemin (gr)	55.90	42.54	46.66	55.91	58.32	42.62
Su Ağırlığı (gr)	1.03	0.82	1.70	4.16	2.87	2.78
Zemin Ağırlığı (gr)	21.21	8.60	11.97	21.07	11.58	9.14
Su muhtevası w (%)	4.86	9.53	14.20	19.74	24.78	30.42
Tahm. Su Muhtev.%	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
Su muhtevası w (%)	4.86	9.53	14.20	19.74	24.78	30.42
Kalıp+Zemin ağr. (gr)	539.52	549.00	558.63	564.95	559.24	555.02
Kalıp Ağırlığı (gr)	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96	420.96
Zemin Ağırlığı (gr)	118.56	128.04	137.67	143.99	138.28	134.06
Doğ.BHA (kN/m³)	18.68	20.17	21.69	22.68	21.78	21.12
Kuru BHA (kN/m³)	17.81	18.42	18.99	18.94	17.46	16.19

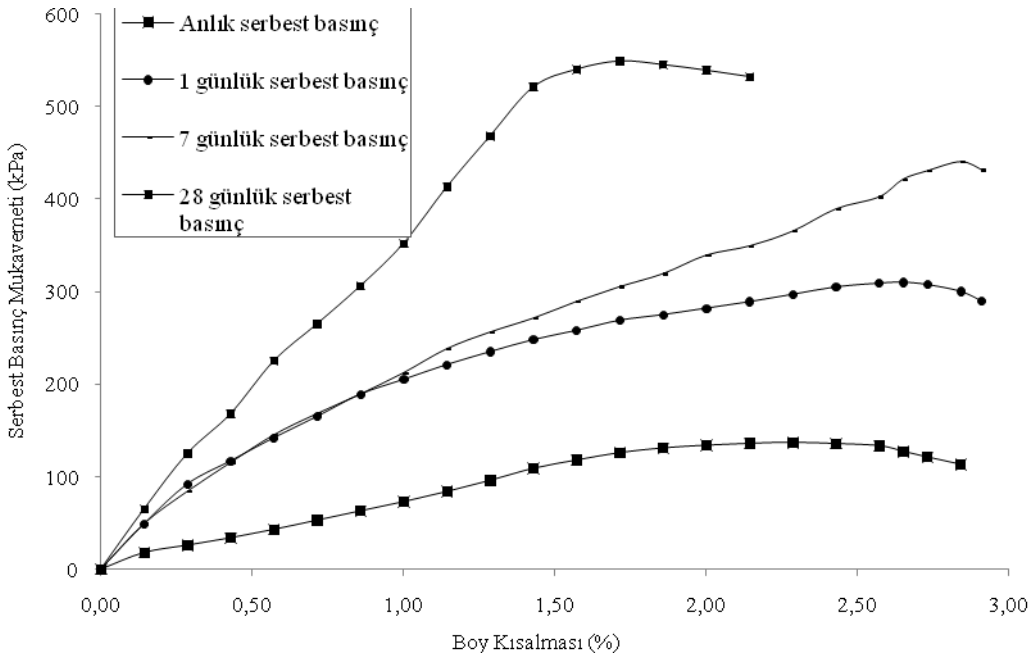


Şekil E.4: % 5 kireçli deniz kili Harvard modifiye proktor eğrisi

Ek F – Serbest Basınç Deneyleri

Tablo F.1: Doğal su muhtevasında 5% sönmemiş kireçli deniz kili kıyaslamalı modifiye serbest basınç deneyi

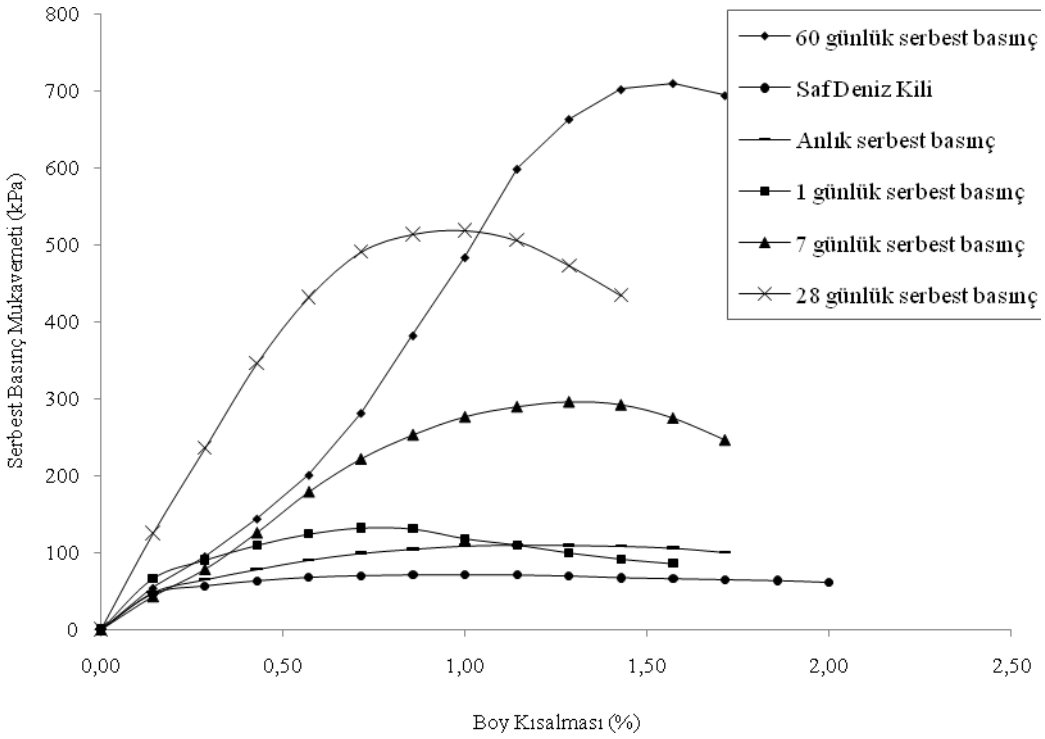
Anlık, 5% Sönmemiş Kireç		1 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		7 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		28 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç	
Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.14	18.0	0.14	49.0	0.14	49.0	0.14	65.3
0.29	26.0	0.29	92.0	0.29	84.0	0.29	125.1
0.43	34.0	0.43	117.0	0.43	115.0	0.43	168.7
0.57	43.0	0.57	142.0	0.57	145.0	0.57	225.7
0.71	53.0	0.71	165.0	0.71	168.0	0.71	265.3
0.86	63.0	0.86	189.0	0.86	189.0	0.86	306.9
1.00	73.0	1.00	205.0	1.00	212.0	1.00	352.6
1.14	84.0	1.14	221.0	1.14	238.0	1.14	413.1
1.29	96.0	1.29	235.0	1.29	256.0	1.29	468.2
1.43	109.0	1.43	248.0	1.43	271.0	1.43	521.1
1.57	118.0	1.57	258.0	1.57	289.0	1.57	540.6
1.71	126.0	1.71	269.0	1.71	305.0	1.71	549.0
1.86	131.0	1.86	275.0	1.86	319.0	1.86	545.3
2.00	134.0	2.00	282.0	2.00	339.0	2.00	539.5
2.14	136.0	2.14	289.0	2.14	349.0	2.14	532.1
2.29	137.0	2.29	297.0	2.29	365.0		
2.43	135.7	2.43	305.0	2.43	389.0		
2.57	133.4	2.57	309.0	2.57	402.0		
2.65	127.2	2.65	310.0	2.65	421.0		
2.73	121.1	2.73	307.5	2.73	430.0		
2.84	113.2	2.84	300.1	2.84	440.0		
2.91		2.91	289.7	2.91	431.2		



Şekil F.1: % 5 sönmemiş kireçli deniz kili modifiye serbest basınç diyagramı

Tablo F.2: Optimum su muhtevasında doğal, 5% sönmüş kireçli deniz kili kıyaslamalı standart serbest basınç deneyi

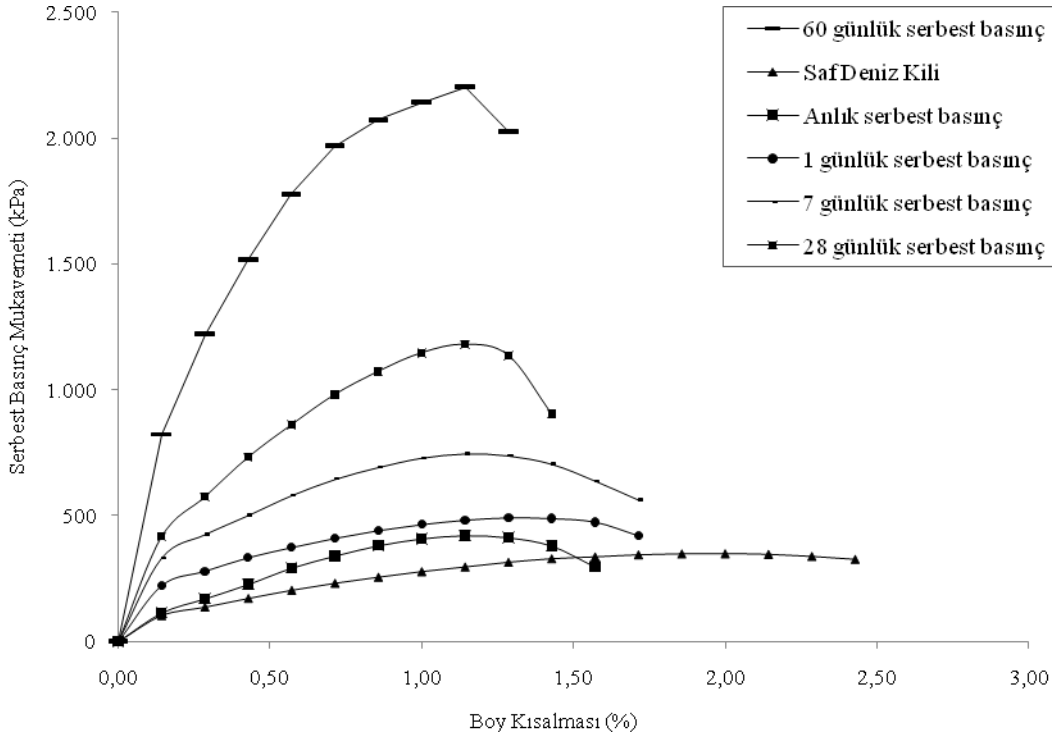
Saf Deniz Kili		Anlık, 5% Sönmemiş Kireç		1 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		7 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		28 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		60 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç	
Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.14	46.35	0.14	48.19	0.14	66.33	0.14	43.27	0.14	124.84	0.14	53.83
0.29	56.45	0.29	64.91	0.29	90.22	0.29	78.46	0.29	235.60	0.29	94.93
0.43	63.13	0.43	78.22	0.43	109.48	0.43	126.04	0.43	346.04	0.43	143.90
0.57	67.54	0.57	90.38	0.57	124.13	0.57	179.15	0.57	432.22	0.57	200.71
0.71	69.69	0.71	99.16	0.71	131.91	0.71	221.92	0.71	490.81	0.71	281.28
0.86	70.71	0.86	104.58	0.86	130.58	0.86	253.25	0.86	513.99	0.86	382.08
1.00	70.61	1.00	108.87	1.00	117.92	1.00	276.59	1.00	518.92	1.00	483.72
1.14	70.50	1.14	109.82	1.14	109.83	1.14	289.72	1.14	505.70	1.14	598.68
1.29	69.28	1.29	109.66	1.29	99.49	1.29	296.05	1.29	473.27	1.29	663.48
1.43	66.95	1.43	108.39	1.43	91.44	1.43	292.25	1.43	434.14	1.43	702.09
1.57	65.74	1.57	106.02	1.57	85.68	1.57	274.99			1.57	710.11
1.71	64.53	1.71	100.35			1.71	246.57			1.71	694.42
1.86	63.32										
2.00	61.01										



Şekil F.2: % 5 sönmüş kireçli deniz kili standart serbest basınç diyagramı

Tablo F.3: Optimum su muhtevasında doğal, 5% sönmüş kireçli deniz kili kıyaslamalı modifiye serbest basınç deneyi

Saf Deniz Kili		Anlık, 5% Sönmemiş Kireç		1 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		7 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		28 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç		60 Günlük, 5% Sönmemiş Kireç	
Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa	Boy K. %	S.B., kPa
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.14	103.41	0.14	114.02	0.14	222.72	0.14	332.39	0.14	416.21	0.14	822.35
0.29	13.93	0.29	170.22	0.29	279.98	0.29	425.61	0.29	574.93	0.29	1220.32
0.43	171.47	0.43	227.38	0.43	333.68	0.43	501.65	0.43	732.06	0.43	1515.50
0.57	203.68	0.57	292.25	0.57	373.72	0.57	580.84	0.57	860.96	0.57	1777.91
0.71	231.32	0.71	340.08	0.71	410.27	0.71	645.19	0.71	980.61	0.71	1967.80
0.86	255.53	0.86	381.06	0.86	441.10	0.86	692.51	0.86	1072.20	0.86	2073.00
1.00	277.44	1.00	408.48	1.00	465.11	1.00	729.61	1.00	1145.82	1.00	2141.55
1.14	295.94	1.14	421.29	1.14	482.34	1.14	746.45	1.14	1179.46	1.14	2201.96
1.29	314.39	1.29	412.86	1.29	491.69	1.29	738.65	1.29	1135.81	1.29	2026.68
1.43	328.35	1.43	379.94	1.43	488.74	1.43	705.21	1.43	903.99		
1.57	335.62	1.57	297.05	1.57	474.65	1.57	638.44				
1.71	343.97			1.71	420.55	1.71	562.95				
1.86	347.88										
2.00	348.46										
2.14	345.74										
2.29	337.53										
2.43	326.05										



Şekil F.3: % 5 sönmüş kireçli deniz kili modifiye serbest basınç diyagramı

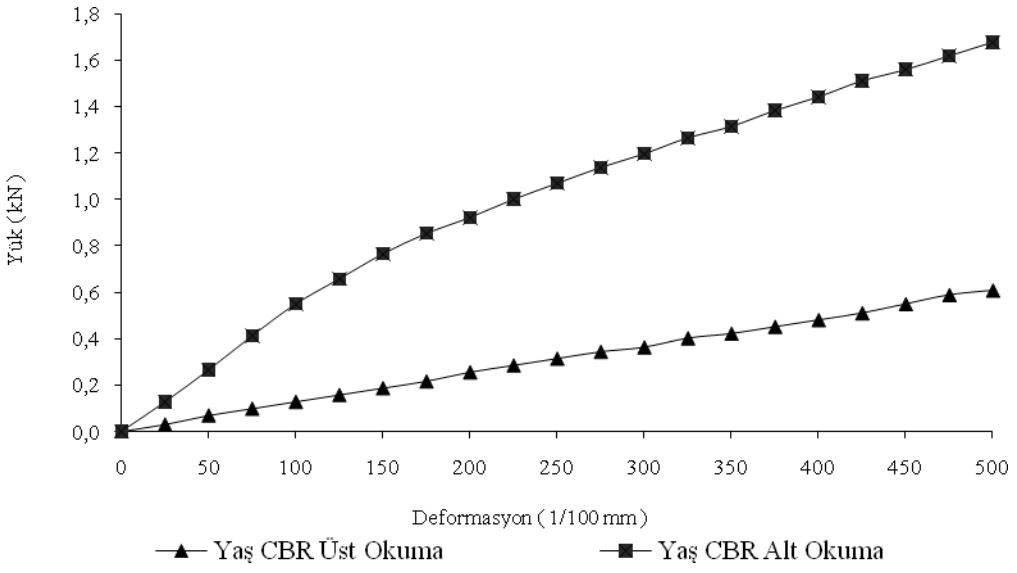
Ek G – CBR Deneyleri

Tablo G.1: Saf deniz kili CBR deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	Saf
SIKIŞTIRMA ŞEKLİ	Modifiye
TARİH	

Mikrometre Okuması	Üst Okuma	Alt Okuma	Üst Okuma (kN)	Alt Okuma (kN)
0	0	0	0.000	0.000
25	3	13	0.029	0.128
50	7	27	0.069	0.265
75	10	42	0.098	0.412
100	13	56	0.128	0.549
125	16	67	0.157	0.657
150	19	78	0.186	0.765
175	22	87	0.216	0.853
200	26	94	0.255	0.922
225	29	102	0.284	1.001
250	32	109	0.314	1.069
275	35	116	0.343	1.138
300	37	122	0.363	1.197
325	41	129	0.402	1.265
350	43	134	0.422	1.315
375	46	141	0.451	1.383
400	49	147	0.481	1.442
425	52	154	0.510	1.511
450	56	159	0.549	1.560
475	60	165	0.589	1.619
500	62	171	0.608	1.678

Şişme Miktarı		13,62
Yaş CBR Değerleri		
	Yük (kN)	CBR (%)
2.5 mm.	1.069	8
5.0 mm.	1.678	8



Şek

Şekil G.1: Saf deniz kili CBR deneyi

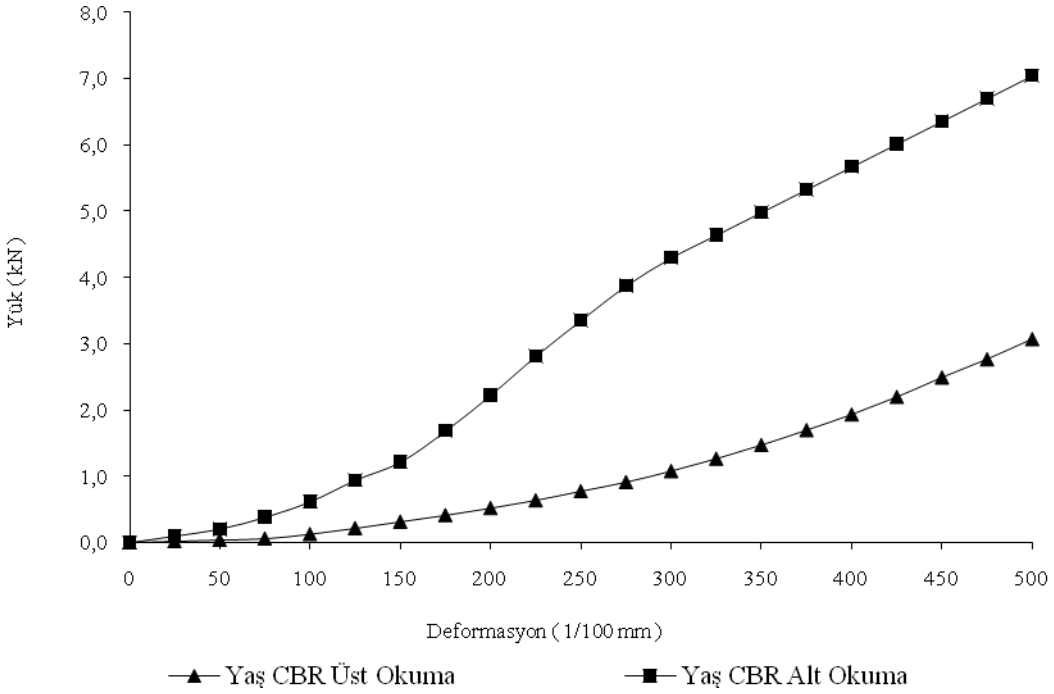
Tablo G.2: % 5 kireçli deniz kili CBR deneyi

PROJE	Deniz Kilinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Gemlik - Bursa
ÖRNEĞİN TANIMI	%5 Kireç
SIKIŞTIRMA ŞEKLİ	Modifiye
TARİH	

Mikrometre Okuması	Üst Okuma	Alt Okuma	Üst Okuma (kN)	Alt Okuma (kN)
0	0	0	0.000	0.000
25	2	10	0.020	0.098
50	4	21	0.039	0.206
75	6	39	0.059	0.383
100	13	63	0.128	0.618
125	22	96	0.216	0.942
150	32	124	0.314	1.216
175	42	172	0.412	1.687
200	53	227	0.520	2.227
225	65	287	0.638	2.815
250	79	342	0.775	3.355
275	93	395	0.912	3.875
300	110	438	1.079	4.297
325	129	473	1.265	4.640
350	150	508	1.472	4.983
375	173	543	1.697	5.327
400	197	578	1.933	5.670
425	224	613	2.197	6.014
450	254	648	2.492	6.357
475	282	683	2.766	6.700
500	313	718	3.071	7.044

Şişme Miktarı	2,41

Yaş CBR Değerleri		
	Yük (kN)	CBR (%)
2.5 mm.	3.355	25
5.0 mm.	7.044	35



Şekil G.2: % 5 kireçli deniz kili CBR deneyi

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Gölcük' te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul' da tamamladı. 2003 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. 2 sene özel sektörde görev yaptı. 2009 yılından bu yana ortağı olduğu Beytek İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. firmasında şirket müdürü olarak görev almaktadır.