

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

**SİTLİ BİR ZEMİNİN KİREÇ VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Turgut AYGÜN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN

TEMMUZ 2019

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

**SİTLİ BİR ZEMİNİN KİREÇ VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Turgut AYGÜN
1168202113**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN

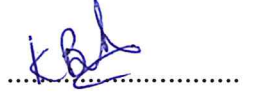
TEMMUZ 2019

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1168202113 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Turgut AYGÜN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Siltli Bir Zeminin Kireç ve Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirilmesi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN**
Kırklareli Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN**
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Temel TEMİZ
Yalova Üniversitesi



Teslim Tarihi : 03 Temmuz 2019

Savunma Tarihi : 18 Temmuz 2019

ÖNSÖZ

Öncelikle, çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen, akademik hayatında edinmiş olduğu tecrübe ve bilgi birikimi ile tezimin tüm aşamalarında bana yol gösteren Sn. Dr. Erdiç KESKİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Yine çalışmalarım esnasında bana her türlü desteği veren Araş. Gör. Onur YAVAN'a ve Araş. Gör. İlker ŞAHİNOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan ve tüm eğitim hayatımda maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen sevgili aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

Temmuz 2019

Turgut AYGÜN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Tez Sunum Düzeni	3
2. YÜZEYSEL ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ ve ZEMİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ.....	5
2.1 Yüzeysel Zemin İyileştirme Yöntemleri	5
2.2 Kireç ile zemin iyileştirme	6
2.3 Pirinç kabuğu külü ile zemin iyileştirme.....	8
2.4 Çimento ile zemin iyileştirme	9
2.5 Uçucu kül ile zemin iyileştirme	10
2.6 Kireç ve Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirme ile İlgili Yapılan Çalışmalar	12
3. MALZEME ve YÖNTEM.....	22
3.1 Kullanılan Malzemeler	22
3.1.1 Deneysel çalışmaya tabii tutulan zemin numunesi	22
3.1.2 Kireç.....	23
3.1.3 Pirinç Kabuğu Külü	24
3.2 Yöntem	25
3.2.1 Zemin numunesinin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi.....	25
3.2.1.1 Elek analizi.....	25
3.2.1.2 Kıvam limitleri	26
3.2.1.3 Hidrometre	26
3.2.1.4 Özgül ağırlık.....	26
3.2.1.5 Kompaksiyon	27
3.2.1.6 Düşen seviyeli permeabilite	27
3.2.2 Zemin numunesinin kireç ve pirinç kabuğu külü kullanılarak iyileştirilmesi.....	27
3.2.2.1 Kireç ile iyileştirme çalışmaları	27
3.2.2.2 Optimum kireç miktarının belirlenmesi	28
3.2.2.3 Kompaksiyon	28
3.2.2.4 Serbest basınç dayanımı	28
3.2.2.5 CBR deneyi	28
3.2.2.6 Permeabilite.....	29
3.2.3 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirme çalışmaları.....	29
3.2.3.1 Kompaksiyon	29

3.2.3.2 Serbest basınç dayanımı	30
3.2.3.3 CBR deneyi	30
3.2.3.4 Permeabilite.....	30
3.2.4 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme çalışmaları	31
3.2.4.1 Kompaksiyon	31
3.2.4.2 Serbest basınç dayanımı	31
3.2.4.3 CBR deneyi	31
3.2.4.4 Permeabilite.....	32
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	33
4.1 Doğal Zemin ile İlgili Yapılan Deneyler.....	33
4.1.1 Elek analizi deney verileri.....	33
4.1.2 Hidrometre deney verileri	34
4.1.3 Kıvam limiti deney verileri	35
4.1.4 Özgük ağırlık deney verileri.....	35
4.1.5 Kompaksiyon deneyi verileri	36
4.1.6 Permeabilite deneyi verileri	36
4.2 Kireç ile İyileştirilmiş Zeminler ile İlgili Yapılan Deneyler	37
4.2.1 pH yöntemi deney verileri.....	38
4.2.2 Kompaksiyon deney verileri	39
4.2.3 Serbest basınç deney verileri.....	39
4.2.4 CBR deney verileri.....	40
4.2.5 Permeabilite deney verileri.....	42
4.3 Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirilmiş Zeminler ile İlgili Yapılan Deneyler.....	43
4.3.1 Kompaksiyon deney verileri	43
4.3.2 Serbest basınç deney verileri.....	44
4.3.3 CBR deney verileri.....	45
4.3.4 Permeabilite deney verileri.....	47
4.4 Kireç + Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirilmiş Zeminler ile İlgili Yapılan Deneyler	49
4.4.1 Kompaksiyon deney verileri	49
4.4.2 Serbest basınç deney verileri.....	50
4.4.3 CBR deney verileri.....	52
4.4.4 Permeabilite deney verileri.....	55
5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	59
5.1 Kompaksiyon Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	59
5.2 Serbest Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	61
5.3 CBR Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	64
5.4 Permeabilite Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	66
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio
TS	: Türk Standartları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Deneysel çalışmada kullanılan zeminin fiziksel özellikleri	23
Çizelge 3.2 : Sönmüş kirecin temel karakteristik özellikleri	23
Çizelge 3.3 : Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri	24
Çizelge 4.1 : Doğal zemin için hesaplanan permeabilite katsayıları	37
Çizelge 4.2 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti	40
Çizelge 4.3 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen serbest şişme değerleri	41
Çizelge 4.4 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri	42
Çizelge 4.5 : % 2.5 Kireç ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	43
Çizelge 4.6 : % 5 Kireç ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	43
Çizelge 4.7 : Pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti	45
Çizelge 4.8 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen serbest şişme değerleri	46
Çizelge 4.9 : Pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri .	46
Çizelge 4.10 : % 5 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	47
Çizelge 4.11 : % 10 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	48
Çizelge 4.12 : % 15 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	48
Çizelge 4.13 : % 20 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	48
Çizelge 4.14 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti	51
Çizelge 4.15 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti	52
Çizelge 4.16 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile elde edilen şişme değerleri	53
Çizelge 4.17 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile elde edilen şişme değerleri	53
Çizelge 4.18 : % 2.5 kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri	54
Çizelge 4.19 : % 5 kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri	55
Çizelge 4.20 : % 2.5 kireç + % 5 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	56
Çizelge 4.21 : % 2.5 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	56
Çizelge 4.22 : % 2.5 kireç + % 15 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	56
Çizelge 4.23 : % 2.5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	57
Çizelge 4.24 : % 5 kireç + % 5 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	57
Çizelge 4.25 : % 5 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	57
Çizelge 4.26 : % 5 kireç + % 15 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları	58

Çizelge 4.27 : % 5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için	
permeabilite katsayıları	58
Çizelge 5.1 : Numunelerin isimlendirilmesi	59
Çizelge 5.2 : Farklı katkıları için elde edilen permeabilite katsayıları	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kirecin yol yapımında uygulanması	8
Şekil 2.2 : Pirinç kabuğu ve pirinç kabuğu külü.....	9
Şekil 2.3 : Değişik renklerde uçucu küller.....	11
Şekil 2.4 : Uçucu külün zemine uygulanması	11
Şekil 3.1 : Kırklareli ili şehir merkezinden alınan zemin numunesi.....	22
Şekil 3.2 : Deneysel çalışma kapsamında kullanılan kireç.....	24
Şekil 3.3 : Deneysel çalışma kapsamında kullanılan pirinç kabuğu külü.....	25
Şekil 4.1 : Zemin numunesine ait dane dağılımı eğrisi	34
Şekil 4.2 : Hidrometre deney numunesi	34
Şekil 4.3 : Hidrometre deneyi sonucunda elde edilen dane dağılımı eğrisi.....	35
Şekil 4.4 : Doğal zemin için elde edilen kompaksiyon eğrisi.....	36
Şekil 4.5 : Düşen seviyeli permeabilite deney düzeneği	37
Şekil 4.6 : Hazırlanan solüsyonlar ve pH deney düzeneği	38
Şekil 4.7 : Kireç miktarının artması ile pH değerinin değişimi.....	38
Şekil 4.8 : Kireç katılmış zeminin kompaksiyon eğrileri	39
Şekil 4.9 : Kireç katılmış zeminin drenajsız kayma mukavemeti	40
Şekil 4.10 : Kireç katılmış zeminin CBR değerleri	41
Şekil 4.11 : Kireç katılmış zeminin CBR değerleri	42
Şekil 4.12 : Pirinç kabuğu külü katılmış zeminlerin kompaksiyon eğrileri	44
Şekil 4.13 : Pirinç kabuğu külü katılmış zeminin drenajsız kayma mukavemeti.....	45
Şekil 4.14 : Pirinç kabuğu külü katılmış zeminin CBR değerleri.....	47
Şekil 4.15 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu katılmış zeminlerin kompaksiyon eğrileri	49
Şekil 4.16 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu katılmış zeminlerin kompaksiyon eğrileri ..	50
Şekil 4.17 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti.....	51
Şekil 4.18 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti.....	52
Şekil 4.19 : % 2.5 kireç + pirinç kabuğu külü katılmış zeminin CBR değerleri	54
Şekil 4.20 : % 5 kireç + pirinç kabuğu külü katılmış zeminin CBR değerleri	55
Şekil 5.1 : Pirinç kabuğu külü ile maksimum birim hacim ağırlık arasındaki ilişki..	60
Şekil 5.2 : Pirinç kabuğu külü ile optimum su muhtevası arasındaki ilişki.....	61
Şekil 5.3 : Farklı karışımlar için anlık drenajsız kayma mukavemeti değerleri	62
Şekil 5.4 : Farklı karışımlar için 1 günlük drenajsız kayma mukavemeti değerleri ..	62
Şekil 5.5 : Farklı karışımlar için 7 günlük drenajsız kayma mukavemeti değerleri ..	63
Şekil 5.6 : Farklı karışımlar için 28 günlük drenajsız kayma mukavemeti değerleri	63
Şekil 5.7 : Farklı karışımlar için anlık CBR değerleri	64
Şekil 5.8 : Farklı karışımlar için 1 günlük CBR değerleri	65
Şekil 5.9 : Farklı karışımlar için 7 günlük CBR değerleri.....	65
Şekil 5.10 : Farklı karışımlar için 28 günlük CBR değerleri.....	66

SİLTİLİ BİR ZEMİNİN KİREÇ VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde elverişsiz zeminlerin iyileştirilmesi oldukça önemli bir konudur. Bu amaçla yüzeysel ve derin iyileştirme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, siltli bir zemin numunesinin kireç ve pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmesi incelenmiştir. İyileştirme sonucunda zeminin mühendislik özelliklerindeki değişimler sayısal olarak irdelenmiştir.

Deneysel çalışma kapsamında öncelikle zemin numunesinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Geoteknik özellikleri belirlenen zemin numunesi kireç, pirinç kabuğu külü ve kireç + pirinç kabuğu külü kullanılarak iyileştirilmiştir. Zemin numunesinin optimum kireç miktarını bulmak için pH yöntemi kullanılmıştır. pH deneyi sonucunda optimum kireç miktarı % 5 olarak belirlenmiştir. Zemin iyileştirmesi amacıyla zemine % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında pirinç kabuğu külü katılmıştır. Son olarak zemine kireç ve pirinç kabuğu külü bir arada katılmıştır. Bu amaçla zemine iki farklı oranda kireç ve 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü katılmıştır.

İyileştirme yapılan zemin numuneleri üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarında doğal zemin için ve iyileştirme yapılan zeminler için optimum kireç miktarları ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda zemine kireç ve pirinç kabuğu külü katılması durumunda optimum su muhtevası değerlerinde artış, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde ise azalma meydana geldiği görülmüştür.

Kompaksiyon özellikleri belirlenen zemin numunelerinin dayanım değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla serbest basınç deneyi ve kaliforniya taşıma oranı deneyleri yapılmıştır. Doğal zemin numunesine % 5 kireç katılması ile birlikte anlık drenajsız kayma mukavemeti değeri 30 kPa iken 28 günlük kür süresi sonunda 86 kPa değerine ulaştığı görülmüştür. Yaklaşık olarak 3 kata varan artış meydana gelmiştir. Doğal zemin numunesine % 20 pirinç kabuğu külü katılması durumunda anlık drenajsız kayma mukavemeti değeri 30 kPa iken 28 gün kür süresi sonunda 48 kPa değerine çıkmıştır. Zemine pirinç kabuğu külünün tek başına eklenmesiyle birlikte bir miktar artış meydana gelmiş olsa da kayda değer bir artış olmamıştır. Doğal zemin numunesine % 5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü katılması durumunda ise anlık drenajsız kayma mukavemeti değeri 30 kPa'dan 28 günlük kür süresi sonucunda 186 kPa değerine yükselmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda zeminin drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin kür süresi ile birlikte arttığı görülmüştür.

CBR (kaliforniya taşıma oranı) deneyleri sonucunda serbest şişme ve CBR değerleri incelenmiştir. Doğal zemin numunesinin şişme değeri 1.45 cm iken zemine % 5 kireç katılması ve 28 gün kür edildikten sonra şişme değeri 0.03 cm değerine düşmüştür. Aynı şekilde zemine pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte şişme değerlerinde azalma görülmüştür. Doğal zemin numunesinin 28 günlük kür süresi sonundaki CBR değeri % 6 iken % 5 kireç katılması ve 28 günlük kür süresi sonunda bu değer % 33'e yükselmiştir. CBR deneyleri sonucunda doğal numune % 6 iken pirinç kabuğu eklenmesi sonucunda bu değer % 20 olmuştur. CBR değerindeki en büyük artış zemine kireç ve pirinç kabuğu külünün birlikte katılması ile gerçekleşmiştir. Permeabilite deneyleri sonucunda zemine kireç katılması ile birlikte geçirgenliğinde bir miktar azalma meydana geldiği görülmüştür. Pirinç kabuğu külü katılması durumunda ise

zeminin geçirgenliği artmıştır. İki katkıının birlikte katılması durumunda geçirgenlik azalmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda, zemine kireç ve pirinç kabuğu külünün bir arada veya ayrı ayrı katılması ile birlikte zeminin fiziksel özelliklerinde iyileşme meydana geldiği görülmüştür.

Bu bilgiler ışığında zemin iyileştirmesinde, pirinç üretimi sonucunda atık olarak ortaya çıkan pirinç kabuğu külünün kullanılmasının uygun olacağı açık olarak görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kireç, Pirinç Kabuğu Kl, Drenajsız Kayma Mukavemeti, Kaliforniya Taşıma Oranı, Permeabilite

IMPROVEMENT OF SILTY SOIL WITH LIME AND RICE HUSK ASH

SUMMARY

Nowadays, the soil improvement is a very important issue. For this purpose, shallow and deep improvement methods are widely used. In this thesis, the improvement of a silty soil sample with lime and rice husk ash was investigated. As a result of the improvements, changes in the engineering properties of the soil have been examined numerically.

Firstly, geotechnical properties of soil samples were determined. Soil specimens whose geotechnical properties were determined were improved by using lime, rice husk ash and lime + rice husk ash. The pH method was used to determine the optimum lime content of the soil sample. As a result of pH test, optimum lime amount was determined as 5%. 5%, 10%, 15% and 20% rice husk ash was added to the ground for soil improvement. Finally, lime and rice husk ash was added to the soil. For this purpose, two different amounts of lime and 4 different amounts of rice husk ash were added to the soil.

Compaction experiments were performed on the soil samples that were improved. In the test results, optimum lime amounts and maximum dry unit volume weight values were determined for natural soils and for improved soils. As a result of the experiments, it was seen that optimum water content values increased and maximum dry unit volume weight values decreased when lime and rice husk ash was added to the ground.

In order to determine the strength values of soil samples with compaction properties, Unconfined Compression test and California Bearing Ratio (CBR) tests were performed. With the addition of 5% lime to the natural soil sample, the instant undrained shear strength value was 30 kPa, but it reached 86 kPa at the end of the 28-day curing period. An increase of approximately 3 times has occurred. If 20% brass husk ash was added to the natural soil sample, the instant undrained shear strength value was 30 kPa, but it increased to 48 kPa after 28 days curing time. Although there was some increase with the addition of rice husk ash alone, there was no significant increase. When 5% lime + 20% rice husk ash was added to the natural soil sample, the instant undrained shear strength value increased from 30 kPa to 186 kPa as a result of the curing period of 28 days. As a result of experimental studies, it was seen that undrained shear strength values of the soil increased with curing time.

As a result of CBR experiments, swelling and CBR values were examined. Swelling value of natural soil sample was 1.45 cm, 5% lime was added to the ground and after curing for 28 days, the swelling value decreased to 0.03 cm. Similarly, with the addition of rice husk ash to the ground, the swelling values decreased. The CBR value of the natural soil sample at the end of the 28-day curing period was 6% while the addition of 5% lime and this value increased to 33% after the 28-day curing period. As a result of the CBR experiments, the natural sample was 6%, while the addition of rice husk was 20%. The greatest increase in CBR value was achieved by adding lime and rice husk ash together. As a result of the permeability tests, it has been observed that permeability is reduced with the addition of lime to the ground. If rice husk ash is

added, the permeability of the ground is increased. If two additives were added together, the permeability was reduced.

As a result of the experiments carried out within the scope of the study, it was observed that the physical properties of the soil improved with the addition of lime and rice husk ash together or separately. In the light of this information, it has been seen that it is appropriate to use rice husk ash which is produced as waste as a result of rice production.

Keywords: Lime, Rice Husk Ash, Undrained Shear Strength, California Bearing Ratio, Permeability

1. GİRİŞ

İnşaat sahalarında elverişsiz zeminlerle karşılaşılması durumunda genellikle zemin iyileştirmesi yöntemlerine başvurulmaktadır. Zemin iyileştirmesi amacıyla farklı birçok yöntem kullanılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemlerini genel olarak yüzeysel iyileştirme yöntemleri ve derin zemin iyileştirme yöntemleri olarak iki ana grupta toplayabiliriz. Yüzeysel iyileştirme yöntemleri sıklıkla karayolu ve demiryolu projelerinde taban zeminin iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Bu tarz projelerde taban zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ile birlikte üstyapı kalınlıklarında ciddi oranda azalmalar meydana gelmektedir. Bu sayede tasarım ve yapım aşamasında, inşaat maliyetini düşürmek ve malzemelerin etkin kullanımı sağlanmaktadır [1]. Zeminin yerinde iyileştirilmesindeki başarı düzeyi zemin iyileştirmesinde kullanılan yöntemlere göre farklılık göstermektedir. Bunun ana nedeni zeminlerin farklı türlerde olması ve zeminlerin farklı iyileştirme tekniklerine farklı tepkiler göstermesidir.

Başlıca yüzeysel iyileştirme yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Mekanik iyileştirme
- Çimento ile iyileştirme
- Kireç ile iyileştirme
- Bitüm ile iyileştirme
- Elektro-ozmoz
- Termal iyileştirme
- Kimyasal iyileştirme.

Mekanik iyileştirme zaman zaman granüler iyileştirme olarakta adlandırılmaktadır. Granüler zeminlerde zeminin stabilitesini kontroleden en önemli faktör dane dağılımı ve sıklığıdır. Mekanik iyileştirmede amaç zemin danelerinin dışardan verilen bir enerji vasıtası ile sıkıştırılması ve mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Benzer

şekilde killi zeminlerin yeterli miktarda granüler malzeme ile karıştırılması ve sıkıştırılması suretiyle çok fazla tercih edilmemekle birlikte killi zeminlerin iyileştirilmesinde de bu yöntem kullanılabilir.

Granüler zeminlerde en çok kullanılan ve en başarılı sonuç veren yöntemlerden biri ise zeminlerin çimento ile iyileştirilmesidir. Çimento ile iyileştirme genellikle granüler zeminlerde düşük veya yüksek basınçlı enjeksiyon ile yapılmaktadır. Ayrıca zemine belli oranlarda çimento katılmasıyla granüler ve ince daneli zeminlerde de yüzeysel zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanım alanı bulmuştur.

Kireç ile iyileştirme genel olarak ince daneli zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Kireç, zemin içerisindeki puzolonik maddeler ile reaksiyona girerek zeminin mühendislik özelliklerinin gelişmesini sağlamaktadır. Bu maddeler ince daneli zeminlerde amorf bileşenlerden oluşmaktadır. Bu maddelerin granüler zeminlerde olmaması nedeniyle kireç ile iyileştirme granüler zeminlerde kullanılmamaktadır. Zemine kireç katılması ile birlikte genellikle birim hacim ağırlığın azalması, plastisite özelliklerinin değişmesi ve mukavemetinin artması gibi sonuçlar beklenmektedir.

Yüzeysel zemin iyileştirme tekniklerinden bir başkası ise zemine bitüm karıştırılmasıyla yapılmaktadır. Zemine bitüm karıştırıldıktan sonra zemin su geçirmez bir yapıya bürünmektedir. Zemin içerisine katılan bitüm, daneler arasındaki boşlukları azaltarak suyun zemin içerisine girmesini engeller. Zemin içerisinde su geçirmez bir tabaka oluşturulması ile birlikte su zemine giremez ve zeminin doğal özellikleri korunmuş olmaktadır.

Elektro-ozmoz bir elektriksel iyileştirme tekniğidir. Bu işlem suya doymuş zeminlere doğrudan bir elektrik akımı verilmesi prensibine dayanmaktadır. Elektriksel akım akışı ile birlikte su katod ucuna doğru hareket etmektedir. Suyun zemini terketmesi ve boşlukların azalması ile birlikte zemin konsolide edilmektedir. Bu konsolidasyon neticesinde ise zeminin dayanımında önemli oranda artışlar meydana gelmektedir.

Termal iyileştirme genel olarak inşaat sahasında geçici bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Zemini dondurarak yapılan iyileştirme genellikle geçici olarak zemini iyileştirerek açık veya yeraltı kazılarının hızlı bir şekilde inşasında kullanılmaktadır. Isıl iyileştirme ise ince daneli zeminlerin yüzeysel olarak iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. İnce daneli zeminler yüksek sıcaklıklarda

ısıtılarak şişme özellikleri ve dayanım özellikleri açısından iyileştirilebilir. Yöntem ince daneli zeminlerde iyi sonuçlar verse de uygulamadaki zorluğu ve ekonomisi nedeniyle çok fazla kullanım alanı bulmamıştır.

Bu yöntemler dışında bazı kimyasal iyileştirme yöntemleri de bulunmaktadır. Birçok ticari katkı kullanılarak zemin iyileştirmesi yapılmaktadır. Özellikle ince daneli zeminlerin iyileştirmesinde kullanılan bu yöntemlerin ana prensipleri zemine belli oranlarda katılarak zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesidir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışması kapsamında ince daneli bir zeminin kireç ve pirinç kabuğu külü kullanılarak iyileştirilmesi planlanmıştır. İyileştirme sonucunda zeminin mühendislik özelliklerindeki değişimler sayısal olarak irdelenmiştir.

1.2 Tez Sunum Düzeni

Bu bölümde tez çalışmasına giriş, tezin amacı ve tez çalışması kapsamında yapılan çalışmaların sunum düzeni hakkında bilgiler verilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde yüzeysel zemin iyileştirmesi yöntemleri hakkında genel bilgiler, ardından literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan malzemeler ve deneysel çalışmada kullanılan yöntemler ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrasında ayrı ayrı verilmiştir.

Beşinci bölümde kireç, pirinç kabuğu külü ve kireç + pirinç kabuğu külü kullanılarak iyileştirilen zeminlerden elde edilen veriler birbirleri ile karşılaştırılarak iyileştirme yöntemlerinin birbirlerine karşı üstünlükleri incelenmiştir.

Altıncı bölümde tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve ileride yapılacak çalışmalar için öneriler verilmiştir.

2. YÜZEYSEL ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ ve ZEMİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bu bölümde ilk olarak yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ardından kireç ile iyileştirme ve pirinç kabuğu külü ile iyileştirme hakkında literatürde yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1 Yüzeysel Zemin İyileştirme Yöntemleri

Günümüzde hızla artan yapılaşma sebebiyle kullanılabilir iyi temel zemini özelliği gösteren yerlerin azalması, uygun olmayan zemin üzerine yapıların inşasını zorunlu hale getirmiştir. Zayıf temel özelliği gösteren alanlarda yüzeysel zemin stabilizasyonu yapılarak zemin kullanıma açılmaktadır.

Zemin iyileştirme tekniklerinin başlıca amaçları;

- Zeminin taşıma gücü arttırmak
- Oturmaları azaltmak
- Gerilmelerden oluşacak deformasyonları azaltmak
- Şişme potansiyelini düşürmek
- Geçirgenliği azaltmak
- Deprem sırasında sıvılaşma potansiyelini düşürmek
- Atık malzemelerin değerlendirilmesi
- Yeraltı sularının korunmasıdır.

Zemin iyileştirme teknikleri genel olarak iki grupta incelenebilir. Bunlar derin iyileştirme teknikleri ve yüzeysel iyileştirme teknikleridir. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemlerinde en sık kullanılanlar katkı malzemeleri kullanılarak yapılan zemin iyileştirme teknikleridir.

Bu malzemeler; kireç, çimento, sanayi atığı olarak ortaya çıkan uçucu kül, metal cürufu veya pirinç kabuğu külü olabilir. Bu malzemeler atık malzemelerdir. Bunların kullanımını ile doğa çevre kirliliğinden bir nebze olsa arındırılmış olur.

2.2 Kireç ile zemin iyileştirme

Kireç katılarak zeminlerin mukavemet artışı sağlanabilir. Durabilitesi iyileşen zeminde, kireç stabilizasyonu gerçekleşmiş olur [2].

Kireç en eski stabilizasyon malzemelerinden biridir. Zemin stabilizasyonu için sönmüş kireç kullanılmaktadır. Sönmemiş kireç daha etkili olmasına rağmen, yakıcı ve tehlikeli olması nedeniyle genellikle kullanılmamaktadır [3].

Kireç zeminde, mukavemeti ve şekil değiştirme modülünün artmasını, kabarma potansiyelinin ve şişme basınçlarının azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca plastisitenin azalmasına sebep olduğu için arazi çalışma koşullarının iyileşmesini sağlar [4].

Kireç stabilizasyonunda; zemine kuru ağırlığının %5-10'u oranında kireç katılır. Kireç stabilizasyonu genel olarak kohezyonlu zeminlerde kullanılır ve daneler arasında bağlar oluşturur, zeminin plastisitesi indisini azaltır. Zemine katılacak kireç miktarı, serbest basınç deneyi ile belirlenebilir [5].

Killi zemine kireç katıldığında kimyasal yapısı bozulmakta ve tekrar eski haline gelmemektedir. Kilin su tutma özelliği ve şişme özelliğini kaybetmesi ve tekrar su ile temas ettiğinde kil davranışı göstermemesi kireç stabilizasyonuna büyük avantaj sağlamaktadır [5].

Kireç stabilizasyonu sahada 3 farklı şekilde yapılabilir;

- Kireç, sahada zemin ile karıştırılır ve su eklenerek sıkıştırılarak yerleştirilir.
- Zemin, kireç ve su karışımı, istenen oranlarda plantta hazırlanır, arazide sıkıştırılarak yerleştirilir.
- Kireç-su bulamacı basınç ile zemine enjekte edilir. Bu yöntem ile 4.00 m – 5.00 m zemine kadar karışım iletilebilir. Daha sonra çeşitli yöntemlerle zemin-kireç karışımı sıkıştırılır [6].

Kireç stabilizasyonu sonucunda CBR değerlerinde artış olmakta, plastik limit artmakta, likit limit ise düşmekte, proctor eğrisi düzleşmekte, optimum su muhtevası artmakta ve proctor yoğunlukları düşmektedir.

Uzun kür dönemi sonucunda ise CBR değerleri daha da artmakta, serbest basınç, kayma mukavemetleri ve çekme gerilmeleri artmaktadır.

Kısa dönemde ve uzun dönemde olmak koşulu ile iki şekilde kontrol edecek olursak kısa dönemde;

- Kompaksiyon yoğunlukları düşmektedir.
- Plastik limit artmaktadır.
- Likit limit düşmektedir.
- Kompaksiyon eğrisi düşmektedir.
- CBR değerlerinde ise artış meydana gelmektedir.
- Uzun kür dönemi sonucunda ise;
- CBR değerleri kısa dönem kür süresine göre daha da artmaktadır.
- Serbest basınç mukavemeti artmaktadır.
- Kayma mukavemeti artmaktadır.
- Çekme gerilmeleri artmaktadır.
- Zeminlerde şişme ve büzölmeye karşı stabilite artmaktadır.
- Son olarak don etkisine karşı dayanıklılık artmaktadır [7].



Şekil 2.1 : Kirecin yol yapımında uygulanması

2.3 Pirinç kabuğu külü ile zemin iyileştirme

Pirinç kabuğu çeltik tanelerinin kapçıklarının alınması sonucu ortaya çıkan organik bir atık ürünüdür. Puzolanik katkı malzemelerinden biri olan pirinç kabuğu külü ise pirinç kabuğunun yakılması ile elde edilmektedir. Bu yakılma sırasında aynı zamanda yüksek oranda uçucu madde oluşmaktadır.

Pirinç üretimi yapan tüm ülkelerde bol miktarda ortaya çıkan pirinç kabuğu; % 40 selüloz, % 30 lignin grubu ve % 20 oranında hidrat amorf silis içermektedir [8].

Pirinç kabuğu külünde, % 95-97 oranında SiO₂ bulunmaktadır [9].

Termal uygulamalarla pirinç kabuğunda bulunan silis, silisin kristal hali olan kristabolite dönüşmektedir. Bununla birlikte kontrollü yakma şartları sağlandığı takdirde pirinç kabuklarından yüzey alanı, çok ince tanelere sahip ve yüksek reaktiflikte amorf silis elde edilmektedir [10]. Brooks, yüksek plastisiteli kil ile farklı oranlarda pirinç kabuğu külü karışımları üzerinde yapmış olduğu laboratuvar deneylerinde pirinç kabuğu külünün etkisini gözlemlemiştir. Yapmış olduğu C.B.R. (California Bearing Ratio) ve serbest basınç deneyleri sonucunda optimum pirinç kabuğu külü oranını ağırlıkça % 12 olarak hesaplamıştır. Ağırlıkça % 12 pirinç kabuğu külü kullandığı kil-pirinç kabuğu külü karışımı, serbest basınç testinde % 97 artış sağlarken bu oran C.B.R. testinde % 47 olmuştur [11].



Şekil 2.2 : Pirinç kabuğu ve pirinç kabuğu külü

2.4 Çimento ile zemin iyileştirme

Çimento, kalker taşı ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtılıp öğütülmesiyle meydana çıkan bağlayıcı bir malzemedir. Kohezyonlu ve organik olmayan zeminler ve düşük plastisiteli killerin stabilizasyonun da kullanılmaktadır.

Yüzeysel zemin iyileştirmesinde genellikle Portland çimentosu kullanılmaktadır. Portland çimentosu geç priz almaktadır fakat kolay elde edilmesi ve mukavemetinin yüksek olması sebebiyle tercih edilmektedir [12].

Çimento ile zemin iyileştirme killi ve kumlu zeminlerde, gevşek ve akışkan olmayan zeminlerde uygulanmakta ve etkili olmaktadır. Bu yöntem, toz halindeki çimentonun zemine eklenmesiyle gerçekleşir.

Böylelikle zeminin likit limiti azalırken, plastik limit ve işlenebilirliği artar. Aynı zamanda çimento, zeminde mukavemetin artmasını sağlar ve bu artış kür süresine bağlıdır [13].

Genellikle, 3 tip zemin-çimento karışımı bulunmaktadır.

- Plastik zemin-çimento karışımı
- Çimento katkılı zemin karışımı
- Sıkıştırılmış zemin-çimento karışımı

Plastik zemin-çimento karışımları, su, zemin ve çimento içeren, sıva harcına benzeyen karışımlardır. Genellikle erozyona maruz kalan zeminlerde kullanılır.

Çimento katkılı zemin karışımları, diğer karışımlara oranla daha az çimentonun zemine eklenmesiyle elde edilir. Genellikle yol dolguları ve temel altı dolgularında kullanılır.

Sıkıştırılmış zemin-çimento karışımları ise öğütülmüş zemin, çimento ve suyun karışımı ve sıkıştırılması ile oluşur [6].

2.5 Uçucu kül ile zemin iyileştirme

Termik santrallerde toz halindeki kömürün veya öğütülmüş taş kömürün yanması sonucu ortaya çıkan atık madde uçucu kül olarak adlandırılmaktadır.

Bu yanma sonucu meydana gelen malzeme soğuyarak, küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Çok ince yapılı olan bu kül tanecikleri, baca gazları ile sürüklenmeleri sebebiyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır [14].

Uçucu küller, yakıt olarak kullanılan kömürlerin tipine göre iki gruba ayrılırlar;

- Taş kömürü uçucu küller: Bu tip uçucu küller tamamen kuru olarak bulunur. 200 numaralı elekte % 16 - % 20 kalacak şekilde elde edilmektedir.
- Linyit kömürü uçucu küller: Kullanılma imkanı fiziksel ve kimyasal yapılarına bağlı olan bu tip uçucu küller genellikle koyu renklidir.

Genellikle bir uçucu külden SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerin tamamına rastlanmak mümkündür fakat külün tipine bağlı olarak yüzdeleri değişmektedir.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenmiş iki ayrı standart bulunmaktadır;

TS 639: uçucu küllerin tanımı, sınıflandırılması, deney yöntemleri ile ilgilidir.

TS 640: uçucu küllü çimentoların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgilidir [15].

Uçucu küllerin rengi kömürün kalitesine ve kullanılan fırınlara bağlı olarak, koyu krem renginden kahverengine kadar değişebilmektedir.



Şekil 2.3 : Değişik renklerde uçucu küller

Kullanılan kömürün cinsine ve öğütülmesine bağlı olarak uçucu küllerin dane boyutu da değişebilmektedir. Taş kömürü uçucu külleri linyit uçucu küllerine göre daha ince olmaktadır.

Uçucu kül, son yıllarda özellikle yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde, alternatif bir malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yüzeysel zemin iyileştirmesinde uygulama yöntemi olarak kireç ve çimento ile hemen hemen aynıdır. Laboratuvar ortamında belirlenen optimum su ve uçucu kül ile yumuşak zemin karıştırılır ardından iş makineleri ile sıkıştırılır [16].

İyileştirme yöntemi olarak uçucu kül kullanıldığında, zeminde;

- Mukavemeti artırır.
- Kazı ve dolgu maliyeti açısından tasarruf sağlar.
- Yapım hızını artırır.
- Taşıma gücünün artmasıyla dolgu kalınlığının azalmasını sağlar.



Şekil 2.4 : Uçucu külün zemine uygulanması

2.6 Kireç ve Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirme ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bu kısımda literatürde kireç ve pirinç kabuğu kullanılarak yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ince daneli zeminlerin iyileştirilmesinde kireç ve pirinç kabuğu külünün sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Çalışmalarda her iki katkı malzemesi ayrı ayrı kullanıldığı gibi bir arada da kullanılmıştır. Yapılan literatür çalışması sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

Basha ve diğ. Yaptıkları çalışmalarda yan ürün olarak ortaya çıkan pirinç kabuğu külünün residual zeminlerin stabilizasyonunda kullanım potansiyelini araştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla temel zemin deneyleri ile bu katkının etkisini araştırmışlardır. Test sonuçlarından hem çimentonun hem de pirinç kabuğu külünün plastisiteyi azalttığını tespit etmişlerdir. Pirinç kabuğu külü ve çimento ilavesinin maksimum kuru yoğunluğu azalttığı optimum su muhtevası değerini de arttırdığı sonucunu elde etmişlerdir. CBR değerinin çimento içeriği ile arttığını ve çimento ile iyileştirilmiş rezidual zemine pirinç kabuğu külü ilavesi ile daha da arttığını belirlemişlerdir. Maximum CBR değerinin % 4 çimento ve % 5 pirinç kabuğu külü kombinasyonu ile % 60 kadar arttığını bulmuşlardır. Genellikle % 6-8 arasında çimento ve % 15-20 arasında pirinç kabuğu külü zemin özelliklerini iyileştirmede optimum değer olarak bulunmuştur [17].

Yadu ve diğ. Kırsal bir yoldan temin ettikleri BC tipi zemini uçucu kül ve pirinç kabuğu külü ile stabilize ederek her iki stabilizasyonu karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Zemini % 5, 8, 10, 12 ve 15 oranında uçucu kül ve % 3, 6, 9, 11, 13 ve 15 oranında pirinç kabuğu külü ile stabilize etmişlerdir. Hem katkısız doğal zemin hem de farklı yüzdelerde katkı ile iyileştirdikleri zeminlere kıvam deneyleri, özgül ağırlık deneyi, CBR deneyi ve serbest basınç deneyleri gerçekleştirmişlerdir. CBR ve serbest basınç deneyi sonuçlarına göre uçucu külün optimum miktarını % 12, pirinç kabuğu külünün optimum miktarını % 9 olarak elde etmişlerdir. Sonuçta, pirinç kabuğu külünün zeminin optimum su muhtevasını arttırdığını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını azalttığını bulurken uçucu kül ilavesi ile bu değerlerin azaldığını elde etmişlerdir. Optimum miktarda pirinç kabuğu ve uçuşu kül ilavesinin yaş CBR değerini sırasıyla % 190 ve % 50 oranında arttırdığını bulmuşlardır. Ayrıca optimum katkı ile elde ettikleri numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri serbest basınç testlerinde

katkısız zemine göre uçucu kül için yaklaşık % 200, pirinç kabuğu külü için de % 80 daha yüksek değer elde etmişlerdir[18].

Muntohar ve diğ. Çalışmalarında kireç ve pirinç kabuğu külü ile stabilize edilmiş MH tipi bir zeminin dayanımının üzerinde plastik atık fiberin etkisini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla bir takım deneyler gerçekleştirmişlerdir. Kireç ve pirinç kabuğu külü karışımlarının hem basınç (4 kat) hem de çekme (5kat) dayanımını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Çekme dayanımının artışında plastik atık fiberin önemli bir rol oynadığı sonucuna varmışlardır. Kireç/pirinç kabuğu külü karışımlarına ilave edilen plastik fiberin zeminin sürtünme açısından ziyade kohezyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. CBR değeri kireç/pirinç kabuğu ilavesi ile 3.6 kat artarken fiber ilavesi ile 8.7 kat arttığı sonucunu bulmuşlardır [19].

Hossain, Çalışmasında pirinç kabuğu külü ve CKD'nin % 0-20 arasında değişen oranlarında tek başına ve değişik kombinasyonları ile killi zeminlerin iyileştirilmesini incelemişlerdir. Stabilize edilmiş zeminlerin dayanım, elastisite modülü ve CBR değerlerinde artışlar elde etmiştir. Aynı zamanda bu iyileştirmelerin durabilite anlamında zemin özelliklerini genişlettiği sonucuna varmıştır[20].

Brooks, Çalışmasında atık malzeme olan uçucu kül ve pirinç kabuğu külünün bir yapım malzemesi olarak genişleyen zeminleri iyileştirmede kullanılabilirliğini araştırmayı amaçlamıştır. Genişleyen kile pirinç kabuğu külü ve uçucu kül ilave ederek dayanım testleri gerçekleştirmiştir. Uçucu külün 0'dan % 25 artması ile göçme gerilmesinin % 105 şekil değiştirmenin ise % 50 arttığını bulmuştur. Pirinç kabuğu külünün 0'dan % 12'ye artması ile CBR değerinin % 47, UCS değerinin % 97 arttığını belirlemiştir [21].

Alhassan ve Mustapha, Çalışmalarında çimento ile iyileştirilen laterit zeminler üzerinde pirinç kabuğu külünün etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. A-7-6 sınıfı laterit zemine kuru ağırlıkta % 2-8 oranında ağırlıkça çimento katılmış ve stabilize edilmiştir. Pirinç kabuğu külü ilavesi ile zeminin UCS, CBR ve kompaksiyon karakteristikleri araştırmışlardır. Belli bir çimento içeriğinde % 2-8 arasında bir pirinç kabuğu külü artışı ile optimum su muhtevasında artış maksimum yoğunlukta da bir azalma elde etmişlerdir. Herhangi bir çimento içeriğinde % 4-6 arasında bir pirinç kabuğu külü artışında CBR ve UCS değerlerinde dikkate değer bir artış elde etmişlerdir [22].

Sarkar ve diğ. Çalışmalarında zemin stabilizasyonunda özellikle dayanım, kompaksiyon, çalışabilirlik ve sıkıştırılabilirlik karakteristikleri üzerinde pirinç kabuğu külünün etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Amaçları doğrultusunda hem doğal zemin hem de farklı oranlarda katkı ilave ettikleri zeminler üzerinde kıvam limitleri, UCS, direkt kesme, serbest şişme indeksi, konsolidasyon testleri gerçekleştirmişlerdir. CL tipi zemine % 5,7.5,10,12.5 oranında katkı ilave etmişlerdir. Test sonuçlarından zemine pirinç kabuğu külü ilavesi ile optimum su muhtevasının arttığını kuru yoğunluğun azaldığını ve serbest şişme ile sıkıştırılabilirliğin azaldığını elde etmişlerdir. Ayrıca zeminin kesme dayanımının ve UCS değerinin % 10 katkı ilavesi ile optimize edilebileceğini bulmuşlardır [23].

Ali ve diğ. Çalışmalarında kireç ve çimento ile stabilize edilen ve farklı oranlarda pirinç kabuğu külünün ilave edilmesi ile zeminin mühendislik özelliklerindeki değişiminin araştırılmasını amaçlanmıştır. SC tipi bir zemin üzerinde çalışmışlar ve farklı oranlarda hem kireç hem de çimento ile karıştırdıkları zeminler üzerinde farklı oranlarda pirinç kabuğu külü ilave etmişler. Çalışmalarında kireç + pirinç kabuğu külü için 7, 28 ve 56 gün, çimento + pirinç kabuğu külü için 7 ve 28 gün kürlenmiş numuneleri UCS testlerine tabi tutmuşlardır. Hem kireç hem de çimento ile yapılan UCS testlerinde dayanımın arttığını tespit etmişler. Maks. UCS'ye göre optimum değeri % 6 olarak bulmuşlar ve dayanımdaki gelişme dikkate alındığında kirecin çok daha etkili bir stabilizasyon katkısı olduğunu sonucunu elde etmişlerdir[24].

Choobasto ve diğ. Çalışmalarında zeminlerin kireç ile arasında oluşan reaksiyon üzerinde pirinç kabuğu külünün etkisini ve zeminin fiziksel ve mekanik karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Kıvam limiti, kompaksiyon, CBR ve direct kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Zemin ML tipi bir zemin olarak sınıflandırmışlardır. Zemine farklı oranlarda kireç ve yine farklı oranlarda pirinç kabuğu külü ilave ederek değişik kombinasyonlarda stabilizasyon gerçekleştirmişlerdir. Kireç miktarındaki artışın zemini daha hafif yaptığını, RHS artışının zeminin yoğunluğunu azalttığını belirtmişlerdir. RHA artışı ile CBR değerinin arttığı sonucunu belirlemişlerdir [25].

Bahgeri ve diğ. Çalışmalarında çimento-kireç-RHA ile çimento-kireç karışımların siltli kumlu zeminlerin iyileştirilmesi üzerinde geoteknik araştırma yapmışlardır. Bu amaçla konsolide drenajsız üç eksenli test ve serbest basınç testleri

gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda zemin dayanımı, deformasyonu, kırılabilirliği üzerinde kür süresi, ortalama efektif gerilme ve CLR miktarının etkisini araştırmışlardır. Zemine kuru ağırlığının % 2.5-12.5 aralığında değişen oranlarda CLR ve CL katkıları ilave ederek 3,7,28 ve 60 günlük kür sürelerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak hem CLR hem de CL katkılarının ilavesi ile serbest basınç dayanımının lineer eğilimde olduğunu belirlemişlerdir. RHA'nın CLR-zemin karışımlarının kesme dayanımında artışta etkili olduğunu bulmuşlardır [26].

Roy, çalışmasında atık malzemelerin kullanılarak minimize edilmesi çevresel kirliliğin azalması, maliyetin minimize edilmesi, amacıyla zemin stabilizasyonunda RHA gibi endüstriyel bir atığın kullanımını araştırmayı amaçlamıştır. CL tipi zemine küçük oranda çimento (% 6) ve farklı oranlarda RHA (% 10,15,20) ilave ederek zeminin MDD, OMC, CBR ve UCS gibi özelliklerindeki değişimi incelemiştir. RHA içeriğinin artması ile OMC'nin arttığını ve MDD'nin azaldığını, aynı zamanda UCS ve CBR değerleri de RHA miktarının artması ile önemli derecede iyileştiğini tespit etmiştir. % 10 oranında RHA katkısı olan zemin karışımında yaş CBR değeri doğal zemine göre % 106 oranında bir iyileşme elde etmiştir. Sonuç olarak % 10 oranında bir RHA katkısı ile % 6 oranında bir çimento ilavesinin dayanımda en iyi iyileştirmeyi verecek optimum değerler olduğunu belirlemiştir [27].

Keskin, Çalışmasında kireç ile iyileştirme yapmak suretiyle killi zeminlerde inşa edilecek olan yolların temel ve alt temel tabaka kalınlıklarının azaltılmasını amaçlamıştır. Zeminin kireç stabilizasyonuna uygun olup olmadığı laboratuvar çalışmalarıyla belirlemiştir. İkinci aşama olarak arazi deneyleri gerçekleştirmiştir. Kireç iyileştirmesi sonucunda CBR deneylerinde yeşil kilde 16, kahverengi kilde ise 21 kat artış olduğu sonucuna ulaşmıştır [28].

Jauberthie ve diğ. Çalışmalarında çimento ve kireç ile stabilize edilen nehir siltlerinin hafif trafik yüküne sahip bir yerel yolun alt temelinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Zemine, kireç (% 1.5,3,4,5 ve 7), çimento (% 1.5,3,4,5,7) ve her ikisi birden (% 0,75 çimento + % 0.75 kireç, % 1,5 çimento + % 1.5kireç, % 2 çimento + % 2 kireç, % 3.5 çimento+% 3.5 kireç) verilen oranlarda karıştırılarak stabilizasyon testleri gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçları ile hem kireç hem de çimento ile yapılan iyileştirme sonucunda CBR ve serbest basınç dayanımı değerlerinde artış olduğunu belirtmişlerdir [29].

Athanasopoulou çalışmasında kireç ve uçucu kül ile iyileştirilen killi zeminlerin mühendislik özelliklerindeki iyileştirmeler ile karayolu tasarımında taban zemini olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Kireç ilave ederek elde ettikleri CBR değerinin, uçucu kül ile elde ettikleri CBR değerinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [30].

Rout ve diğ. Çalışmalarında Texas bölgesinden aldıkları 3 farklı taban zemininin esneklik modülü davranışını araştırmışlar. AASHTO T-307'ye göre testler gerçekleştirmişlerdir. Zeminleri (% 6 kireç- % 3 çimento) ile stabilize etmişler ve teste tabi tutmuşlardır. İyileştirilmemiş zeminlerin esneklik modülü değerleri 30 MPa ile 50 MPa arasında değişirken, iyileştirilmiş zeminlerin esneklik modülü değerlerinin 90 MPa ile 150 MPa arasında değiştiğini göstermişlerdir [31].

Kavak ve Baykal, Çalışmalarında kaolinit kilinin uzun dönem davranışını araştırmışlar. Bunun için zemini % 4 ve % 12 oranında kireç ilavesi ile stabilize ederek uzun dönem performansı için uzun süreli (0-123 ay), % 95'den daha nemli 21°C sıcaklığındaki bir odada kürlemişlerdir. Doğal zeminin serbest basınç dayanımı başlangıçta 125 kPa iken kireç ile stabilizasyonun 1 ay sonrasında 1015 kPa, 10 yıl sonrasında ise 2640 kPa olarak bulunmuş ve doğal zeminin yaklaşık 21 katı olduğu sonucunu elde etmişlerdir [32].

Kavak ve Akyarlı, Çalışmalarında Ankara-Yukarı Yurtçu köy yolunda bulunan yeşil ve kahverengi killerin fazla olduğu 200 m'lik bir kesimde stabilizasyon uygulaması gerçekleştirmişler. 30 cm kalınlığında bir tek tabakaya her iki kil için de % 5 kireç ilavesi uygulamışlardır. CBR testleri ile 28 gün sonunda yeşil ve kahverengi killer için yaş CBR değerlerinin sırasıyla 12 ve 20 kat arttığını bulmuşlardır. Benzer iyileştirme sonuçlarına serbest basınç dayanımı ve plaka yükleme testleri ile ulaşmışlardır [33].

Öztürk ve diğ. Çalışmalarında Ankara Gölbaşında bulunan killerin şişme potansiyeli ve kireç katkısının bu killerin şişme davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. CH tipi zemin sınıfına giren zemin numunelerinin şişme yüzdelerinin yaklaşık % 3,5-9, şişme basınçlarının ise 65-250 kPa aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Zemine ağırlıkça %1,3,5,7 ve 9 oranında sönmüş kireç ilave ederek şişme basıncı ve şişme yüzdelerindeki değişimi incelemişlerdir. Kireç yüzdesinin % 5 ve daha yüksek olması durumunda şişme yüzdesinin ve şişme basıncının değerlerinin sırasıyla % 91 ve % 73 oranında azaldığını belirlemişlerdir [34].

Bozbey ve Garaisayev, Çalışmalarında yüksek plastisiteli bir kil için uygulanan üç farklı ufalama seviyesinin bu kilin sönmüş kireç ile stabilizasyonunu hangi derecede etkilediğini, serbest basınç ve maksimum gerilme değeri için bulunan secant modülü üzerinden değerlendirmişlerdir. Ayrıca kireç ile karıştırılıp su ilave edilen zeminin 24 saat bekletilmesinin etkisini de incelemişlerdir. Zemine % 3,6,9 oranlarında kireç ilavesi yapmışlardır. % 3 oranında kireç ilavesinin serbest basınç dayanımında artışa neden olmadığını katkısız zemin dayanımı 307-432 kPa arasında iken % 6 ve % 9 oranlarındaki numunelerde 28 gün sonunda sırasıyla 384-896 kPa, 850-1529 kPa arasında bulmuşlardır. Düşük ufalama seviyesinin göçme birim deformasyonlarını arttırdığını belirlemiş ve kirecin maksimum gerilme için bulunana secant modülünü önemli ölçüde artırdığını saptamışlardır [35].

Kavak ve diğ. Yapılan çalışmada kireç stabilizasyonunun gerçek bir yol üzerindeki performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Uygulamayı Kırklareli şehir geçişi 1+250-1+900 m arasındaki 650 m'lik kesimde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında taşıma gücü düşük ariyet ocağı malzemesini yol güzergahında % 2 kireç ile iyileştirerek kullanmışlardır. Doğal halde 6 olan yaş CBR değerini % 2 kireç ilavesi ile 80'li değerlere ulaştığını belirlemişlerdir. Uygulama sonrasında aynı zamanda plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilerek kireç ilavesi olan kısımlarla olmayan kısımları karşılaştırmışlar ve 10 kg/cm² gerilmeye deformasyonların 28 gün sonunda 4.1mm'den 1.7 mm'ye, kalıcı deformasyonların ise 2.8 mm'den 1.0 mm'ye düştüğünü belirlemişlerdir [36].

Sakr ve diğ. Çalışmalarında Mısır, Idka şehrinden elde ettikleri yaklaşık % 14 oranında organik madde içeren yumuşak killi zeminlerin kireç ile iyileştirilmesi üzerinde geoteknik ve mineralojik araştırma yapmışlardır. Zemine ağırlıkça % 1,3,5, ve 7 oranında kireç ilave ederek 7,15,30 ve 60 günlük kür süreleri dikkate alınarak serbest basınç dayanımı, plastisite limitleri ve ödometre testi gibi çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. % 7 oranında kireç ilavesinin % 14 oranında organik madde içeren bu zemini tatmin edici bir düzeyde iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Serbest basınç dayanımının % 7 kireç ilavesi ve 60 gün kür süresi sonunda yaklaşık 7 kat arttığını belirlemişlerdir [37].

Türköz, Çalışmasında ESOGÜ kampüs alanında yer alan yüksek şişme potansiyeline sahip meşelik kilinin kireç katkısı ile stabilizasyonunu araştırmıştır. Araştırmasında sönmüş kireç katkısı-şişme yüzdesi ilişkisi, şişme yüzdesinin zamanla değişimi ve

şişme yüzdesi-nihai su muhtevası değişimini incelemiştir. Üç farklı bölgeden aldığı standart ve modifiye enerji uyulmak suretiyle % 0,1,3 ve 5 oranında kireç ilavesi ile hazırladığı numuneler üzerinde klasik ödometre cihazı ile serbest şişmelerini incelemiştir. Deney sonucunda % 3 ve sonrası kireç ilavesinin şişme kontrolünde etkili olduğunu belirlemiştir [38].

Ghobadi ve diğ. Çalışmalarında İran, Hamada şehrinden aldıkları killi zeminlerin kireç ile iyileştirilmesini ve kesme dayanımı parametreleri üzerinde pH değişiminin etkisini araştırmışlardır. CL tipi zemin üzerinde deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Zemine ağırlıkça % 1, 3, 5 ve 7 oranında kireç ilave etmişler ve 7, 15, 30 ve 45 günlük kür süreleri sonunda tek eksenli basınç dayanımı ve direk kesme dayanımı testlerine tabi tutmuşlardır. % 7 oranında kireç ilavesinin 30 gün sonunda serbest basınç dayanımını 5 kat arttırdığını elde etmişlerdir [39].

Schanz ve Elsayy, Çalışmalarında yüksek oranda genişleyen killerin davranışı üzerinde kireç taşı ve sönmüş kirecin etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla bentonite % (0-10) arasında değişen oranlarda kireç karıştırmışlar ve modifiye proktor enerjisi ve optimum su muhtevasında sıkıştırdıkları numuneler üzerinde şişme potansiyeli, şişme basıncı, CBR ve serbest basınç deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta genişleyen kilin sönmüş kireç ve kireç taşı ile karıştırılmasıyla şişme basıncı ve şişme potansiyelinin azaldığını belirlemiştir. Şişme potansiyelinin % 10 sönmüş kireç ilavesi için % 34,5'ten % 1'e, % 10 kireç taşı ilavesi için % 34,5'ten % 26,5'e azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca kil-sönmüş kireç karışımında kilin kür süresi ve kireç içeriğinin artması ile arttığını elde etmişlerdir. Ancak bentonitin iyileştirilmemiş durumdaki CBR ve serbest basınç dayanım değerlerinin kireç taşı ilavesi ile azaldığının kireç taşının dayanım üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğunu belirlemiştir[40].

Karatai ve diğ. Çalışmalarında ağırlıkça % 20 pirinç kabuğu külünün ve yine ağırlıkça % 2 doğal kireç ilavesinin genişleyen kil zeminin CBR değerini % 800 kadar arttırdığını, serbest şişme değerini ise yaklaşık % 70 azalttığını bulmuşlardır[41].

Rahman çalışmasında kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin geoteknik özellikleri üzerinde pirinç kabuğu külünün etkisini araştırmıştır. Her iki zemine % 0,4,8,12,16,20 ve 24 oranında pirinç kabuğu külü ilave ederek bir grup deney gerçekleştirmiştir. Çalışmada pirinç kabuğu külünün ilavesi ile her iki zeminde de CBR değerinin,

optimum su muhtevasının, serbest basınç dayanımının ve kohezyonun arttığı, kuru birim hacim ağırlığının da azaldığı sonucunu elde etmişlerdir [42].

Anupam ve diğ. Çalışmalarında uçucu kül ve pirinç kabuğu külü kullanarak tekrarlı üç eksenli yükleme altında taban zemininin deformasyon davranışını belirlemeye çalışmışlardır. % 25 uçucu kül ve % 30 pirinç kabuğu külü ilavesi ile minimum düzeyde kalıcı deformasyon elde etmişlerdir [43].

Adhikary ve diğ. Çalışmalarında killi zemine % 5, 10,15 ve 20 pirinç kabuğu külü ve bu oranlara % 3 kireç ilave ederek temel deneylerden kıvam limitleri, kompaksiyon, CBR (hrm kuru hem yaş) ve serbest basınç dayanım testleri gerçekleştirmişlerdir. Sadece pirinç kabuğu külü ile elde edilen numuneler ile bunlara % 3 kireç ilavesi ile elde edilen zeminler üzerinde yaptıkları deneylerde maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığını optimum su muhtevasının ise arttığını bulmuşlardır. Çalıştıkları zeminlerin CBR ve serbest basınç dayanım sonuçlarının en yüksek değerlerini % 10 pirinç kabuğu külü+ % 3 kireç kombinasyonu ile elde etmişlerdir [44].

Choobbastı ve diğ. Çalışmalarında ML(A-4) tipi bir zemine % 3, 5, 7 pirinç kabuğu külü ile % 3, 6 kireç kombinasyonları ilave edip, zeminin mekanik ve fiziksel değişimi incelemek adına çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan katkı ilavesi ile platisite indisinin azaldığı en iyi sonucun zemin ve kireç karışımına % 5 pirinç kabuğu külü ilave edildiğinde ortaya çıktığını elde etmişlerdir. % 4 kireç ve zemin karışımının maksimum kohezyon ve içsel sürtünme açısına, % 3-5 aralığında bir pirinç kabuğu külü ilavesi ile sahip olduğunu ve yine aynı şekilde pirinç kabuğu külünün ilavesi ile CBR değerinin arttığını belirlemişlerdir [45].

Rahman ve diğ. Çalışmalarında residual zeminin geoteknik özellikleri üzerinde pirinç kabuğu külünün etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla zemine % 0,5,10 ve 20 oranında pirinç kabuğu külü ilave etmişlerdir. Sonuç olarak pirinç kabuğu külü ilavesi ile maksimum kuru birim hacim ağırlığının ve permabilitenin azaldığını, optimum su muhtevası ve kesme dayanımının önemli ölçüde arttığını bulmuşlardır[46].

Prakash ve diğ. Çalışmalarında zemine % 5,10,15 ve 20 oranında pirinç kabuğu külü katmışlar ve optimum katkı miktarını belirleyebilmek için çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda artan pirinç kabuğu külü içeriği ile optimum su muhtevasının arttığını, maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığını ve % 10

katkı miktarına kadar CBR değerinin maksimuma ulaştığını ve bu oranın üzerinde azaldığını elde etmişlerdir [47].

Muntohar, çalışmasında pirinç kabuğu külü ve kireç ile stabilize edilen zeminlerin serbest basınç dayanımını araştırmıştır. Deneylerini optimum su muhtevasında ve optimumunun üstünde ve altındaki su içeriklerinde hazırladığı numuneler üzerinde gerçekleştirmiştir. Serbest basınç dayanımının su muhtevasındaki artış ile azaldığını ancak yine de stabilize edilen zeminlerin dayanım değerlerinden yüksek olduğu sonucunu elde etmiştir. Maksimum dayanım değerini 1/2 oranında kireç/ pirinç kabuğu külü ilavesi ile elde etmiş ve serbest basınç dayanım değerinin stabilize edilmemiş zemine göre 7-9 kat artış ile sonuçlandığını bulmuştur[48].

Okafar ve diğ. alışmalarında SW (A-2-6) olarak sınıflandırılan lateritic zemin üzerinde pirinç kabu külünün etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla zemine ağırlıkça % 5,7,5,10,12,5 oranında pirinç kabuğu külü ilave etmişler ve temel deneyler (kompaksiyon, kıvam limitleri, dayanım) gerçekleştirmişlerdir. Çalışılan zemin için % 10 pirinç kabuğu külü içeriğinin optimum değer olduğu, katkı ilavesi ile zeminin CBR değerinin ve hacimsel stabilitesinin arttığını sonucunu elde etmişlerdir[49].

Subrahman ve diğ. alışmalarında CH tipi bir zemini incelemişlerdir. Zemine 5:5,4:6,3:7,2:8 ve 1:9 oranında hazırladıkları pirinç kabuğu külü/kireç karışımından % 5,10,15,20 ve 25 oranında ilave ederek deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları serbest basınç dayanım deney sonuçları ile % 10 katkılı durumun maksimum dayanımı verdiğini belirlemişlerdir [50].

Eberemu ve diğ. alışmalarında CH tipi zemine ağırlıkça % 0,4,8,12 ve 16 oranında pirinç kabuğu külü ilave ederek 56 güne kadar olan faklı kr sürelerinde ve faklı kompaksiyon enerjilerinde hazırladığı numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Sıkıştırabilirlik karakteriştiğini değerlendirmek amacıyla bir boyutlu konsolidasyon deneyi yapmışlardır. Sıkışma indeksinin kr süresi ve sıkıştırma enerjisinin artışı ile azaldığını elde etmişlerdir[51].

Alhassan, alışmasında A-7-6 tipi lateritic bir zemin için % 2-12 arasında bir pirinç kabuğu külünün etkisini araştırmıştır. Bu amaçla kompaksiyon, CBR ve serbest basınç testleri yapmıştır. Sonuç olarak % 6-8 arasında bir pirinç kabuğu külü ile bu zemin için maksimum serbest basınç dayanım değeri elde edilebileceğini bulmuştur [52].

Muhhotar ve diğ. Çalışmalarında siltli kil zeminin kireç ve pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmesinin araştırmışlardır. % 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 oranında kireç ile % 7.5,10 ve 12.5 oranında pirinç kabuğu külünü karıştırarak tüm karışım kombinasyonları için numuneler hazırlayıp deneyler gerçekleştirmişlerdir. % 6 Kireç+% 12,5 oranında pirinç kabuğu külü karışımı ile oluşturulan numunelerin CBR değerinin % 3,03'ten % 16,3 arttığını belirlemişlerdir. Sonuç olarak kireç- pirinç kabuğu külü karışımının killi zeminlerin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini belirlemişlerdir[53].

Raj ve diğ. Çalışmalarında alüvyonlu zemin ile killi zemininin mühendislik özellikleri üzerinde pirinç kabuğu külünün etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla zemine % 5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 80 oranında pirinç kabuğu külü ilave ederek çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneylerde alüvyonlu zeminler için kuru CBR değerinin % 3.2'den % 12'ye, yaş CBR değerinin % 2.4'den % 6.4'e, aynı şekilde killi zeminler için ise kuru CBR değerinin % 3.2'den % 3.9'a, yaş CBR değerinin ise % 2.4'den % 4.4'e arttığını belirlemişlerdir [54].

3. MALZEME ve YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan malzemeler ve yöntem anlatılmıştır. İlk olarak kullanılan zemin numunesi, kireç ve pirinç kabuğu külü ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ardından deneysel çalışmada kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

3.1 Kullanılan Malzemeler

Tez çalışması kapsamında Kırklareli şehir merkezinden alınmış bir zemin numunesi kullanılmıştır. Ayrıca zemin numunesinin iyileştirilmesi amacıyla zemin numunesine kireç ve pirinç kabuğu külü katılmıştır.

3.1.1 Deneysel çalışmaya tabii tutulan zemin numunesi

Çalışma kapsamında iyileştirmeye tabii tutulan zemin numunesi, Kırklareli İli şehir merkezinde bulunan bir araziden alınmıştır. Zemine ait fotoğraf Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Kırklareli ili şehir merkezinden alınan zemin numunesi

Kırklareli Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarına getirilen zemin numunesinin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Deneysel çalışmada kullanılan zeminin fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Optimum Su Muhtevası	15.80
Mak.Kuru Birim Hacim Ağırlık, kN/m ³	17.00
Özgül Ağırlık	2.67
Likit Limit, %	45
Plastik Limit, %	32
Plastisite İndisi, %	13
Organik Madde Miktarı, %	0,01
USCS Zemin Sınıflandırması	ML

3.1.2 Kireç

Katkı malzemesi olarak sönmüş kireç (Ca(OH)₂) kullanılmıştır. Özelliğinin kaybolmaması için 25 kg lık paketler halinde paketlenmiş kireç kuru bir ortamda depo edilmiştir. Çalışmada kullanılan sönmüş kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Sönmüş kirecin temel karakteristik özellikleri

Özellik	Değer
Aktif Ca(OH) ₂ , %	89,54
Toplam CaO+MgO, %	≥90
Nem, %	0,49
Rölatif Nem, %	19,87
CO ₂ , %	3,44
MgO,%	0,46
SiO ₂ +AÇM,%	2,10
R ₂ O ₃ , %	0,36
S, %	0,23
SO ₃	0,58
İncelik,%	7
Yoğunluk, kg/dm ³	0,45-0,50

Şekil 3.2’de Kimtaş Barkisan fabrikası tarafından üretilen ve deneysel çalışmada kullanılan sönmemiş kirecin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.2 : Deneysel çalışma kapsamında kullanılan kireç

3.1.3 Pirinç Kabuğu Külü

Deneysel çalışma kapsamında Edirne bölgesinden temin edilen pirinç kabuğu külü kullanılmıştır. Pirinç kabuğunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri

Özellik	Değer
Silisyum oksit (SiO_2), %	93.15
Aluminyum oksit (Al_2O_3), %	0.21
Demir oksit (Fe_2O_3), %	0.21
Kalsiyum oksit (CaO), %	0.41
Potasyum oksit (K_2O), %	22.31
Magnezyum oksit (MgO), %	0.45
Yanma kaybı, %	2.36
pH	9.83

Çizelge 3.3’te görüldüğü üzere pirinç kabuğu külünün içerisinde ağırlıkça % 93 kadar silika küçük yüzdelerde ise alümina, demir oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit ve

alkaliler bulunmaktadır. Şekil 3.3’de deneysel çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külünün fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.3 : Deneysel çalışma kapsamında kullanılan pirinç kabuğu külü

3.2 Yöntem

Deneysel çalışma iki aşamalı olarak planlanmıştır. İlk aşama laboratuvara getirilen zemin numunesinin bazı geoteknik özelliklerinin belirlenmesi, ikinci aşama ise zemin numunesinin iyileştirilmesi ve iyileştirme sonucunda zemin numunesinin mühendislik özelliklerindeki değişimin incelenmesidir.

3.2.1 Zemin numunesinin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi

Zemin numunesinin geoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla ASTM standartlarına uygun olarak elek analizi, kıvam limitleri, hidrometre, özgül ağırlık, kompaksiyon, düşen seviyeli permeabilite ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

3.2.1.1 Elek analizi

Zeminlerin dane dağılımlarını ve zemin sınıflarını belirlemek için ASTM D422 standardına uygun olarak yıkamalı elek analizi deneyi yapılmıştır [55].

Elek analizi deneyleri zemin numunesi için 3 tekrar şeklinde yapılmıştır. Kuru zemin numunelerinden yaklaşık 300'er gram örnek alınmıştır. Alınan örnekler ilk olarak su altında No 200 elekten yıkanarak elenmiştir. Elenen bu örnekler bir kaba konulduktan

sonra 24 saat boyunca 105°C sıcaklıktaki etüvde bekletilerek kurutulmaları sağlanmıştır. Etüvde kurutulan örnekler tartıldıktan sonra en büyük açıklıklı elek en üste, en küçük açıklıklı elek en alta gelecek şekilde sıralanan elekler yardımıyla elek sallama makinası kullanılarak elenmiştir. Her elekte kalan numuneler tartılarak yapılan hesaplamalar sonucunda dane dağılım grafikleri elde edilmiştir.

3.2.1.2 Kıvam limitleri

Kıvam limitleri ASTM D318 standardına uygun olarak yapılmıştır [56]. Deneylerde 40 nolu elekten geçirildikten sonra elek altında kalan zemin numunesi kullanılmıştır. Zemin numunesine damıtık su eklendikten sonra homojen bir şekilde karıştırılmış ve Casagrande likit limit cihazı yardımıyla elde edilen veriler kullanılarak likit limit değeri belirlenmiştir. Homojen olarak karıştırılan zemin numunesinden bir miktar örnek alınarak eş zamanlı olarak plastik limit deneyine tabii tutulmuş ve plastik limit değeri de hesaplanmıştır.

3.2.1.3 Hidrometre

Zemin numunesinin ince malzeme oranının yüksek olmasından dolayı kil ve silt miktarlarının belirlenmesi amacıyla zemin numunesi üzerinde ASTM D422 deney standardına göre hidrometre deneyi yapılmıştır [55]. No 200 elekten geçen 50 gr zemin numunesine sodyum heksametafosfat eklenerek solüsyon hazırlanmış ve ağzı kapalı bir şekilde bir gün bekletilmiştir. Ardından solüsyon mikserde karıştırılarak cam behere koyulmuştur. Hidrometre pipeti yardımıyla 15 ve 30. saniyelerde, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120 ve 240. dakikalarda ile 8, 16 ve 24, 48 ve 72. saatlerde hidrometre okumaları alınarak kaydedilmiştir. Alınan tüm veriler kullanılarak zeminin kil ve silt oranları belirlenmiştir.

3.2.1.4 Özgül ağırlık

Zemin numunelerinin özgül ağırlıkları ASTM D854 standardına uygun olarak belirlenmiştir [57]. Zeminin özgül ağırlığı 6 tekrar yapılarak denklem 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$G_s = \frac{\rho_L(m_2 - m_1)}{\rho_w(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} \quad (3.1)$$

Burada m_1 , m_2 , m_3 , m_4 sırasıyla piknometre, piknometre ile kuru numunenin, piknometre zemin ve piknometrenin içindeki suyun, piknometrenin sadece su ile dolu haldeki ağırlığını ifade etmektedir.

3.2.1.5 Kompaksiyon

Kompaksiyon deneyleri ASTM D698 standardına uygun olarak yapılmıştır [58]. Kompaksiyon deneyleri standart kompaksiyon enerjisinde, 2.5 kg ağırlığındaki tokmağın 30 cm yükseklikten 3 tabaka ve her tabakaya 25 vuruş düşürülmesi suretiyle yapılmıştır. Doğal zemin numunesi için 3 tekrar standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır.

3.2.1.6 Düşen seviyeli permeabilite

Doğal zemin numunesinin permeabilite katsayısının belirlenebilmesi amacıyla ASTM standartına uygun olarak düşen seviyeli permeabilite deneyi yapılmıştır [58]. Düşen seviyeli permeabilite deneyine tabii tutulacak zeminler permeabilite kalıplarına kompaksiyon deneyi sonucunda bulunan optimum su muhtevasında ve standart kompaksiyon enerjisi kullanılarak yerleştirilmiştir. İyileştirme öncesi ve sonrası permeabilite katsayılarındaki değişimin incelenebilmesi amacıyla tüm numuneler kompaksiyon deneyleri sonucunda bulunan optimum su muhtevası değerlerinde sıkıştırılmıştır.

3.2.2 Zemin numunesinin kireç ve pirinç kabuğu külü kullanılarak iyileştirilmesi

Doğal zeminin özellikleri belirlendikten sonra ikinci aşamada zeminin iyileştirilmesi, ardından iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrasındaki serbest basınç dayanımı, kaliforniya taşıma oranı (CBR), permeabilite katsayısı ve konsolidasyon değerleri arasındaki farklar karşılaştırılarak incelenmiştir.

Zemin iyileştirmesinde iki farklı katkı ayrı ayrı ve bir arada olmak üzere 3 farklı şekilde kullanılmıştır. Zemin sırasıyla kireç, pirinç kabuğu külü ve kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiştir.

3.2.2.1 Kireç ile iyileştirme çalışmaları

Zemin tez çalışması kapsamında ilk olarak kireç ile iyileştirilmiştir. İyileştirme için gerekli optimum kireç miktarı belirlendikten sonra sırasıyla kompaksiyon, serbest basınç dayanımı, CBR, permeabilite ve konsolidasyon deneylerine tabii tutulmuştur.

3.2.2.2 Optimum kireç miktarının belirlenmesi

Zemin numunesine ait optimum kireç miktarı pH deneyi ile belirlenmiştir [59]. Deney ASTM D6276 standardında uygun olarak gerçekleştirilmiştir [60]. Bu amaçla zemine kuru ağırlığının değişen oranlarında kireç ve saf su ilave edilerek solüsyonlar hazırlanmış ve bu karışımların pH değerleri ölçülmüştür.

Doğal zemine ağırlıkça 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10% oranında kireç ve saf su ilave ederek hazırlanan solüsyonların pH değerleri ölçülmüştür. pH değerinin 12.4 olduğu kireç yüzdesi optimum kireç yüzdesi olarak belirlenmiştir.

3.2.2.3 Kompaksiyon

Zemin numunesine belirlenen optimum kireç yüzdesinde ve optimum kireç yüzdesinin yarısı oranında kireç katılarak zemin iyileştirilmiştir. Optimum kireç yüzdesi en uygun çözüm olduğu için tercih edilmiştir. Optimum kireç yüzdesinin yarısının tercih edilme sebebi ise bir sonraki aşamada kireç ile birlikte zemine katılacak pirinç kabuğunun etkisinin düşük kireç yüzdelerinde de etkisinin incelenmesidir. Bu amaçla zemin numunesine belirlenen miktarda kireç ve bir miktar su katıldıktan sonra kireç ve zemin arasındaki reaksiyonların başlaması için 1 saat beklenmiştir. Beklenen süre sonunda zemin standart kompaksiyon deneyine tabii tutulmuş ve istenilen kireç yüzdeleri için optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

3.2.2.4 Serbest basınç dayanımı

Zemin numunelerinin farklı kireç yüzdelerinde serbest basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi amacıyla serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Serbest basınç numuneleri Harward Minyatür kompaksiyon seti kullanılarak hazırlanmıştır. Sıkıştırma için kompaksiyon deneyleri sonucunda elde edilen optimum su muhtevası değerleri kullanılmıştır.

Zemin numuneleri her bir kireç yüzdesi için, anlık, 1 günlük, 7 günlük ve 28 günlük kür sürelerinde bekletildikten sonra 3'er tekrar olmak üzere serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur.

3.2.2.5 CBR deneyi

İyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası CBR değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla zeminin doğal ve kireç ile iyileştirme yapılmış durumları için CBR deneyleri

yapılmıştır. Bu deneyler 4 farklı kür süresinde tekrarlanmıştır. CBR numuneleri standart proktor deneyi sonucunda bulunan optimum su muhtevasında CBR kalıplarına standart proktor enerjisi uygulanarak sıkıştırılmıştır. Belirlenen kür süreleri boyunca bekletilen numuneler kür süresi sonunda 4 gün su içerisinde bekletilmişlerdir. Su içerisinde bekletildikleri süre boyunca serbest şişme değerleri kaydedilmiştir. Suda bekletilen numuneler üzerinde daha sonra CBR deneyleri yapılmış ve CBR değerleri elde edilmiştir.

3.2.2.6 Permeabilite

Zemin numunesine iki farklı oranda kireç ve optimum su muhtevası oranında su katılarak zemin numuneleri karıştırılmıştır. Karıştırılan zemin numunesi standart proktor enerjisi uygulanarak permeabilite kalıplarına yerleştirilmiştir. Kalıp içine yerleştirilen numuneler düşen seviyeli permeabilite deney düzeneğine bağlandıktan sonra suya doymun hale getirilene kadar beklenmiştir. Zemin numunesi suya doymun hale geldikten sonra permeabilite katsayısının bulunabilmesi amacıyla permeabilite deneyleri yapılmıştır. Her bir zemin numunesi için en az 6 farklı ölçüm alınmış ve alınan bu ölçümlerin ortalamaları alınarak permeabilite katsayıları hesaplanmıştır.

3.2.3 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirme çalışmaları

Zemin tez çalışması kapsamında ikinci olarak pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiştir. İyileştirme için zemine, literatür çalışmaları sonucunda 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü katılmasına karar verilmiştir. Zemine sırasıyla ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 oranında pirinç kabuğu külü katılmıştır. Bu işlemden sonra iyileştirilen zemin sırasıyla kompaksiyon, serbest basınç dayanımı, CBR, permeabilite ve konsolidasyon deneylerine tabii tutulmuştur.

3.2.3.1 Kompaksiyon

Zemin numunesine 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü katılarak kompaksiyon özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu amaçla zemin numunesine belirlenen miktarda pirinç kabuğu külü ve bir miktar su katıldıktan sonra pirinç kabuğu külü ve zemin arasındaki reaksiyonların başlaması için 1 saat beklenmiştir. Beklenen süre sonunda zemin standart kompaksiyon deneyine tabii tutulmuş ve istenilen pirinç kabuğu külü yüzdeleri için optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

3.2.3.2 Serbest basınç dayanımı

Zemin numunelerinin farklı pirinç kabuğu külü oranlarında karıştırılması sonucunda serbest basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi amacıyla serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Serbest basınç numuneleri Harward Minyatür kompaksiyon seti kullanılarak hazırlanmıştır. Sıkıştırma için kompaksiyon deneyleri sonucunda elde edilen optimum su muhtevası değerleri kullanılmıştır.

Zemin numuneleri her bir pirinç kabuğu külü oranı için, anlık, 1 günlük, 7 günlük ve 28 günlük kür sürelerinde bekletildikten sonra 3'er tekrar olmak üzere serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur.

3.2.3.3 CBR deneyi

İyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası CBR değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla zeminin pirinç kabuğu külü ile iyileştirme yapılmış durumları için CBR deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler 4 farklı kür süresinde tekrarlanmıştır. CBR numuneleri standart proktor deneyi sonucunda bulunan optimum su muhtevasında CBR kalıplarına standart proktor enerjisi uygulanarak sıkıştırılmıştır. Belirlenen kür süreleri boyunca bekletilen numuneler kür süresi sonunda 4 gün su içerisinde bekletilmişlerdir. Su içerisinde bekletildikleri süre boyunca serbest şişme değerleri kaydedilmiştir. Suda bekletilen numuneler üzerinde daha sonra CBR deneyleri yapılmış ve CBR değerleri elde edilmiştir.

3.2.3.4 Permeabilite

Zemin numunesine dört farklı oranda pirinç kabuğu külü ve optimum su muhtevası oranında su katılarak zemin numuneleri karıştırılmıştır. Karıştırılan zemin numunesi standart proktor enerjisi uygulanarak permeabilite kalıplarına yerleştirilmiştir. Kalıp içine yerleştirilen numuneler düşen seviyeli permeabilite deney düzeneğine bağlandıktan sonra suya doymun hale getirilene kadar beklenmiştir. Zemin numunesi suya doymun hale geldikten sonra permeabilite katsayısının bulunabilmesi amacıyla permeabilite deneyleri yapılmıştır. Her bir zemin numunesi için en az 6 farklı ölçüm alınmış ve alınan bu ölçümlerin ortalamaları alınarak permeabilite katsayıları hesaplanmıştır.

3.2.4 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme çalışmaları

Zemin tez çalışması kapsamında son olarak kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiştir. İyileştirme için zemine daha önce uygulanan kireç ve pirinç kabuğu külü oranları harmanlanarak uygulanmıştır. İki farklı kireç oranı artı 4 farklı pirinç kabuğu külü oranında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan zemin numuneleri sırasıyla kompaksiyon, serbest basınç dayanımı, CBR, permeabilite ve konsolidasyon deneylerine tabii tutulmuştur.

3.2.4.1 Kompaksiyon

Zemin numunesine 2 farklı oranda kireç ve 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü bir arada katılarak kompaksiyon özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu amaçla zemin numunesine belirlenen miktarda kireç + pirinç kabuğu külü ve bir miktar su katıldıktan sonra kireç + pirinç kabuğu külü ve zemin arasındaki reaksiyonların başlaması için 1 saat beklenmiştir. Beklenen süre sonunda zemin standart kompaksiyon deneyine tabii tutulmuş ve istenilen kireç + pirinç kabuğu külü yüzdeleri için optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

3.2.4.2 Serbest basınç dayanımı

Zemin numunelerinin 2 farklı oranda kireç ve 4 oranda farklı pirinç kabuğu külünün bir arada katılması ve bu karışımların karıştırılması sonucunda serbest basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi amacıyla serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Serbest basınç numuneleri Harvard Minyatür kompaksiyon seti kullanılarak hazırlanmıştır. Sıkıştırma için kompaksiyon deneyleri sonucunda elde edilen optimum su muhtevası değerleri kullanılmıştır.

Zemin numuneleri her bir kireç + pirinç kabuğu külü oranı için, anlık, 1 günlük, 7 günlük ve 28 günlük kür sürelerinde bekletildikten sonra 3'er tekrar olmak üzere serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur.

3.2.4.3 CBR deneyi

İyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası CBR değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla zemine 2 farklı kireç ve 4 farklı pirinç kabuğu külü oranında katkı katıldıktan sonra karışımlar üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler 4 farklı kür süresinde tekrarlanmıştır. CBR numuneleri standart proktor deneyi sonucunda bulunan optimum

su muhtevasında CBR kalıplarına standart proktor enerjisi uygulanarak sıkıştırılmıştır. Belirlenen kür süreleri boyunca bekletilen numuneler kür süresi sonunda 4 gün su içerisinde bekletilmişlerdir. Su içerisinde bekletildikleri süre boyunca serbest şişme değerleri kaydedilmiştir. Suda bekletilen numuneler üzerinde daha sonra CBR deneyleri yapılmış ve CBR değerleri elde edilmiştir.

3.2.4.4 Permeabilite

Zemin numunesine 2 farklı kireç ve 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü katılmış ve optimum su muhtevası kadar su katılarak zemin numuneleri karıştırılmıştır. Karıştırılan zemin numunesi standart proktor enerjisi uygulanarak permeabilite kalıplarına yerleştirilmiştir. Kalıp içine yerleştirilen numuneler düşen seviyeli permeabilite deney düzeneğine bağlandıktan sonra suya doymun hale getirilene kadar beklenmiştir. Zemin numunesi suya doymun hale geldikten sonra permeabilite katsayısının bulunabilmesi amacıyla permeabilite deneyleri yapılmıştır. Her bir zemin numunesi için en az 6 farklı ölçüm alınmış ve alınan bu ölçümlerin ortalamaları alınarak permeabilite katsayıları hesaplanmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular sunulmuştur. İlk olarak doğal zemin üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ve çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aktarılacaktır. Ardından sırasıyla zemin numunesine kireç, pirinç kabuğu külü ve kireç + pirinç kabuğu külü katılması ile elde edilen veriler sunulacaktır.

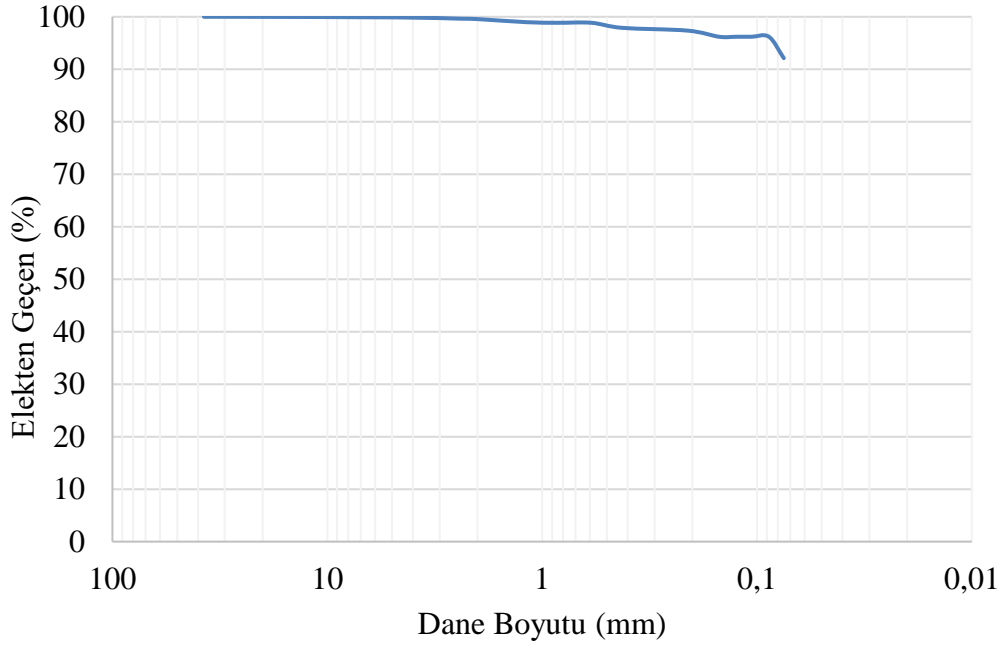
4.1 Doğal Zemin ile İlgili Yapılan Deneyler

Kırklareli ili şehir merkezinden getirilen zemin numunesinin geoteknik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla zemin numunesi üzerinde sırasıyla elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, özgül ağırlık, kompaksiyon, permeabilite ve deneyleri yapılmıştır. Aşağıda yapılan deneyler ve elde edilen veriler ayrı ayrı verilmiştir.

4.1.1 Elek analizi deney verileri

Deneysel çalışmada kullanılacak zemin numunesinin sınıflandırılabilmesi için öncelikle dane dağılımı eğrisinin çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla etüvde kurutulmuş deney numunesinden alınan 500 gr. ağırlığındaki örnek üzerinde yıkamalı elek analizi deneyi yapılmıştır. Numune No 200 eleğe koyularak akan su altında ince malzemelerinden arındırılıncaya kadar yıkanmıştır. Yıkama işlemi bittikten sonra zemin numunesi 105 °C sıcaklığındaki etüvde 24 saat bekletilmek suretiyle kurutulmuştur. Kurutulan zemin numunesi tartıldıktan sonra en büyük açıklıklı elek en üste, en küçük açıklıklı elek en alta gelecek şekilde sıralanan elekler vasıtasıyla elenmiştir. Eleklerde kalan zemin numuneleri tartıldıktan sonra yapılan hesaplamalar sonucunda zemin numunesine ait dane dağılımı eğrisi çizilmiştir. Çizilen eğri Şekil 4.1'de verilmiştir.

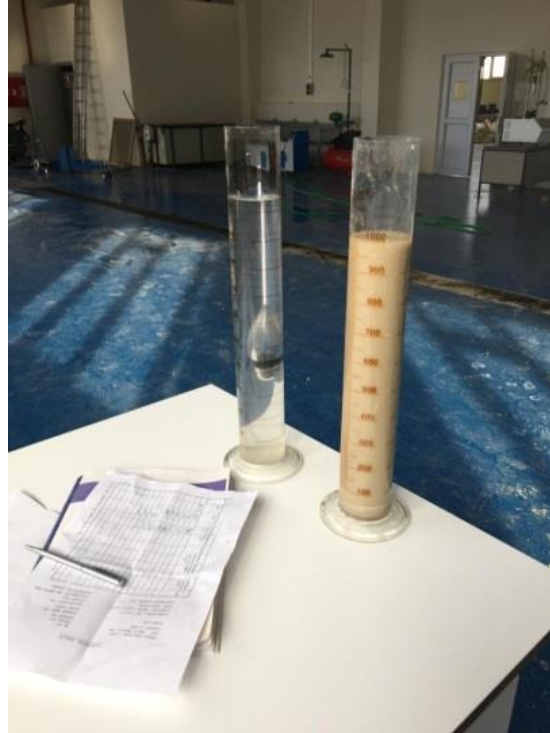
Elek analizi sonucunda elde edilen dane dağılımı eğrisi incelendiğinde zeminin %92.12 oranında ince malzeme içerdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.1 : Zemin numunesine ait dane dağılımı eğrisi

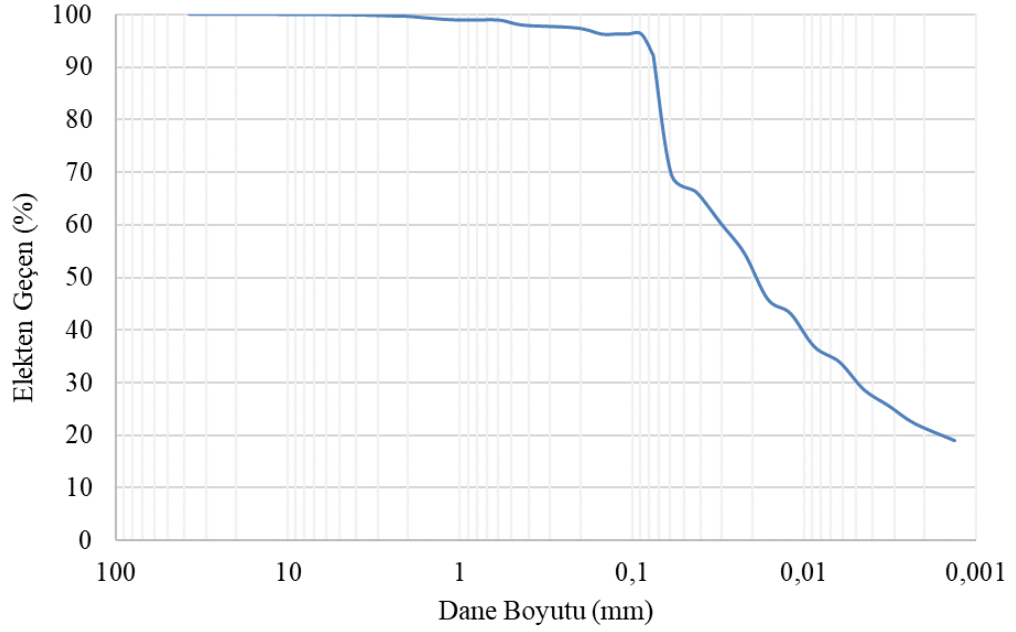
4.1.2 Hidrometre deney verileri

Elek analizi deneyleri sonucunda ince malzeme oranının oldukça yüksek olduğu açık olarak görülmüştür. İnce malzemenin ne kadarının kil ne kadarının silt olduğunu belirlemek için hidrometre deneyi yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan deneye ait fotoğraf Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2 : Hidrometre deney numunesi

Hidrometre deneyi sonuçları düzenlenerek dane dağılımı eğrisi tekrar çizilmiştir. Çizilen eğri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Hidrometre deneyi sonucunda elde edilen dane dağılımı eğrisi

Şekil 4.3 incelendiğinde zemin içerisinde % 22.18 oranında kil, % 69.94 oranında silt olduğu görülmektedir.

4.1.3 Kıvam limiti deney verileri

Zemin numunesinin kıvam limitlerinin belirlenebilmesi amacıyla kıvam limiti deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda likit limit değeri % 45, plastik limit değeri ise % 32 olarak belirlenmiştir.

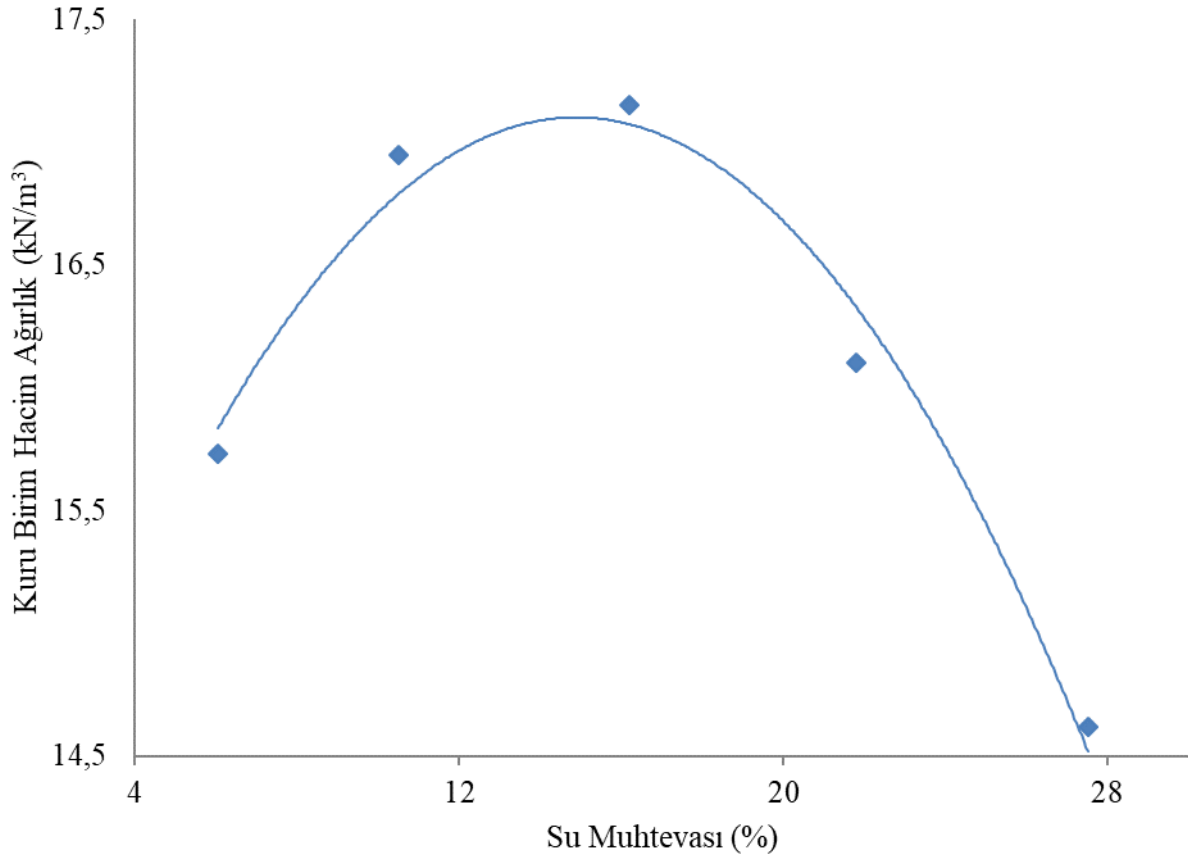
Zemin sınıflandırması amacıyla yapılan deneyler sonucunda zemin sınıfı birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre düşük plastisiteli silt (ML) olarak belirlenmiştir.

4.1.4 Özgük ağırlık deney verileri

Zemin numunesinin özgül ağırlık değerinin belirlenmesi amacıyla piknometre yardımıyla özgül ağırlık tayini deneyi yapılmıştır. Deney doğal zemin numunesi için 6 tekrar yapılmıştır ve deney sonucunda özgül ağırlık değeri 2.67 olarak belirlenmiştir.

4.1.5 Kompaksiyon deneyi verileri

Doğal zemin numunesi üzerinde standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen sıkışma eğrisi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Doğal zemin için elde edilen kompaksiyon eğrisi

Deney sonucunda doğal zemin numunesinin optimum su muhtevası % 15,8, maksimum kuru birim hacim ağırlığının ise 17 kN/m^3 olduğu görülmüştür.

4.1.6 Permeabilite deneyi verileri

Zemin sınıfı belirlenen numunenin ince taneli olmasından dolayı düşen seviyeli permeabilite deneyi tercih edilmiştir. Zemin permeabilite kalıplarına kompaksiyon deneyi sonucunda bulunan optimum su muhtevasında sıkıştırılmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin suya doymuş hale getirilmesi yaklaşık 7 gün sürmüştür. Zemin suya doyurulduktan sonra farklı sürelerde okuma alınarak deneyler tamamlanmış ve permeabilite katsayıları hesaplanmıştır. Hazırlanan numune ve permeabilite deney düzeneğine ait fotoğraf Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Düşen seviyeli permeabilite deney düzeneği

Düşen seviyeli permeabilite deneyi doğal zemin numunesi için 5 sefer tekrarlanmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.1’te sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Doğal zemin için hesaplanan permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	1,47290E-05
Deney 2	1,34001E-05
Deney 3	1,53716E-05
Deney 4	1,12472E-05
Deney 5	1,24744E-05
Ortalama	1,34444E-05

Düşen seviyeli permeabilite deneyi sonucunda doğal zeminin ortalama permeabilite katsayısı değeri 1,34444 E-05 cm/sn olarak bulunmuştur.

4.2 Kireç ile İyileştirilmiş Zeminler ile İlgili Yapılan Deneyler

Zemin numunesine ait geoteknik özellikler belirlendikten sonra zemin numunesinin kireçle iyileştirilme aşamasına geçilmiştir. Zemine katılacak kireç miktarının belirlenmesi amacıyla pH deneyi yapılmıştır. Optimum kireç miktarı tayin edildikten sonra zemine optimum kireç yüzdesinde ve optimum kireç miktarının yarısı oranında olmak üzere kireç katılarak iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. İyileştirme sonrasında kompaksiyon, serbest basınç dayanımı, CBR ve permeabilite deneyleri yapılmıştır.

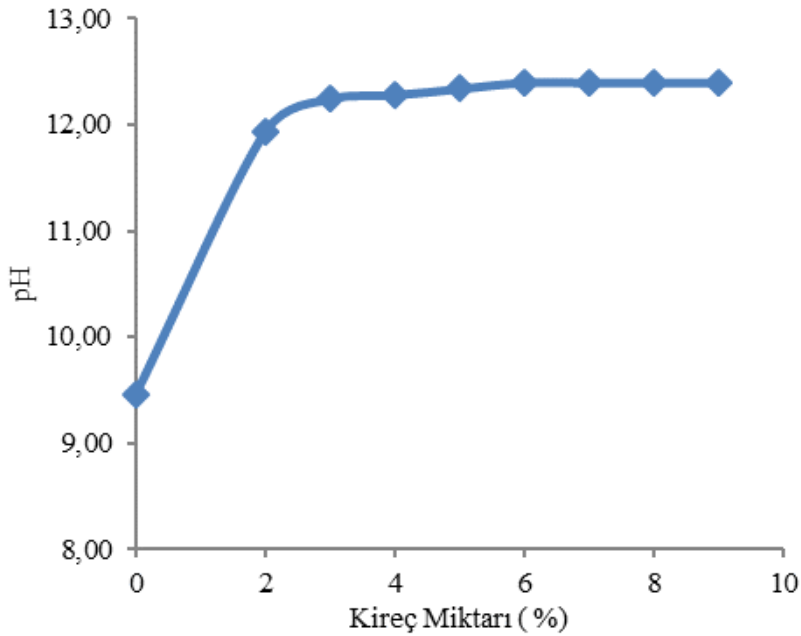
4.2.1 pH yöntemi deney verileri

Katkı olarak katılacak optimum kireç miktarı pH yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemde zemine % 2 den % 9'a kadar 8 farklı oranda kireç katılarak solüsyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan solüsyonların pH değerleri pH metre yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 4.6'da hazırlanan solüsyonlar ve deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Hazırlanan solüsyonlar ve pH deney düzeneği

Optimum kireç miktarı solüsyonun pH değerinin 12.4 olduğu kireç miktarıdır. Şekil 4.7'de kireç miktarı ile pH değerinin değişimi gösterilmiştir.

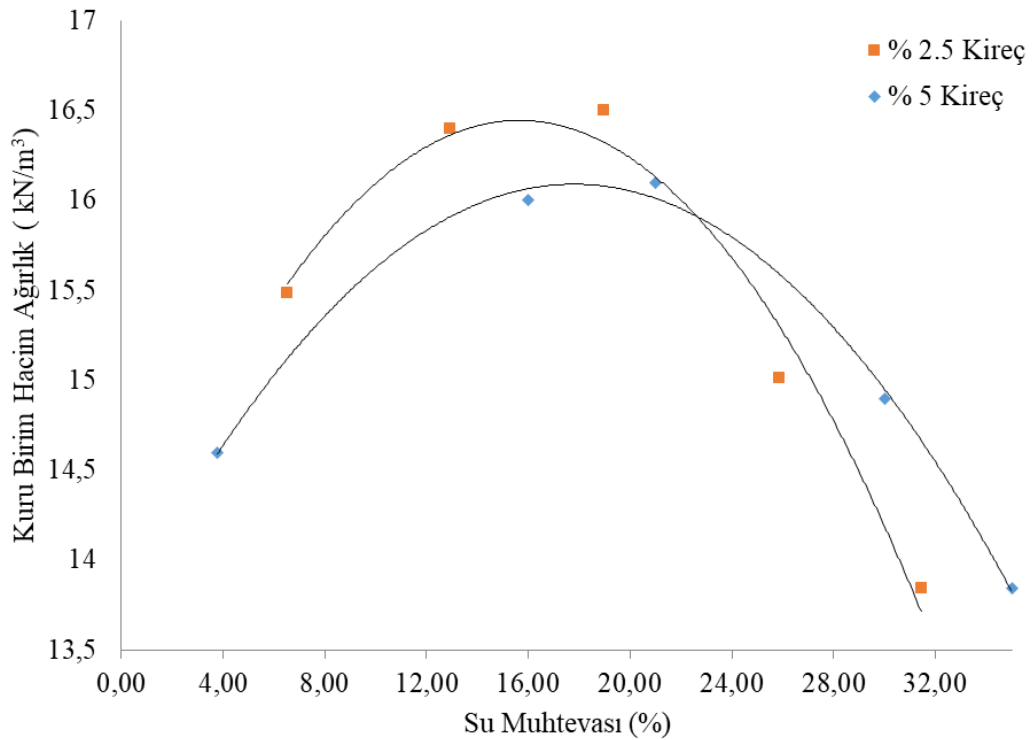


Şekil 4.7 : Kireç miktarının artması ile pH değerinin değişimi

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere kireç miktarının % 5 olması durumunda pH değeri 12.4 değerinde sabitlenmiştir. Bu nedenle optimum kireç yüzdesinin % 5 olduğuna karar verilmiştir.

4.2.2 Kompaksiyon deney verileri

Optimum kireç yüzdesi belirlendikten sonra zemin numunesine optimum kireç yüzdesinde ve optimum kireç yüzdesinin yarısı oranında kireç katılmıştır. Zemin numunesine kireç katıldıktan sonra karışım içerisindeki reaksiyonların başlamasına izin vermek için kompaksiyon deneyine başlamadan önce 1 saat beklenmiştir. Bir saatlik sürenin sonunda zemin numunesi kompaksiyon kalıbına standart kompaksiyon enerjisi uygulanarak yerleştirilmiştir. Şekil 4.8’de her iki kireç yüzdesi için yapılan kompaksiyon deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.8 : Kireç katılmış zeminin kompaksiyon eğrileri

Şekil 4.8’den de görüldüğü üzere maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri zemine % 2.5 kireç katılması durumunda $16,5 \text{ kN/m}^3$, % 5 kireç katılması durumunda ise 16 kN/m^3 değerine düşmüştür. Optimum su muhtevası ise zemine % 2.5 kireç katılması durumunda % 16, % 5 kireç katılması durumunda ise % 18 değerine yükselmiştir.

4.2.3 Serbest basınç deney verileri

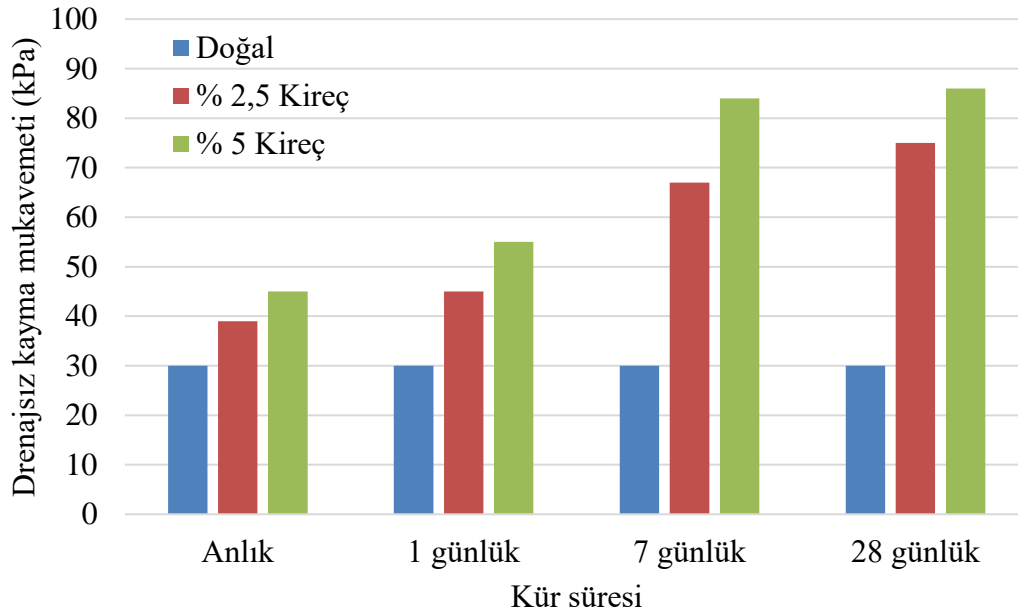
Serbest basınç numuneleri harward minyatür kompaksiyon seti kullanılarak hazırlanmıştır. Zemin numunelerine sırasıyla ağırlıklarının % 2.5’i ve % 5’i oranında kireç ve optimum su muhtevası kadar su katılmıştır. Hazırlanan numuneler karıştırıldıktan sonra 1 saat süre ile bekletilmiştir. Bekletme işlemi bittikten sonra 4

farklı kür süresi için serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Kür süreleri sonunda numuneler serbest basınç deneyine tabii tutularak kırılmışlardır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de tablo olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.2 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti

Deney No	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	30	30	30	30
% 2,5 Kireç	39	45	67	75
% 5 Kireç	45	55	84	86

Şekil 4.9’da kür süresine ve kireç miktarı ile drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişki grafik olarak verilmiştir. Drenajsız kayma mukavemeti değeri doğal malzeme için 30 kPa değerinden, doğal zemine % 5 kireç katıldıktan ve 28 gün kür süresinde beklendikten sonra 86 kPa değerine ulaşmıştır. Yaklaşık olarak 3 kat artış meydana gelmiştir.

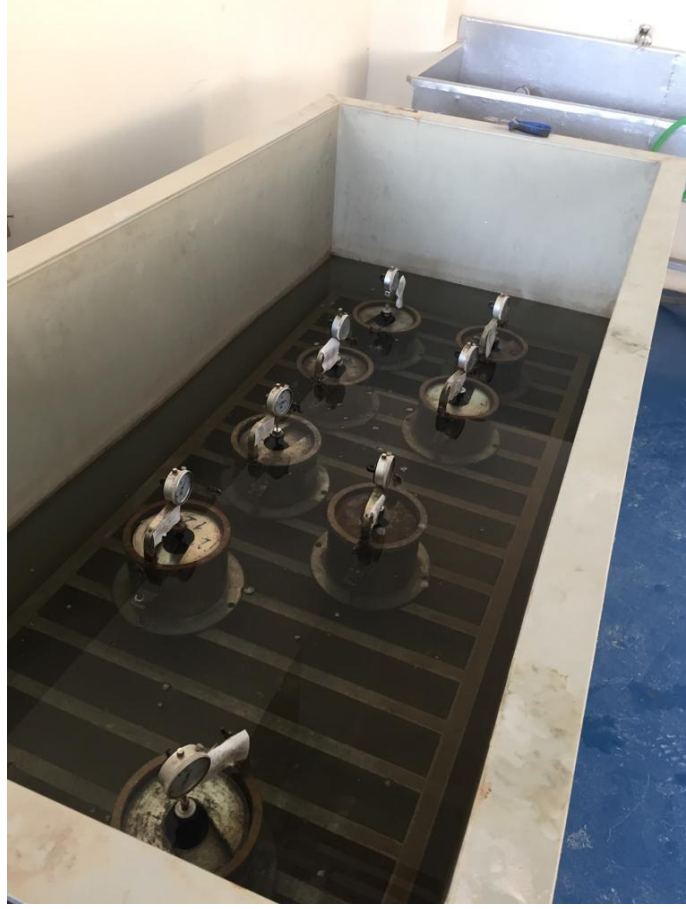


Şekil 4.9 : Kireç katılmış zeminin drenajsız kayma mukavemeti

4.2.4 CBR deney verileri

CBR deney numunelerinin hazırlanması için zemin numuneleri CBR kalıplarına standart proktor enerjisinde yerleştirilmiştir. Kireç katkılı numunelerde zemine kireç, optimum su muhtevası kadar su katıldıktan ve 1 saat beklendikten sonra kalıp içerisine sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Kür süreleri anlık, 1 gün, 7 gün ve 28 gün olarak seçilmiştir. Kür süresi sonunda kalıplarda bulunan zeminler tamamı su içerisinde kalacak şekilde kür havuzlarına koyulmuştur. Şekil 4.10’da görüldüğü üzere kür

havuzuna koyulan malzemelerin serbest şişme değerleri 4 gün boyunca deformasyon saati yardımıyla okunmuş ve kaydedilmiştir.



Şekil 4.10 : Kireç katılmış zeminin CBR değerleri

Zemin numunesine ait şişme değerleri Çizelge 4.3'te tablo olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen serbest şişme değerleri

Deney No	1.gün (cm)	2. gün (cm)	3.gün (cm)	4.gün (cm)
Doğal	1.11	1.15	1.19	1.45
% 2,5 Kireç (anlık)	0.62	0.64	0.64	0.64
% 2,5 Kireç (1 günlük)	0.12	0.13	0.13	0.13
% 2,5 Kireç (7 günlük)	0.05	0.06	0.06	0.06
% 2,5 Kireç (28 günlük)	0.02	0.02	0.02	0.02
% 5 Kireç (anlık)	0.40	0.41	0.41	0.42
% 5 Kireç (1 günlük)	0.11	0.12	0.12	0.12
% 5 Kireç (7 günlük)	0.04	0.05	0.05	0.05
% 5 Kireç (28 günlük)	0.03	0.03	0.03	0.03

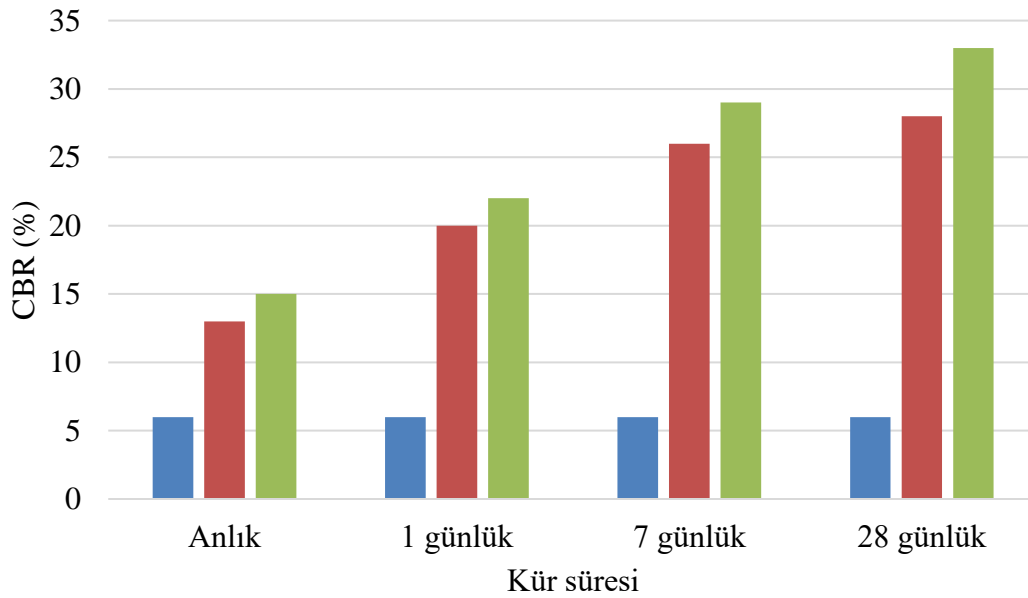
Çizelge 4.3'te açık olarak görüldüğü üzere doğal zemin için serbest şişme değeri 1.45 cm değerinden iyileştirme sonrasında 0.03 cm değerine kadar düşüş göstermiştir. Kireç ile iyileştirilmiş zeminin neredeyse hiç şişme göstermediği açık olarak görülmektedir.

Şişme değerleri okunan CBR numunelerinin CBR değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla numuneler basınç deneyine tabii tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen CBR değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri

Deney No	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	6	6	6	6
% 2,5 Kireç	13	20	26	28
% 5 Kireç	15	22	29	33

Şekil 4.11'de deneyler sonucunda elde edilen CBR değerleri grafik olarak verilmiştir. Grafikten de açık olarak görüleceği gibi 28 günlük kür süresi sonunda CBR değerlerinde yaklaşık 5 kata varan artışlar görülmüştür.



Şekil 4.11 : Kireç katılmış zeminin CBR değerleri

4.2.5 Permeabilite deney verileri

Kireç ile iyileştirilmiş zeminlerin permeabilite değerlerindeki değişimin incelenmesi amacıyla zemin numuneleri düşen seviyeli permeabilite deneyine tabii tutulmuştur. Zemin permeabilite kalıplarına % 2,5 kireç ve % 5 kireç katıldıktan sonra, kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen optimum su muhtevasında standart kompaksiyon enerjinde sıkıştırılmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin suya doymuş hale getirilmesi yaklaşık 7 gün sürmüştür. Zemin suya doyurulduktan sonra farklı sürelerde okuma alınarak deneyler tamamlanmış ve geçirimsizlikleri bulunmuştur.

Düşen seviyeli permeabilite deneyi kireç ile iyileştirilmiş zemin numunesi için 5 sefer tekrarlanmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da görülmektedir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde permeabilite katsayısı değeri % 2.5 kireç ile iyileştirilmiş zemin numunesinde 1,305105 E-05 cm/sn olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 : % 2.5 Kireç ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	1.325610E-05
Deney 2	1.286410E-05
Deney 3	1.306586E-05
Deney 4	1.259686E-05
Deney 5	1.347235E-05
Ortalama	1.305105E-05

Çizelge 4.6’da doğal zeminin % 5 kireç katkısı ile iyileştirildikten sonra elde edilen permeabilite katsayıları gösterilmektedir. Permeabilite katsayısı % 5 kireç ile iyileştirilmiş zemin numunesi için 1,26511 E-05 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6 : % 5 Kireç ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	1.33075E-05
Deney 2	1.28165E-05
Deney 3	1.26089E-05
Deney 4	1.17440E-05
Deney 5	1.27784E-05
Ortalama	1.26511E-05

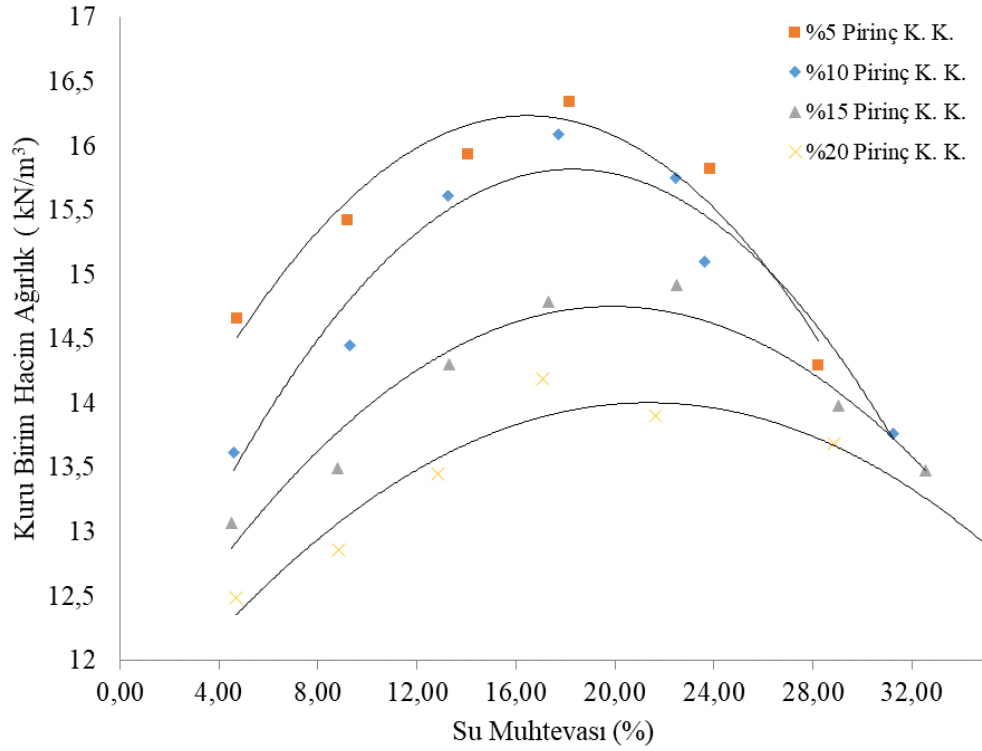
4.3 Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirilmiş Zeminler ile İlgili Yapılan Deneyler

Zemin numunesi kireç ile iyileştirildikten sonra pirinç kabuğu külü kullanılarak iyileştirilmiştir. İyileştirme prosüdüğü kireç ile iyileştirme yöntemine benzer şekilde zemine farklı oranlarda pirinç kabuğu külü karıştırılması suretiyle yapılmıştır. Zemine katılacak pirinç kabuğu külü zeminin ağırlıkça % 5, % 10, % 15 ve % 20’si olarak belirlenmiştir. İyileştirme sonrasında iyileştirilmiş zemin numuneleri üzerinde kompaksiyon, serbest basınç dayanımı, CBR ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

4.3.1 Kompaksiyon deney verileri

Zemin numunesine optimum 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü katılmıştır. Zemin numunesine pirinç kabuğu külü katıldıktan sonra deneye başlamadan önce 1 saat

beklenmiş ve reaksiyonların başlamasına izin verilmiştir. Şekil 4.12’de 4 farklı pirinç kabuğu külü yüzdesi için yapılan kompaksiyon deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.12 : Pirinç kabuğu külü katılmış zeminlerin kompaksiyon eğrileri

Şekil 4.12’den de görüldüğü üzere maksimum kuru birim hacim değeri sırasıyla zemine % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu katılması durumunda 16.2 kN/m^3 , 15.8 kN/m^3 , 14.6 kN/m^3 ve 14.1 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Yine aynı şekilde sırasıyla zemine % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu katılması durumunda optimum su muhtevası değerleri sırasıyla % 16.5, % 18.5, % 19.8 ve % 22 olarak bulunmuştur.

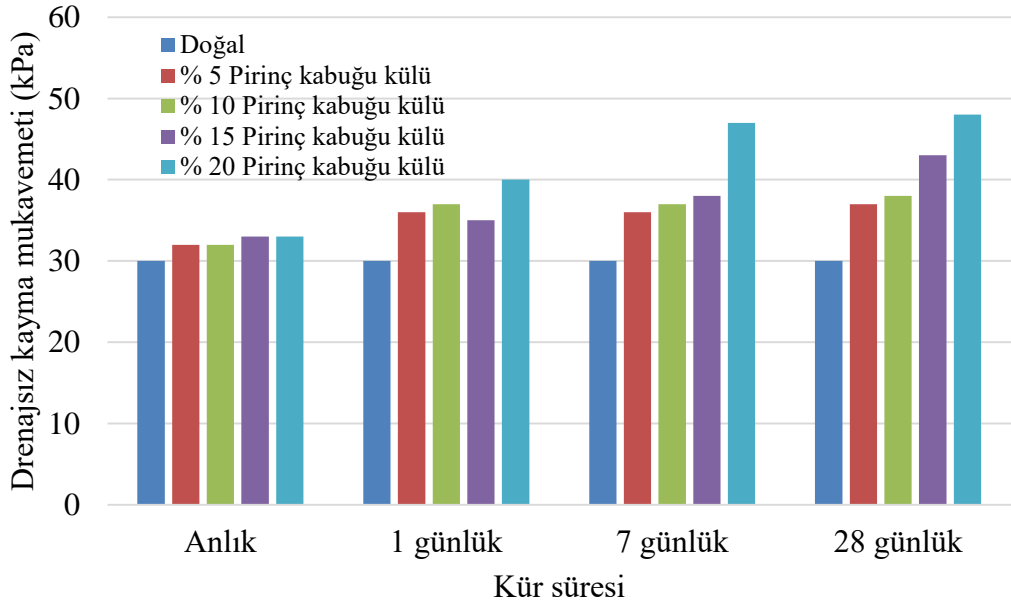
4.3.2 Serbest basınç deney verileri

Serbest basınç numuneleri harward minyatür kompaksiyon seti kullanılarak hazırlanmıştır. Zemin numunelerine sırasıyla ağırlıklarının % 5, % 10, % 15 ve % 20’si oranında pirinç kabuğu külü ve optimum su muhtevası kadar su katılmıştır. Hazırlanan numuneler karıştırıldıktan sonra 1 saat süre ile bekletilmiştir. Bekletme işlemi bittikten sonra 4 farklı kür süresi için serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Kür süreleri sonunda numuneler serbest basınç deneyine tabii tutularak kırılmışlardır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7 : Pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti

Numune Adı	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	30	30	30	30
% 5 Pirinç kabuğu külü	32	36	36	37
% 10 Pirinç kabuğu külü	32	37	37	38
% 15 Pirinç kabuğu külü	33	35	38	43
% 20 Pirinç kabuğu külü	33	40	47	48

Şekil 4.13’de kür süresine ve pirinç kabuğu külü miktarı ile drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişki grafik olarak verilmiştir. Drenajsız kayma mukavemeti değeri doğal malzeme için 30 kPa değerinden, doğal zemine % 20 pirinç kabuğu külü ve 28 gün kür süresinde beklendikten sonra 48 kPa değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.13 : Pirinç kabuğu külü katılmış zeminin drenajsız kayma mukavemeti

Zemine pirinç kabuğu külü katılmasıyla birlikte drenajsız kayma mukavemeti değerlerinde bir miktar artış gözlenmekle birlikte kayda değer bir artış meydana gelmemiştir.

4.3.3 CBR deney verileri

CBR deney numunelerinin hazırlanması için zemin numuneleri CBR kalıplarına standart proktor enerjisinde yerleştirilmiştir. Pirinç kabuğu külü katılı numunelerde zemine pirinç kabuğu külü, optimum su muhtevası kadar su katıldıktan ve 1 saat beklendikten sonra kalıp içerisine sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Kür süreleri anlık, 1 gün, 7 gün ve 28 gün olarak seçilmiştir. Kür süresi sonunda kalıplarda bulunan

zeminler tamamı su içerisinde kalacak şekilde kür havuzlarına koyulmuş ve 4 gün süresince su içerisinde bekletilmişlerdir. Zemin numunesine ait şişme değerleri Çizelge 4.8’te tablo olarak verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Kireç ile iyileştirme sonucu elde edilen serbest şişme değerleri

Deney No	1.gün (cm)	2. gün (cm)	3.gün (cm)	4.gün (cm)
Doğal	1.11	1.15	1.19	1.45
% 5 Pirinç kabuğu külü (anlık)	0.32	0.34	0.35	0.35
% 5 Pirinç kabuğu külü (1 gün)	0.32	0.33	0.34	0.35
% 5 Pirinç kabuğu külü (7 gün)	0.13	0.14	0.14	0.15
% 5 Pirinç kabuğu külü (28 gün)	0.06	0.06	0.07	0.07
% 10 Pirinç kabuğu külü (anlık)	0.79	0.81	0.81	0.82
% 10 Pirinç kabuğu külü (1 gün)	0.39	0.39	0.39	0.40
% 10 Pirinç kabuğu külü (7 gün)	0.06	0.07	0.07	0.07
% 10 Pirinç kabuğu külü (28 gün)	0.05	0.05	0.06	0.06
% 15 Pirinç kabuğu külü (anlık)	0.37	0.38	0.39	0.39
% 15 Pirinç kabuğu külü (1 gün)	0.29	0.29	0.30	0.33
% 15 Pirinç kabuğu külü (7 gün)	0.08	0.08	0.09	0.09
% 15 Pirinç kabuğu külü (28 gün)	0.07	0.08	0.08	0.08
% 20 Pirinç kabuğu külü (anlık)	0.22	0.23	0.24	0.24
% 20 Pirinç kabuğu külü (1 gün)	0.15	0.15	0.15	0.16
% 20 Pirinç kabuğu külü (7 gün)	0.06	0.10	0.10	0.11
% 20 Pirinç kabuğu külü (28 gün)	0.06	0.06	0.07	0.08

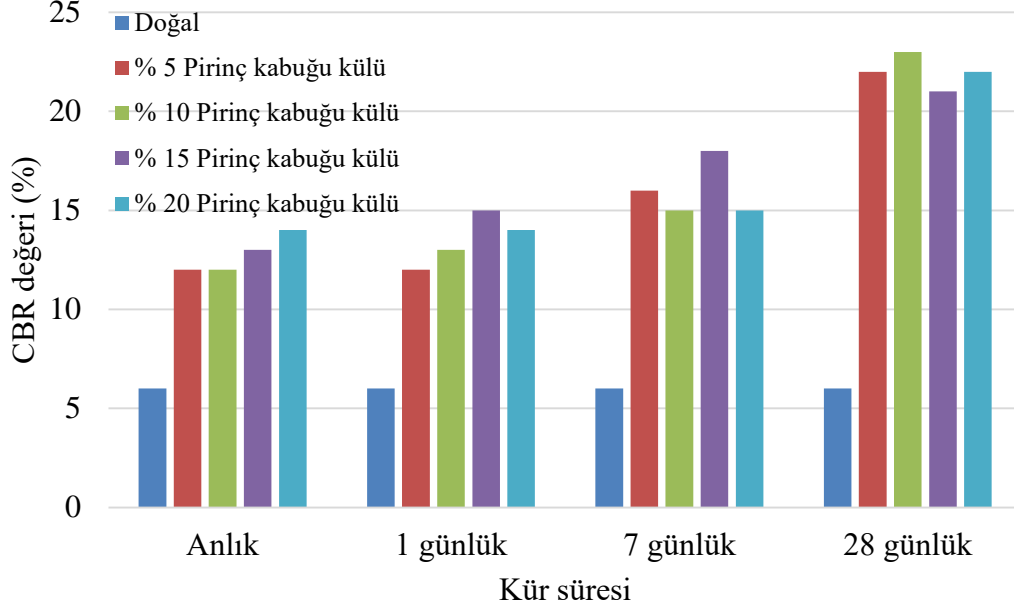
Çizelge 4.8’te açık olarak görüldüğü üzere doğal zemin için serbest şişme değeri 1.45 cm değerinden iyileştirme sonrasında 0.06 cm değerine kadar düşüş göstermiştir. Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin kür süresinin artmasıyla birlikte neredeyse hiç şişme göstermemiştir.

CBR numunelerinin şişme değerleri kaydedildikten sonra numuneler su içerisinde çıkartılmıştır. Numunelerin suyu süzöldükten sonra CBR değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla numuneler basınç deneyine tabii tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen CBR değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri

Numune Adı	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	6	6	6	6
% 5 Pirinç kabuğu külü	12	12	16	22
% 10 Pirinç kabuğu külü	12	13	15	23
% 15 Pirinç kabuğu külü	13	15	18	21
% 20 Pirinç kabuğu külü	14	14	15	22

Şekil 4.14’de deneyler sonucunda elde edilen CBR değerleri grafik olarak verilmiştir. Grafikten de açık olarak görüleceği gibi 28 günlük kür süresi sonunda CBR değerlerinde yaklaşık 4 kata varan artışlar görülmüştür.



Şekil 4.14 : Pirinç kabuğu külü katılmış zeminin CBR değerleri

Doğal malzemenin CBR değeri % 6 iken, zemine pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte bu değer yaklaşık olarak % 20 mertebesine kadar yükselmiştir.

4.3.4 Permeabilite deney verileri

Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zeminlerin permeabilite değerlerindeki değişimin incelenmesi amacıyla zemin numuneleri düşen seviyeli permeabilite deneyine tabii tutulmuştur. Zemin permeabilite kalıplarına % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu külü katıldıktan sonra, kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen optimum su muhtevasında standart kompaksiyon enerjinde sıkıştırılmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin suya doygun hale getirilmesi yaklaşık 7 gün sürmüştür. Zemin suya doyurulduktan sonra farklı sürelerde okuma alınarak deneyler tamamlanmış ve geçirimsizlikleri bulunmuştur.

Düşen seviyeli permeabilite deneyi pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesi için 5 sefer tekrarlanmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.10, Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.10 : % 5 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	7.07095E-04
Deney 2	7.27317E-04
Deney 3	7.21095E-04

Deney 4	7.50533E-04
Deney 5	7.09313E-04
Ortalama	7.23071E-04

Deney sonuçları incelendiğinde permeabilite katsayısı değeri % 5 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesinde 7,23071 E-04 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.11 : % 10 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	1.38614E-04
Deney 2	1.28424E-04
Deney 3	1.79807E-04
Deney 4	1.75136E-04
Deney 5	1.11621E-04
Ortalama	1.46720E-04

Çizelge 4.11’de % 10 pirinç kabuğu külü kullanılarak yapılan iyileştirme sonucunda elde edilen permeabilite katsayıları verilmiştir. Buradan görüleceği üzere permeabilite katsayısı değeri 1.46720 E-04 cm/sn olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.12 : % 15 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	2.22967E-03
Deney 2	2.73121E-03
Deney 3	2.46515E-03
Deney 4	2.74454E-03
Deney 5	2.98112E-03
Ortalama	2.63034E-03

İyileştirme için pirinç kabuğu külünün % 15 kullanıldığı durumda ise permeabilite katsayısı değeri 2,63034 E-03 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.13 : % 20 Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	2.75870E-03
Deney 2	2.83363E-03
Deney 3	2.80219E-03
Deney 4	2.79418E-03
Deney 5	2.63372E-03
Ortalama	2.76448E-03

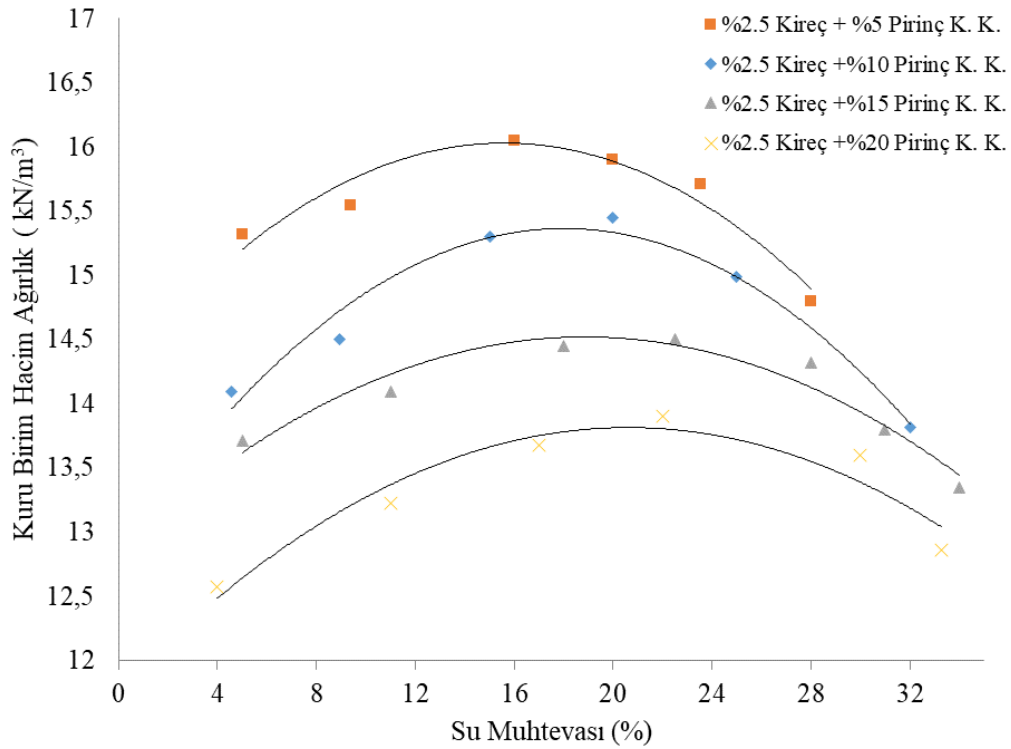
Zemine % 20 oranında pirinç kabuğu külü katılması durumunda ise permeabilite katsayısı değeri 2,76448 E-03 cm/sn olarak bulunmuştur.

4.4 Kireç + Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirilmiş Zeminler ile İlgili Yapılan Deneyler

Zemin kireç ve pirinç kabuğu külü ile ayrı ayrı iyileştirildikten sonra zemin numunesinin kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirilme aşamasına geçilmiştir. Zemine katılacak kireç miktarı zeminin ağırlıkça % 2.5 ve % 5'i, pirinç kabuğu külü miktarı ise zeminin ağırlıkça % 5, % 10, % 15 ve % 20'si olarak belirlenmiştir. İyileştirme sonrasında kompaksiyon, serbest basınç dayanımı, CBR ve permeabilite deneyleri yapılmıştır.

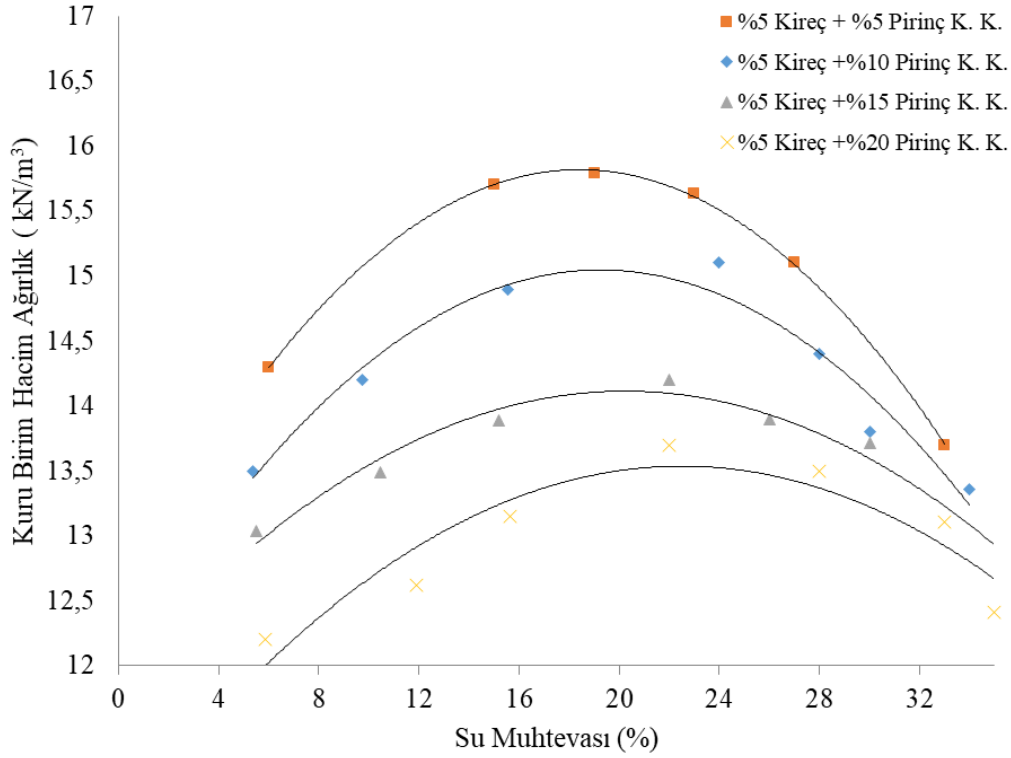
4.4.1 Kompaksiyon deney verileri

Zemin numunesine optimum 2 farklı kireç yüzdesi ve 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü olmak üzere 8 farklı oranda kireç + pirinç kabuğu külü katılmıştır. Zemin numunesine karışım katkıları katıldıktan sonra deneye başlamadan önce 1 saat beklenmiş ve reaksiyonların başlamasına izin verilmiştir. Şekil 4.15'de % 2.5 kireç + 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü katılmış zemin numuneleri için sıkıştırma eğrisi, Şekil 4.16'da % 5 kireç + 4 farklı oranda pirinç kabuğu külü katılmış zemin numuneleri için sıkıştırma eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.15 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu katılmış zeminlerin kompaksiyon eğrileri

Şekil 4.15'den de görüldüğü üzere maksimum kuru birim hacim değeri sırasıyla zemine % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu katılması durumunda 16.02 kN/m^3 , 15.40 kN/m^3 , 14.45 kN/m^3 ve 13.9 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Yine aynı şekilde sırasıyla zemine % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu katılması durumunda optimum su muhtevası değerleri sırasıyla % 18, % 19, % 20 ve % 22 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.16 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu katılmış zeminlerin kompaksiyon eğrileri

Şekil 4.16'dan da görüldüğü üzere maksimum kuru birim hacim değeri sırasıyla zemine % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu katılması durumunda 15.75 kN/m^3 , 15.05 kN/m^3 , 14.20 kN/m^3 ve 13.70 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Yine aynı şekilde sırasıyla zemine % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu katılması durumunda optimum su muhtevası değerleri sırasıyla % 19, % 20, % 21 ve % 23 olarak bulunmuştur.

4.4.2 Serbest basınç deney verileri

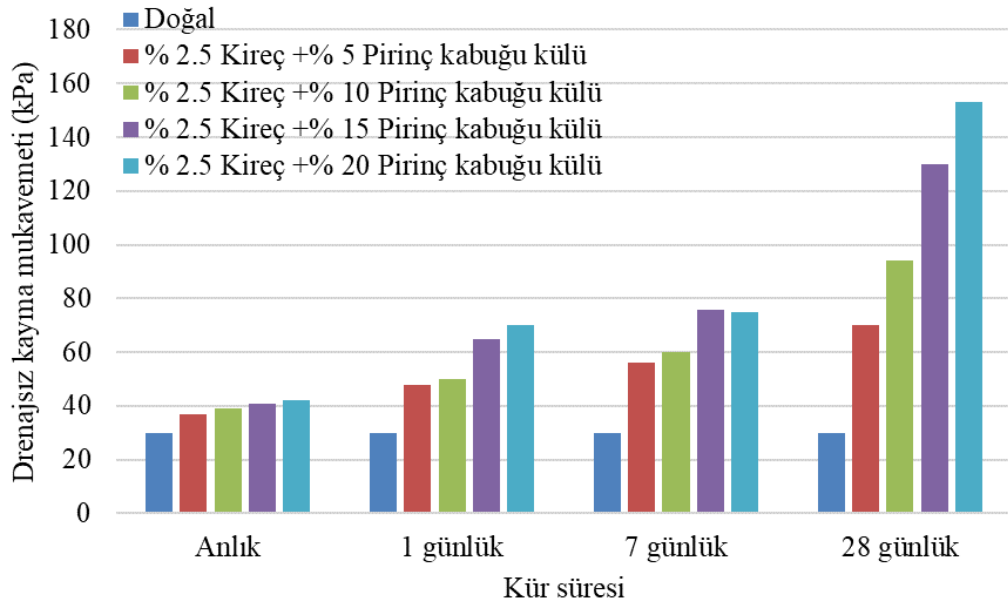
Serbest basınç numuneleri harward minyatür kompaksiyon seti kullanılarak hazırlanmıştır. Zemin numunelerine sırasıyla ağırlıklarının % 2.5 kireç + % 5, % 10, % 15 ve % 20'si oranında pirinç kabuğu külü ve % 5 kireç + % 5, % 10, % 15 ve %

20'si oranında pirinç kabuğu külü ve optimum su muhtevası kadar su katılmıştır. Hazırlanan numuneler karıştırıldıktan sonra 1 saat süre ile bekletilmiştir. Bekletme işlemi bittikten sonra 4 farklı kür süresi için serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Kür süreleri sonunda numuneler serbest basınç deneyine tabii tutularak kırılmışlardır. Elde edilen sonuçlar % 2.5 kireç + 4 farklı pirinç kabuğu külü için Çizelge 4.14'de sunulmuştur.

Çizelge 4.14 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti

Numune Adı	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	30	30	30	30
% 2.5 kireç + % 5 pirinç k.k.	37	48	56	70
% 2.5 kireç + % 10 pirinç k.k.	39	50	60	94
% 2.5 kireç + % 15 pirinç k.k.	41	65	76	130
% 2.5 kireç + % 20 pirinç k.k.	42	70	75	153

Şekil 4.17'de kür süresine ve pirinç kabuğu külü miktarı ile drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişki grafik olarak verilmiştir. Drenajsız kayma mukavemeti değeri doğal malzeme için 30 kPa değerinden, doğal zemine % 2.5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ve 28 gün kür süresinde beklendikten sonra 153 kPa değerine ulaşmıştır. Yaklaşık olarak 5 kat artış meydana gelmiştir.



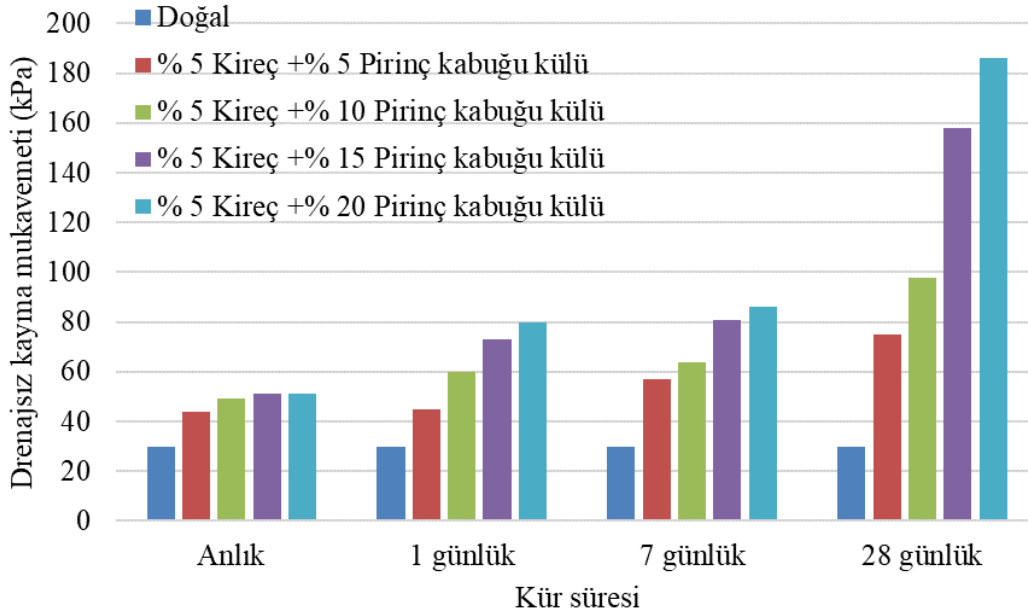
Şekil 4.17 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti

Deneyler sonucunda % 5 kireç + 4 farklı pirinç kabuğu külü için elde edilen veriler Çizelge 4.15'de sunulmuştur.

Çizelge 4.15 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti

Numune Adı	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	30	30	30	30
% 5 kireç + % 5 pirinç k.k.	44	45	57	75
% 5 kireç + % 10 pirinç k.k.	49	60	64	98
% 5 kireç + % 15 pirinç k.k.	51	73	81	158
% 5 kireç + % 20 pirinç k.k.	51	80	86	186

Şekil 4.18’de kür süresine ve pirinç kabuğu külü miktarı ile drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişki grafik olarak verilmiştir. Drenajsız kayma mukavemeti değeri doğal malzeme için 30 kPa değerinden, doğal zemine % 5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ve 28 gün kür süresinde beklendikten sonra 186 kPa değerine ulaşmıştır. Yaklaşık olarak 6 kat artış meydana gelmiştir.



Şekil 4.18 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti

4.4.3 CBR deney verileri

CBR deney numunelerinin hazırlanması için zemin numuneleri CBR kalıplarına standart proktor enerjisinde yerleştirilmiştir. Kireç + pirinç kabuğu külü katkılı numunelerde zemine kireç + pirinç kabuğu külü ve optimum su muhtevası kadar su katıldıktan ve 1 saat beklendikten sonra kalıp içerisine sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Kür süreleri anlık, 1 gün, 7 gün ve 28 gün olarak seçilmiştir. Kür süresi sonunda kalıplarda bulunan zeminler tamamı su içerisinde kalacak şekilde kür havuzlarına koyulmuştur.

Zemin numunesine ait % 2.5 kireç + farklı oranlarda pirinç kabuğu külü için şişme değerleri Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16’da açık olarak görüldüğü üzere doğal zemin için serbest şişme değeri 1.45 cm değerinden iyileştirme sonrasında 0.04 cm değerine kadar düşüş göstermiştir. Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin neredeyse hiç şişme göstermemiştir diyebiliriz.

Çizelge 4.16 : % 2.5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile elde edilen şişme değerleri

Deney No	1.gün (cm)	2. gün (cm)	3.gün (cm)	4.gün (cm)
Doğal	1.11	1.15	1.19	1.45
% 2.5 Kireç + %5 Pirinç (anlık)	0.45	0.45	0.46	0.46
% 2.5 Kireç + %5 Pirinç (1 gün)	0.14	0.14	0.14	0.14
% 2.5 Kireç + %5 Pirinç (7 gün)	0.04	0.04	0.04	0.04
% 2.5 Kireç + %5 Pirinç (28 gün)	0.12	0.13	0.14	0.15
% 2.5 Kireç + %10 Pirinç (anlık)	0.32	0.32	0.33	0.33
% 2.5 Kireç + %10 Pirinç (1 gün)	0.11	0.12	0.12	0.12
% 2.5 Kireç + %10 Pirinç (7 gün)	0.03	0.04	0.04	0.04
% 2.5 Kireç + %10 Pirinç (28gün)	0.01	0.01	0.01	0.02
% 2.5 Kireç + %15 Pirinç (anlık)	0.20	0.24	0.25	0.25
% 2.5 Kireç + %15 Pirinç (1 gün)	0.09	0.10	0.10	0.10
% 2.5 Kireç + %15 Pirinç (7 gün)	0.05	0.05	0.05	0.05
% 2.5 Kireç + %15 Pirinç (28gün)	0.04	0.04	0.04	0.04
% 2.5 Kireç + %20 Pirinç (anlık)	0.38	0.42	0.43	0.43
% 2.5 Kireç + %20 Pirinç (1 gün)	0.11	0.11	0.11	0.11
% 2.5 Kireç + %20 Pirinç (7 gün)	0.04	0.04	0.04	0.05
% 2.5 Kireç + %20 Pirinç (28gün)	0.03	0.04	0.04	0.04

Zemin numunesine ait % 5 kireç + farklı oranlarda pirinç kabuğu külü için şişme değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17 : % 5 Kireç + pirinç kabuğu külü ile elde edilen şişme değerleri

Deney No	1.gün (cm)	2. gün (cm)	3.gün (cm)	4.gün (cm)
Doğal	1.11	1.15	1.19	1.45
% 5 Kireç + %5 Pirinç (anlık)	0.40	0.44	0.45	0.45
% 5 Kireç + %5 Pirinç (1 gün)	0.13	0.14	0.14	0.14
% 5 Kireç + %5 Pirinç (7 gün)	0.02	0.03	0.03	0.03
% 5 Kireç + %5 Pirinç (28 gün)	0.01	0.01	0.01	0.01
% 5 Kireç + %10 Pirinç (anlık)	0.17	0.23	0.24	0.24
% 5 Kireç + %10 Pirinç (1 gün)	0.11	0.12	0.12	0.12
% 5 Kireç + %10 Pirinç (7 gün)	0.02	0.03	0.03	0.03
% 5 Kireç + %10 Pirinç (28gün)	0.00	0.02	0.04	0.04
% 5 Kireç + %15 Pirinç (anlık)	0.56	0.63	0.64	0.64
% 5 Kireç + %15 Pirinç (1 gün)	0.11	0.12	0.12	0.12
% 5 Kireç + %15 Pirinç (7 gün)	0.02	0.02	0.02	0.02

% 5 Kireç + %15 Pirinç (28gün)	0.04	0.04	0.06	0.08
% 5 Kireç + %20 Pirinç (anlık)	0.56	0.62	0.63	0.64
% 5 Kireç + %20 Pirinç (1 gün)	0.26	0.31	0.31	0.32
% 5 Kireç + %20 Pirinç (7 gün)	0.02	0.02	0.03	0.03
% 5 Kireç + %20 Pirinç (28gün)	0.02	0.03	0.03	0.03

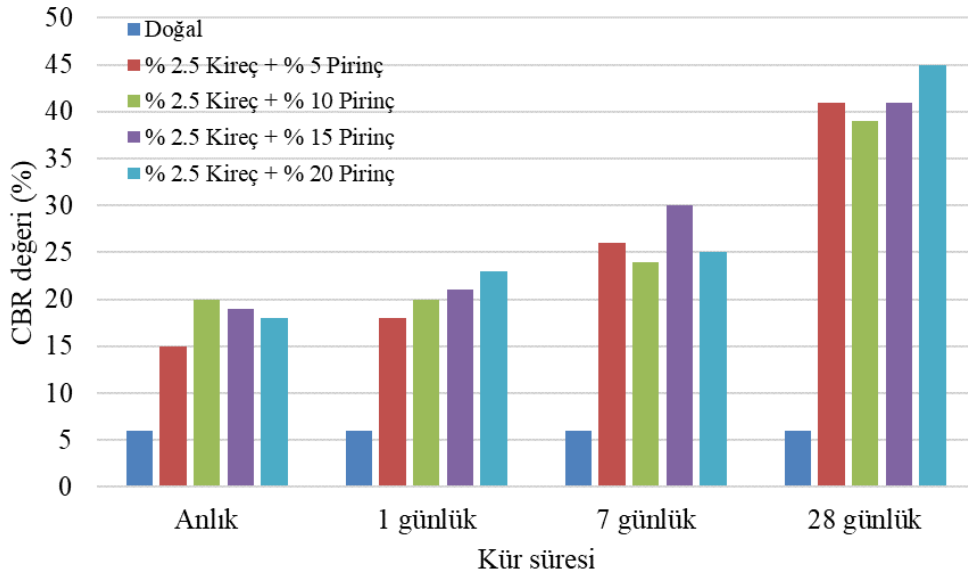
Çizelge 4.17’de açık olarak görüldüğü üzere doğal zemin için serbest şişme değeri 1.45 cm değerinden iyileştirme sonrasında 0.01 cm değerine kadar düşüş göstermiştir. Pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin neredeyse hiç şişme göstermemiştir diyebiliriz.

Şişme değerleri okunan CBR numunelerinin CBR değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla numuneler basınç deneyine tabii tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen CBR değerleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18 : % 2.5 kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri

Numune Adı	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	6	6	6	6
% 2.5 Kireç + % 5 pirinç k. k.	15	18	26	41
% 2.5 Kireç + % 10 pirinç k.k	20	20	24	39
% 2.5 Kireç + % 15 pirinç k.k.	19	21	30	41
% 2.5 Kireç + % 20 pirinç k.k.	18	23	25	45

Şekil 4.14’de deneyler sonucunda elde edilen CBR değerleri grafik olarak verilmiştir. Grafikten de açık olarak görüleceği gibi 28 günlük kür süresi sonunda CBR değerlerinde yaklaşık 8 kata varan artışlar görülmüştür.



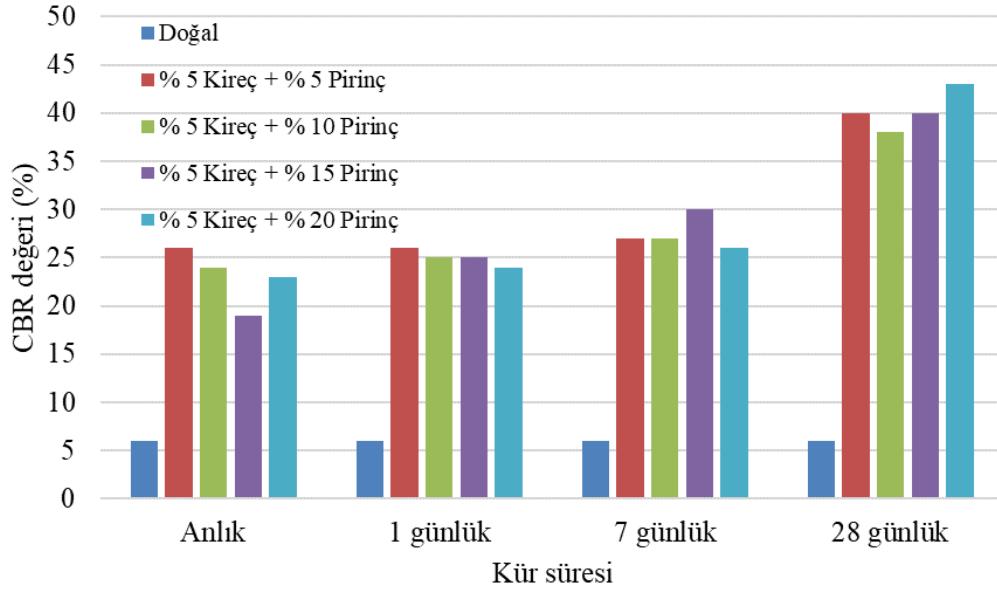
Şekil 4.19 : % 2.5 kireç + pirinç kabuğu külü katılmış zeminin CBR değerleri

% 5 Kireç + farklı oranlarda pirinç kabuğu külü katılması sonucunda elde edilen deney sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19 : % 5 kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirme sonucu elde edilen CBR değerleri

Numune Adı	Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Doğal	6	6	6	6
% 5 Kireç + % 5 Pirinç	26	26	27	40
% 5 Kireç + % 10 Pirinç	24	25	27	38
% 5 Kireç + % 15 Pirinç	19	25	30	40
% 5 Kireç + % 20 Pirinç	23	24	26	43

Şekil 4.20’de deneyler sonucunda elde edilen CBR değerleri grafik olarak verilmiştir. Grafikten de açık olarak görüleceği gibi 28 günlük kür süresi sonunda CBR değerlerinde yaklaşık 8 kata varan artışlar görülmüştür.



Şekil 4.20 : % 5 kireç + pirinç kabuğu külü katılmış zeminin CBR değerleri

4.4.4 Permeabilite deney verileri

Kireç + pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zeminlerin permeabilite değerlerindeki değişimin incelenmesi amacıyla zemin numuneleri düşen seviyeli permeabilite deneyine tabii tutulmuştur. Zemine % 2.5 ve % 5 kireç artı % 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu külü katıldıktan sonra, kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen optimum su muhtevasında standart kompaksiyon enerjisinde sıkıştırılmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin suya doymun hale getirilmesi yaklaşık 7 gün

sürmüştür. Zemin suya doyurulduktan sonra farklı sürelerde okuma alınarak deneyler tamamlanmış ve geçirimsizlikleri bulunmuştur.

Düşen seviyeli permeabilite deneyi % 2.5 kireç ve farklı oranlarda pirinç kabuğu ile iyileştirilmiştir. Zemin numuneleri için deney 5 sefer tekrarlanmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.20, Çizelge 4.21, Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.20 : % 2.5 kireç + % 5 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	3.96772E-04
Deney 2	3.46109E-04
Deney 3	3.02559E-04
Deney 4	3.70994E-04
Deney 5	2.82074E-04
Ortalama	3.39702E-04

Deney sonuçları incelendiğinde permeabilite katsayısı değeri % 2.5 kireç + % 5 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesinde 3.39702 E-04 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.21 : % 2.5 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	1.76035E-05
Deney 2	5.69545E-05
Deney 3	2.71079E-05
Deney 4	2.06083E-05
Deney 5	2.14589E-05
Ortalama	2.87466E-05

Permeabilite katsayısı değeri % 2.5 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesi için ise 2.87466 E-05 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.22 : % 2.5 kireç + % 15 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	4.98421E-05
Deney 2	4.96743E-05
Deney 3	4.51137E-05
Deney 4	5.01385E-05
Deney 5	4.30210E-05
Ortalama	4.75579E-05

Permeabilite katsayısı değeri % 2.5 kireç + % 15 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesi için ise 4.75579 E-05 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.23 : % 2.5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	3.70590E-04
Deney 2	2.74953E-04
Deney 3	2.58459E-04
Deney 4	2.90669E-04
Deney 5	2.65287E-04
Ortalama	2.91991E-04

Permeabilite katsayısı değeri % 2.5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesi için ise 2.91991 E-04 cm/sn olarak bulunmuştur.

Düşen seviyeli permeabilite deneyi % 5 kireç ve farklı oranlarda pirinç kabuğu ile iyileştirilmiştir. Zemin numuneleri için deney 5 sefer tekrarlanmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.24, Çizelge 4.25, Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.24 : % 5 kireç + % 5 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	4.53975E-05
Deney 2	4.78556E-05
Deney 3	4.58483E-05
Deney 4	4.98140E-05
Deney 5	4.86478E-05
Ortalama	4.75126E-05

Deney sonuçları incelendiğinde permeabilite katsayısı değeri % 5 kireç + % 5 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesinde 4.75126 E-05 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.25 : % 5 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	5.20229E-04
Deney 2	5.27788E-04
Deney 3	5.63091E-04
Deney 4	5.24075E-04
Deney 5	5.36587E-04
Ortalama	5.34354E-04

Permeabilite katsayısı değeri % 5 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesi için ise 5.34354 E-05 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.26 : % 5 kireç + % 15 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	7.61904E-06
Deney 2	9.84722E-06
Deney 3	7.12734E-06
Deney 4	5.94542E-06
Deney 5	6.42957E-06
Ortalama	7.39372E-06

Permeabilite katsayısı değeri % 5 kireç + % 15 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesi için ise 7.39372 E-06 cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.27 : % 5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin için permeabilite katsayıları

Deney No	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
Deney 1	3.38579E-04
Deney 2	3.55281E-04
Deney 3	3.98512E-04
Deney 4	3.21731E-04
Deney 5	3.32910E-04
Ortalama	3.49403E-04

Permeabilite katsayısı değeri % 5 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü ile iyileştirilmiş zemin numunesi için ise 3.49403 E-04 cm/sn olarak bulunmuştur.

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilerin birbirleri ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Grafiklerde kullanılan numune isimlerinin uzun olması ve grafiklerde bir çok verinin birbiri ile karşılaştırabilmesi amacıyla numuneler isimlendirilmiştir. Çizelge 5.1’de zemin iyileştirmesinde kullanılan kireç ve pirinç kabuğu külü yüzdeleri ve deneysel çalışmada kullanılan isimlendirmeler verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Numunelerin isimlendirilmesi

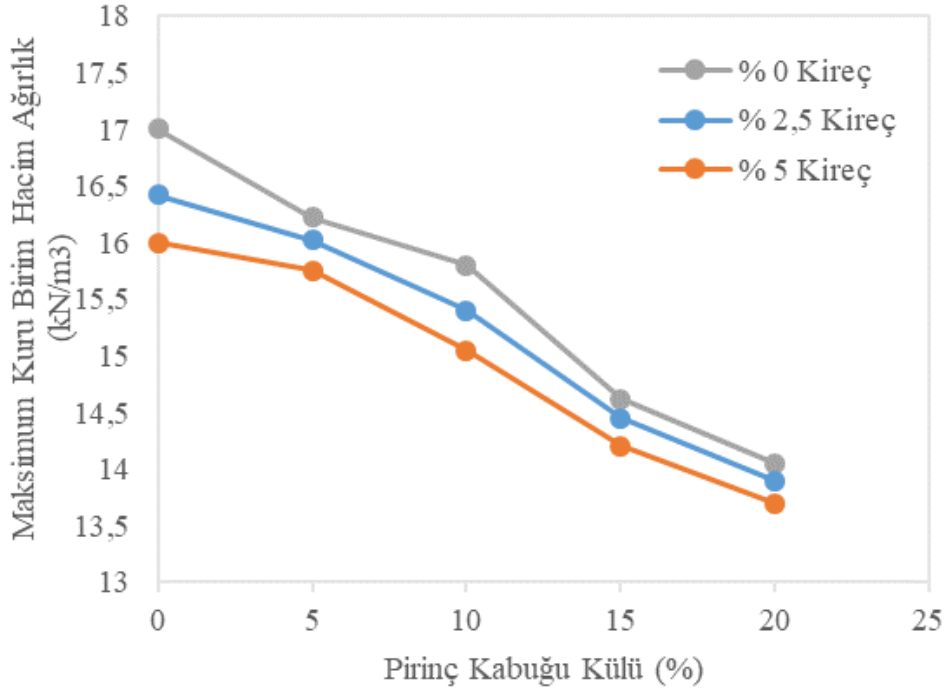
Numune Adı	Kireç (%)	Pirinç Kabuğu Külü (%)
K0P0	0	0
K0P5	0	5
K0P10	0	10
K0P15	0	15
K0P20	0	20
K2.5P0	2,5	0
K2.5P5	2,5	5
K2.5P10	2,5	10
K2.5P15	2,5	15
K2.5P20	2,5	20
K5P0	5	0
K5P5	5	5
K5P10	5	10
K5P15	5	15
K5P20	5	20

Örnek vermek gerekirse K5P5 isimlendirmesi zemin numunesine % 5 kireç ve % 5 pirinç kabuğu külü katılması durumunu temsil etmektedir.

5.1 Kompaksiyon Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri toplu halde Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.1’de pirinç kabuğu külü ile maksimum birim hacim ağırlık

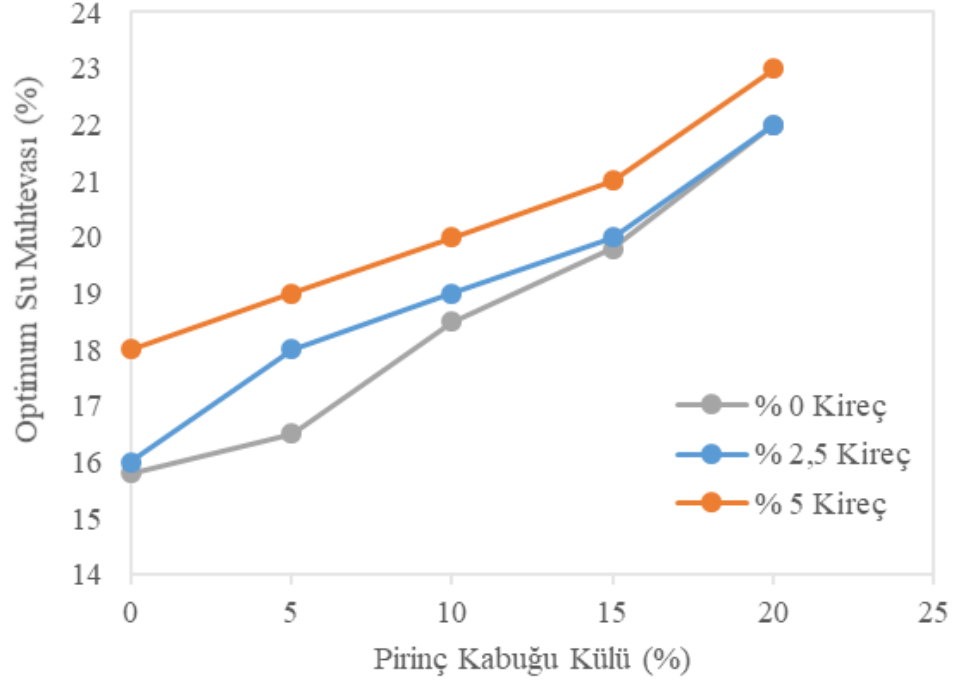
arasındaki değişim doğal numune, % 2.5 kireç katkılı ve % 5 kireç katkılı numuneler için gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Pirinç kabuğu külü ile maksimum birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

Şekil 5.1'deki değişim incelendiğinde doğal zemine kireç katılması ile birlikte maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin 17 kN/m^3 değerinden yaklaşık 16 kN/m^3 değerine düştüğü gözlemlenmektedir. Doğal zemin, % 2.5 kireç katkılı zemin ve % 5 kireç katkılı zemin numunelerine pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte her üç durum içinde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma eğilimi görülmektedir. En düşük maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin zemine % 5 kireç ve % 20 pirinç kabuğu külünün birlikte katılması durumunda, en büyük maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin ise zeminin doğal durumunda meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 5.2'de ise doğal zemin, % 2.5 kireç katkılı zemin ve % 5 kireç katkılı zemin için pirinç kabuğu külü ile optimum su muhtevası arasındaki değişim gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, zemine kireç, pirinç kabuğu külü ve her iki katkının bir arada katılması ile birlikte optimum su muhtevası değerlerinin arttığı görülmektedir. En düşük optimum su muhtevası zeminin doğal halinde, en yüksek optimum su muhtevası değeri ise zemine % 5 kireç ve % 20 pirinç kabuğu külünün birlikte katılması durumunda oluşmuştur.

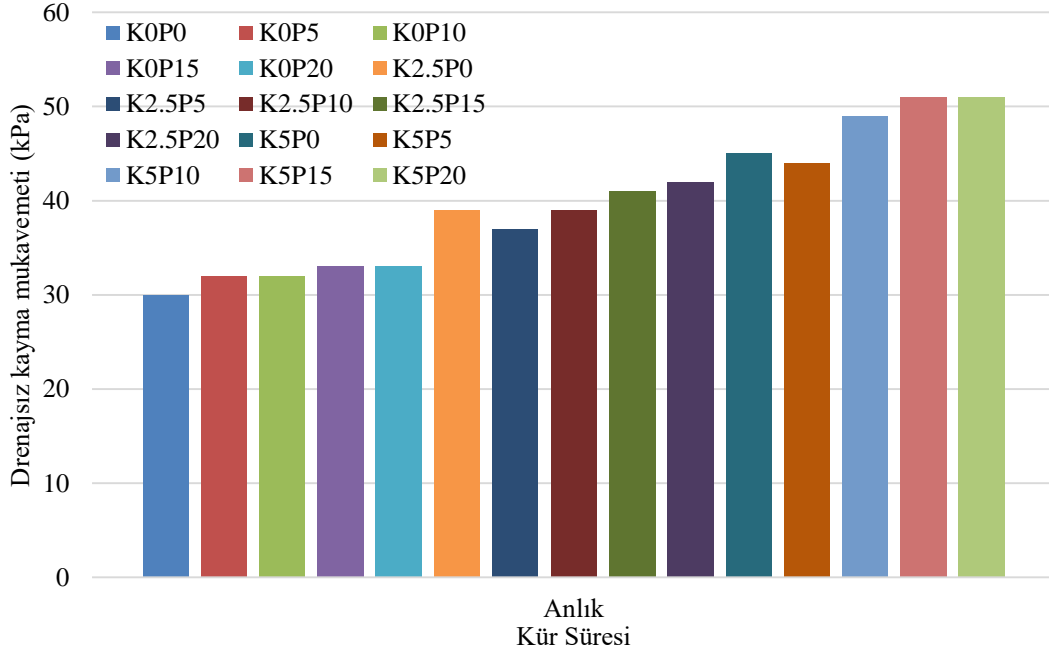


Şekil 5.2 : Pirinç kabuğu külü ile optimum su muhtevası arasındaki ilişki

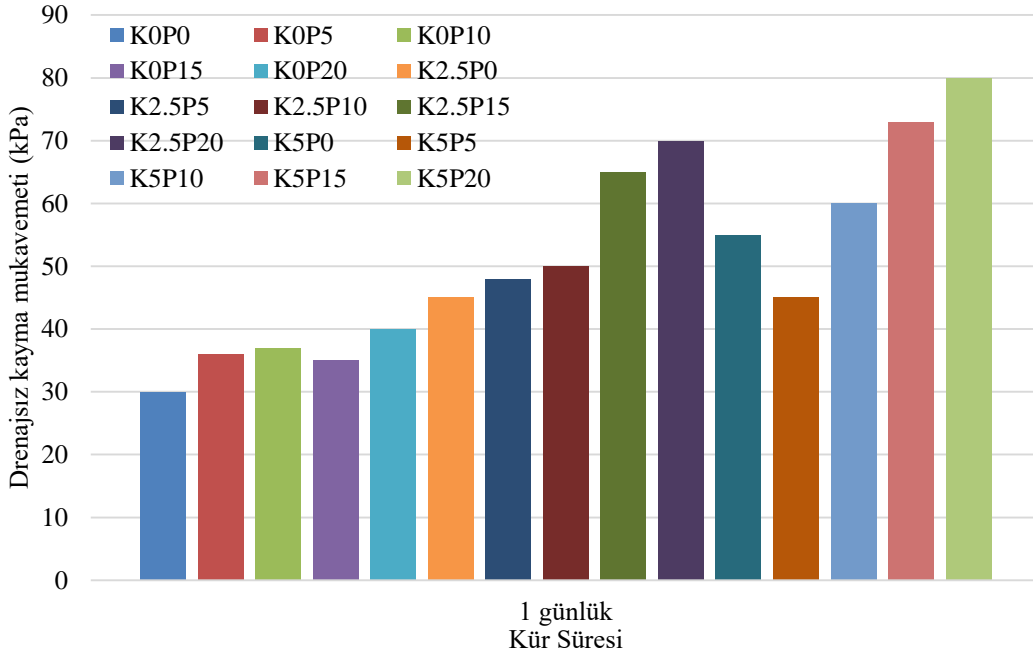
5.2 Serbest Basınç Deneş Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Serbest basınç deneyleri sonucunda hesaplanan drenajsız kayma mukavemeti değerleri tüm karışımlar için karşılaştırmalı bir şekilde Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.3'te anlık, Şekil 5.4'te 1 günlük, Şekil 5.5'te 7 günlük, Şekil 5.6'da 28 günlük kür süreleri sonunda elde edilen serbest basınç mukavemeti sonuçları verilmiştir.

Şekil 5.3'te görüldüğü üzere zemine farklı oranlarda katkı katılmasıyla birlikte drenajsız kayma mukavemeti değerinde yaklaşık 2 kata varan artışlar meydana gelmiştir.

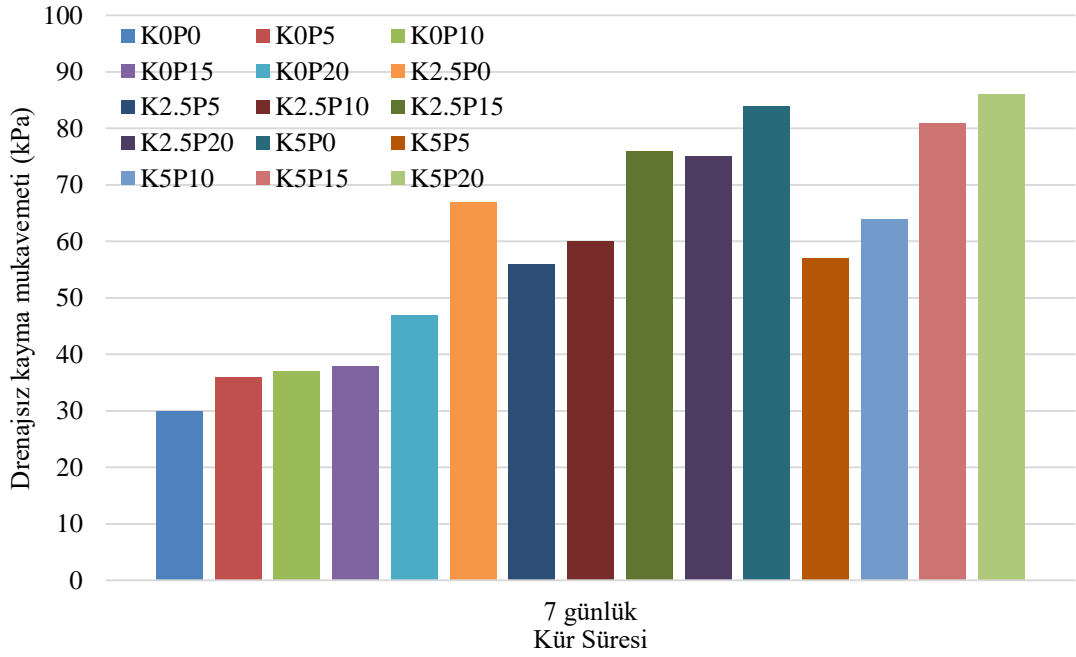


Şekil 5.3 : Farklı karışımlar için anlık drenajsız kayma mukavemeti değerleri



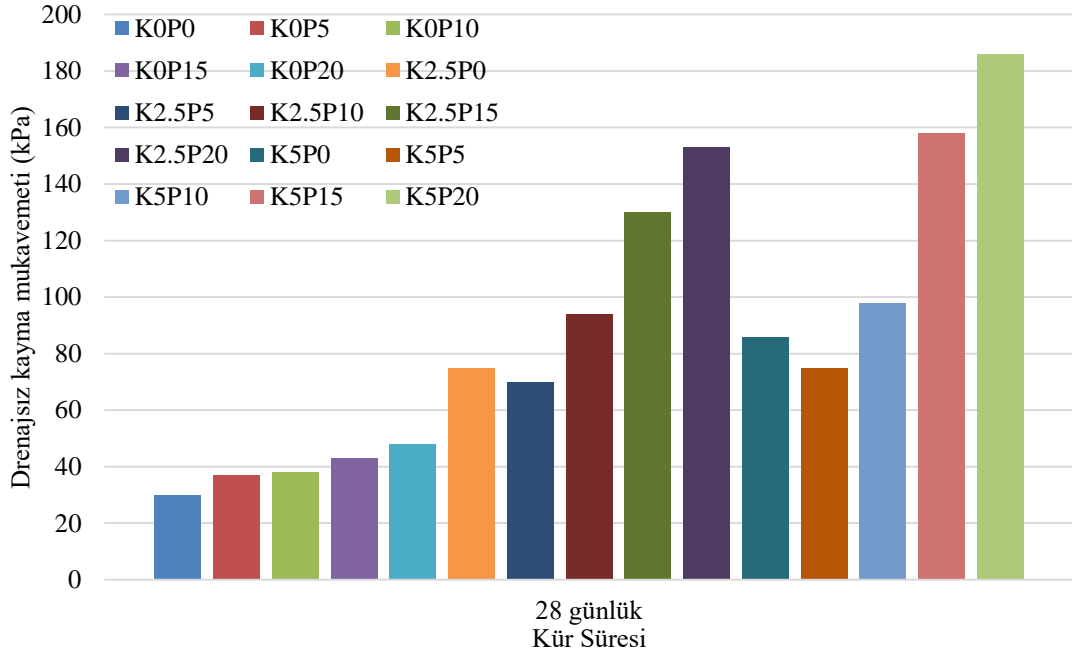
Şekil 5.4 : Farklı karışımlar için 1 günlük drenajsız kayma mukavemeti değerleri

Şekil 5.4'te incelendiğinde ise zemine farklı oranlarda katkı katılmasıyla birlikte 1 günlük kür süresi sonunda belirlenen drenajsız kayma mukavemeti değerinde yaklaşık 3 kata varan artışlar meydana gelmiştir.



Şekil 5.5 : Farklı karışımlar için 7 günlük drenajsız kayma mukavemeti değerleri

Şekil 5.5’ incelendiğinde 7 günlük kür süresi sonunda elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerinde yaklaşık 3 kata varan artışlar meydana gelmiştir



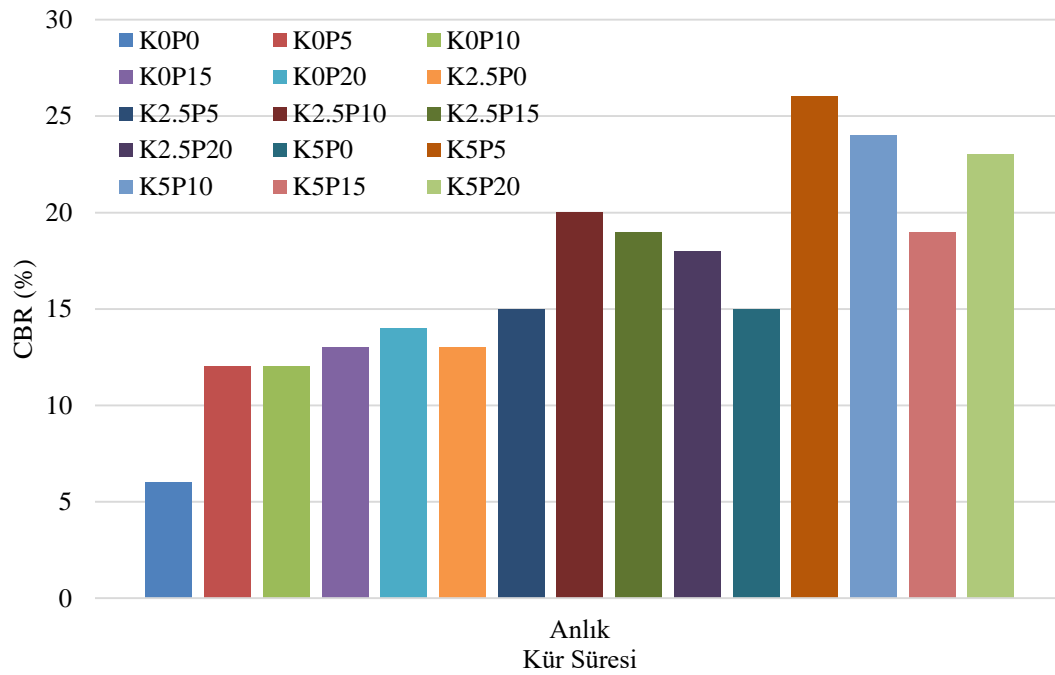
Şekil 5.6 : Farklı karışımlar için 28 günlük drenajsız kayma mukavemeti değerleri

Şekil 5.6’da 28 günlük kür süresi sonunda elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri verilmiştir. Drenajsız kayma mukavemeti değerlerinde yaklaşık 6 kata varan artışlar meydana gelmiştir

5.3 CBR Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

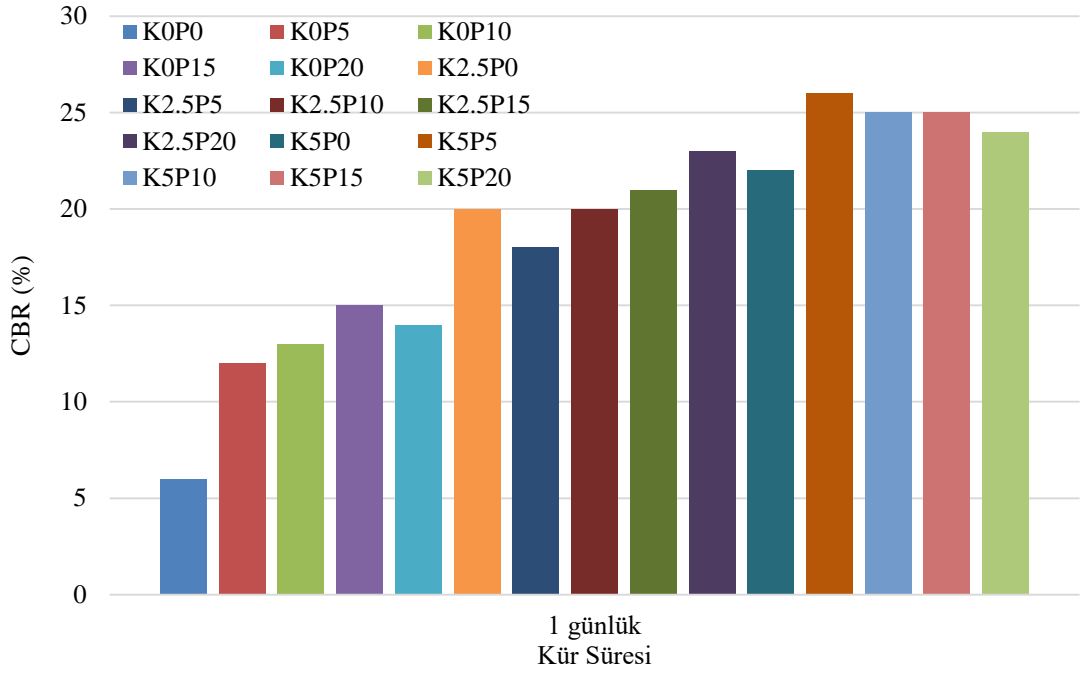
CBR deneyleri sonucunda belirlenen CBR değerleri tüm karışımlar için karşılaştırmalı bir şekilde Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekil 5.7'te anlık, Şekil 5.8'te 1 günlük, Şekil 5.9'da 7 günlük, Şekil 5.10'da 28 günlük kür süreleri sonunda elde edilen serbest basınç mukavemeti sonuçları verilmiştir.

Şekil 5.7'de görüldüğü üzere zemine farklı oranlarda katkı katılmasıyla birlikte CBR değerinde yaklaşık 5 kata varan artışlar meydana gelmiştir.



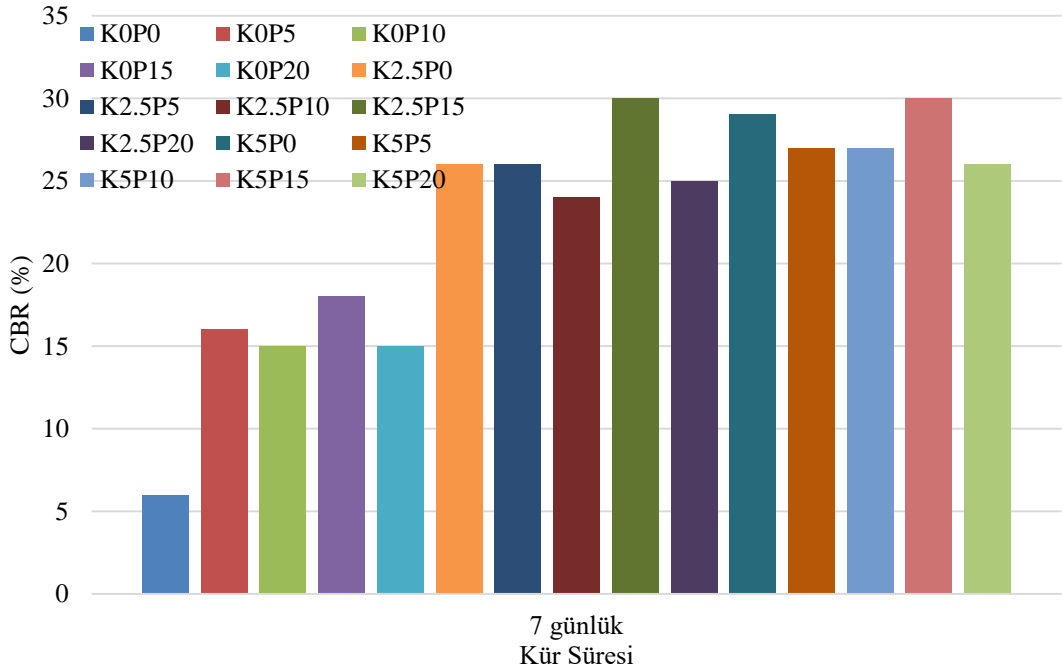
Şekil 5.7 : Farklı karışımlar için anlık CBR değerleri

Şekil 5.8 incelendiğinde ise zemine farklı oranlarda katkı katılmasıyla birlikte 1 günlük kür süresi sonunda belirlenen CBR değerinde anlık CBR değerlerinde olduğu gibi yaklaşık 5 kata varan artışlar meydana gelmiştir.

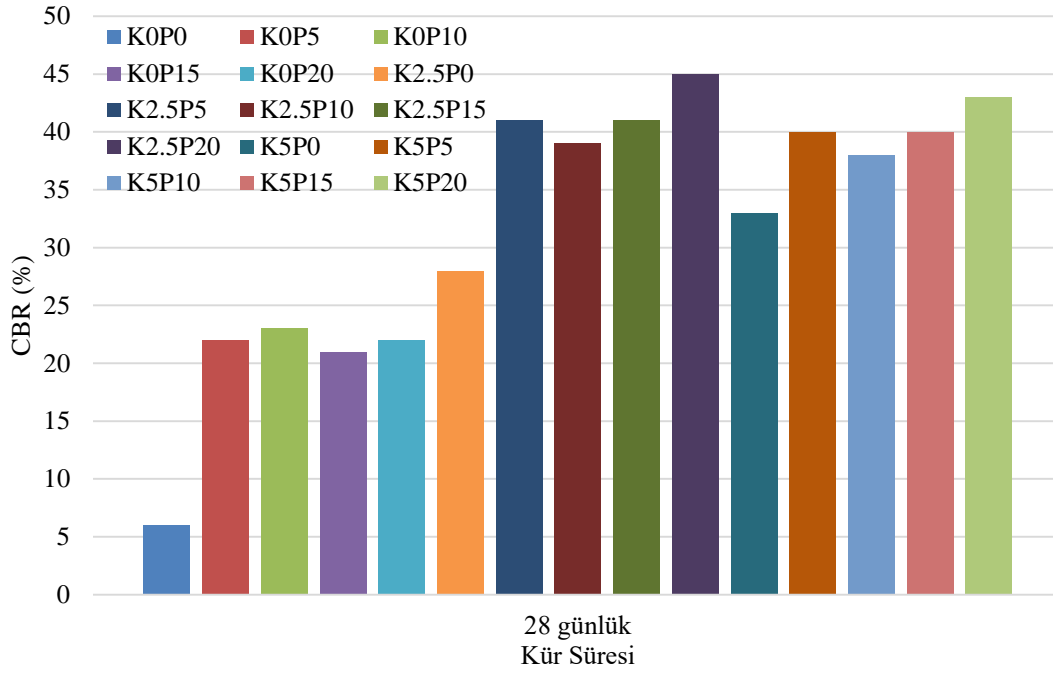


Şekil 5.8 : Farklı karışımlar için 1 günlük CBR değerleri

Şekil 5.9 incelendiğinde ise zemine farklı oranlarda katkı katılmasıyla birlikte 7 günlük kür süresi sonunda belirlenen CBR değerinde yaklaşık 6 kata varan artışlar meydana gelmiştir.



Şekil 5.9 : Farklı karışımlar için 7 günlük CBR değerleri



Şekil 5.10 : Farklı karışımlar için 28 günlük CBR değerleri

Şekil 5.10 incelendiğinde ise zemine farklı oranlarda katkı katılmasıyla birlikte 28 günlük kür süresi sonunda belirlenen CBR değerinde yaklaşık 8 kata varan artışlar meydana gelmiştir.

5.4 Permeabilite Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Permeabilite deney sonuçları toplu halde Çizelge 5.2’de verilmiştir. Zemine kireç katılmasıyla birlikte geçirgenliğinde bir miktar düşüş gerçekleşmiştir. Buna karşın zemine pirinç kabuğu külü katılmasıyla birlikte zeminin geçirgenliğinde artış meydana gelmiştir. Her iki katkının bir arada kullanılması ile birlikte zeminin geçirgenliği azalmıştır.

Çizelge 5.2 : Farklı katkıları için elde edilen permeabilite katsayıları

Numune Adı	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
K0P0	1,34E-05
K0P5	7,23E-04
K0P10	1,47E-04
K0P15	2,63E-03
K0P20	2,76E-03
K2.5P0	1,31E-05
K2.5P5	3,40E-04
K2.5P10	2,87E-05

Numune Adı	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
K2.5P15	4,76E-05
K2.5P20	2,92E-04
K5P0	1,27E-05
K5P5	4,75E-05
K5P10	5,34E-04
K5P15	7,39E-06
K5P20	3,49E-04

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan kompaksiyon deney sonuçları incelendiğinde zemine kireç, pirinç kabuğu külü ve pirinç kabuğu külü + kireç katılması halinde sıkışma için gerekli olan optimum su muhtevası değerlerinin katkı miktarları ile paralel bir şekilde arttığı maksimum birim hacim ağırlığı değerlerinin ise azaldığı görülmüştür.

Serbest basınç deney sonuçları, zemine kireç ve pirinç kabuğunun ayrı ayrı veya bir arada katılması durumlarında dayanımlarında ciddi oranda artış meydana geldiğini göstermiştir. Pirinç kabuğu külünün tek başına kullanılması durumunda bu artışın kayda değer bir oranda gerçekleşmediği fakat iyi bir puzolan olması nedeniyle kireç ile birlikte katıldığında dayanımdaki artışın oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

CBR değerleri incelendiğinde, dayanımın serbest basınç deney sonuçlarına paralel bir şekilde artış gösterdiği yine dayanımdaki en yüksek artışın her iki katkının bir arada kullanılması durumunda gerçekleştiği anlaşılmıştır. Kür süresi ile birlikte hem serbest basınç dayanımlarında hem de CBR değerlerinde artışın devam ettiği görülmektedir.

Zeminin serbest şişme değerleri incelendiğinde zemine katkı katılması durumunda şişme değerlerinde kayda değer düşüşler meydana geldiği hatta zeminin katkılar sonrasında hiç şişme yapmadığı söylenebilir.

Zemine kireç katılması durumunda zeminin geçirgenliğinde büyük bir farklılık olmadığı, pirinç kabuğu külü katılmasıyla birlikte ise geçirgenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Her iki katkı bir arada kullanıldığında ise zeminin geçirgenliğinin azaldığı görülmüştür.

Çalışma sonucunda hem çevresel hem ekonomik yönden düşünüldüğünde pirinç kabuğu külünün zemin iyileştirmesinde kullanılmasının oldukça faydalı olacağı açık olarak görülmektedir. Trakya'da bulunan ve atıl bir şekilde duran pirinç kabuklarının yakılması ile birlikte ortaya çıkan enerji ve bu işlem sonucunda atık olarak ortaya çıkacak pirinç kabuğu külünün zemin iyileştirmesinde kullanılması hem çevreye hem de ekonomimize katkıda bulunacaktır.

Bundan sonraki çalışmalarda aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Bu tez kapsamında sıkıştırma işlemleri standart kompaksiyon enerjisi ile yapılmıştır. İlerleyen çalışmalarda modifiye kompaksiyon enerjisinin kullanılması ve dayanım deneylerinin bu enerjiyle yapılması faydalı olacaktır.
- Çalışma kapsamında ince dane oranı yüksek bir zemin iyileştirilmiştir. İlerleyen çalışmalarda granüler zeminler üzerinde pirinç kabuğu külü ve çimento katkıları kullanılarak çalışmalar yapılması ve pirinç kabuğu külünün farklı zeminler üzerinde etkisi incelenmelidir.
- Bu tez kapsamında mineral yapı ile ilgili çalışmalara yer verilememiştir. İlerleyen çalışmalarda X-Ray ve SEM deneyleri yapılarak mineral yapısındaki değişimler incelenebilir.
- Tez kapsamında permeabilite katsayısındaki değişim bir çok deney yapılmasına rağmen tam olarak ortaya koyulamamıştır. Kireç ile iyileştirme ve pirinç kabuğu külü+kireç ile yapılan iyileştirme zamanla devam eden bir iyileştirme yöntemidir. Bu sebeple ilerleyen çalışmalarda kür süresine bağlı olarak permeabilite değerindeki değişimlerin incelenmesi şiddetle önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kavak, A., Yılmaz, C., Keskin, E., Mutman, U.,** (2003), Yüksek Su Muhtevasında Killi Bir Zeminin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi ve Yol Kesitine Etkileri, XI: Kil Sempozyumu, İzmir.
- [2] **Çıragöz, M.** (1962) Yol İnşaatında Kireç Stabilizasyonu, Türkiye Mühendislik Haberleri, **86**, 13-15.
- [3] **Özaydın, K.,** (2012), Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Ondördüncü Ulusal Kongresi, İstanbul .
- [4] **Kavak, A., Keskin, E., Yılmaz, C., Mutman, U.,** (2005), Lime Stabilization and Its Effects on Road Cross-Section, Proceedings of International Conference on Problematic Soils, Famagusta, North Cyprus.
- [5] **Özdemir, M.** (2007) Zayıf Zeminlerin İyileştirilmesi ve Son Yıllarda Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Zemin İyileştirme Yöntemleri, Sondaj Dünyası, Sayı **3**, Ocak
- [6] **Das, B.** (2007), Principles of Foundation Engineering, 6th Edition, Thomson Learning.
- [7] **Kavak, A.** (1996) The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K.,** (2008), Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete, Construction and Building Materials, 22 (**8**), 1675-1683
- [9] **Mansaray, K. G., Ghaly, A. E.,** (1997), Physical and thermochemical properties of rice husk, Energy Sources, Part A: Recovery Utilization, and Environmental Effects, 19 (**9**), 989-1004
- [10] **Chandrasekhar, S., Satyanarayana K. G., Pramada, P. N., Raghavan, P., Gupta, T. N.,** (2003), Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk- An overview, Journal of Materials Science, 38 (**15**), 3159-3168
- [11] **Brooks, R. M.,** (2009), Soil Stabilization with FlyAsh and Rice Husk Ash, International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, 1 (**3**), 209-217.
- [12] **Kılıç, G.,** (2008), Çimento ile Zemin Stabilizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [13] **Çetin, A.Y.,** (2011), Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler ile Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [14] **Görhan, G., Demir, İ., Baspınar, M. S., Orhan, M., Evcin. A., Kumlutas, D., Kahraman, E.,** (2008), Ucucu Kulun Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanımının Araştırılması, Proje No: 106M002, TÜBİTAK Projesi.
- [15] **Şenol, A., Bm-Shafique, M.S., Edil, T.B., Benson, C.H.,** (2003), Use of Class C Fly Ash For Stabilization of Soft Subgrade, ARI The Bulletin of The

Istanbul Technical University, Vol:53, Pg:89-95, Istanbul Technical University, Istanbul.

- [16] **Şenol, A., Edil, T.B.,** (2004), Uçucu Kül ile Stabilize Edilen Yumuşak Zeminlerin CBR Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 275-280.
- [17] **Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B., Muntohar, A. S.,** (2005), Stabilization of Residual Soil with Rice Husk Ash and Cement, Construction and Building Materials, **19**, 448–453.
- [18] **Yadu , L., Tripathi, R. K., Singh, D.,** (2011), Comparison of Fly Ash and Rice Husk Ash Stabilized Black Cotton Soil, International Journal of Earth Sciences and Engineering, ISSN 0974-5904, Volume **04**, No 06 SPL, October 2011, pp. 42-45.
- [19] **Muntohar, A. S., Widiarti, A., Hartono, E., ve Diana, W.,** (2013), Engineering Properties of Silty Soil Stabilized with Lime and Rice Husk Ash and Reinforced with Waste Plastic Fiber, Journal of Materials in Civil Engineering, 2013, 25 (**9**): 1260-1270.
- [20] **Hossain, K. M. A.,** (2011), Stabilized Soils Incorporating Combinations of Rice Husk Ash and Cement Kiln Dust, , Journal of Materials in Civil Engineering ., 2011, 23 (**9**): 1320-1327.
- [21] **Brooks, R.M.,** (2009), Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash, International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, ISSN: 2076-734X, EISSN: 2076-7366 Volume **1**, Issue 3 (December 2009), 209-217.
- [22] **Alhassan, M., Mustapha, A.M.,** (2007), Effect of Rice Husk Ash on Cement Stabilized Laterite, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, ISSN 1583-1078 Issue 11, July-December 2007 p. 47-58.
- [23] **Sarkar, G., Islam, R., Alamgir, M., Rokonuzzaman,** (2012), Interpretation of Rice Husk Ash on Geotechnical Properties of Cohesive Soil, Global Journal of Researches in Engineering (E), Volume **XII** Issue VII Version I.
- [24] **Ali, H.F., Adnan, A., ve Choy, C.K.,** (1992), Geotechnical Properties of A Chemically Stabilized Soil from Malaysia With Rice Husk Ash as an Additive, Geotechnical and Geological Engineering, 1992, **10**, 117-134.
- [25] **Choobbasti, A. J.ve diğ.,** (2010), Influence of Using Rice Husk Ash in Soil Stabilization Method With Lime, Front. Earth Sci. China 2010, 4(**4**): 471–480.
- [26] **Bagheri, Y., Ahmad, F., Ismail, M.A.M.,** (2014), Strength and Mechanical Behavior of Soil–Cement–Lime–Rice Husk Ash (Soil–CLR) Mixture, Materials and Structures 47:55–66.
- [27] **Roy, A.,** (2014), Soil Stabilization using Rice Husk Ash and Cement, International Journal of Civil Engineering Research, Research India Publications, ISSN 2278-3652 Volume **5**, Number **1** (2014), pp. 49-54.

- [28] **Keskin**, (2004), Kireç Stabilizasyonu ve Yol Kesitine Etkileri, Kocaeli Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi.
- [29] **Jauberthie, R., Rendell, F., Rangeard, D. and Molez, L.**, (2010), Stabilisation of estuarine silt with lime and/or cement, *Applied Clay Science*, **50**, 395–400.
- [30] **Athanasopoulou, A.**, (2014), Addition of Lime and Fly Ash to Improve Highway Subgrade Soils, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **26**, 773-775.
- [31] **Rout, R. K., Ruttanapormakul, P., Valluru, S. and Puppala, A. J.**, (2012), Resilient Moduli Behavior of Lime-Cement Treated Subgrade Soils, *GeoCongress 2012, ASCE2012*, 1428-1437.
- [32] **Kavak, A. and Baykal, G.**, (2012), Long-term behavior of lime-stabilized kaolinite clay, *Environmental Earth Sciences*, **66**, 1943-1955.
- [33] **Kavak, A. and Akyarlı, A.**, (2007), A field application for lime stabilization, *Environmental Geology*, **51**, 987-997.
- [34] **Öztürk Y. Z., Ünsal N., Akbaş S. O.**, (2015), Gölbaşı (Ankara) Yerleşim Alanını Killerinin Şişme ve Kireç ile İyileştirilme Potansiyellerinin Belirlenmesi, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol **30**, No 2, 309-318.
- [35] **Bozbey, İ., Garaysayev, S.**, (2010), Zemin Ufalama Kalitesinin Kireç Stabilizasyonuna Etki Seviyesinin İncelenmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi, İstanbul Kültür Üniversitesi*, S.863-876.
- [36] **Kavak, A., Güngör A. G, Avşar C., Yönter G., Tokgöz M.**, (2009), Akyarlı A., Kil Oranı Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç ile Stabilizasyonu, *14. Ulusal Kil Sempozyumu, KTÜ, Trabzon-Türkiye*.
- [37] **Sakr, M. A., Shahin M. A., Metwally Y., M.**, (2009), Utilization of Lime for Stabilizing Soft Clay Soil of High Organic Content, *Geotech Geol Eng* (2009) 27:105–113.
- [38] **Türköz, M.**, (2006), Şişen Killerin Kireç Katkısı İle Stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik Killerine Uygulanması, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi C.XIX*, S.2.
- [39] **Ghobadi, M., H., Abdilor, Y., Babazadeh, R.**, (2014), Stabilization of Clay Soils Using Lime and Effect of pH Variations on Shear Strength Parameters, *Bull Eng Geol Environ* (2014) 73:611–619.
- [40] **Schanz, T., Elsayy, M., B., D.**, (2015), Swelling Characteristics and Shear Strength of Highly Expansive Clay–Lime Mixtures: A Comparative Study, *Arab J Geosci* (2015) 8:7919–7927.
- [41] **Karatai, T., R., Kaluli, J.W., Kabubo, C.**, (2017), Thiong'o, G., Soil Stabilization Using Rice Husk Ash and Natural Lime as an Alternative to Cutting and Filling in Road Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(5).
- [42] **Rahman, M., A.**, (1987), A Comparative Study of the Potentials of Rice Husk Ash on Cohesive and Cohesionless Soils, *Building and Environment*, 22(4), 331-337.

- [43] **Anupam, A., K., Kumarb, P., G. D. Ransinchung R. N.,** (2016), Effect of Fly Ash and Rice Husk Ash on Permanent Deformation Behaviour of Subgrade Soil under Cyclic Triaxial Loading Transportation Research Procedia, **17**, 596 – 606.
- [44] **Adhikary, S., Nandy, S., Roy, R., Bosu, S., Daulla, S.S.,** Behavior of Clayey Soil Stabilized With Rice Husk Ash & Lime, OSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE),14-18
- [45] **Choobbasti, A.J., Ghodrat, H., Vahdatirad, M.J., Firouzian, S., Barari, A., Torabi, M., Bagherian, A.,** (2010), Influence of using rice husk ash in soil stabilization method with lime, Frontiers of Earth Science in China, **4(4)**, 471–480.
- [46] **Rahman, Z.A., Ashari, H.H., Sahibin, A.R., Tukimat, L., Razi, İ.W.M.,** (2014), Effect of Rice Husk Ash Addition on Geotechnical Characteristics of Treated Residual Soil American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., **14 (12)**, 1368-1377.
- [47] **Prakash, J., Kumari, K., Kumar, V.,** (2017), Stabilization of Soil Using Rice Husk Ash, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, **6 (7)**, 12997-13003.
- [48] **Muntohar, A.S.,** (2005), The Influence of Molding Water Content and Lime Content on The Strength of Stabilized Soil with Lime and Rice Husk Ash, Civil Engineering Dimension, **7(1)**, 1-5.
- [49] **Okafor, F.O., Okonkwo, U.N.,** (2009), Effects of Rice Husk Ash on Some Geotechnical Properties of Lateritic Soil, Nigerian Journal of Technology, **28 (1)**, 46-52.
- [50] **Subrahmanyam, M.S., Cheran, L.L., Cheran, L.S.,** (1981), Use of rice husk ash for soil stabilization, Geological Society of Malaysia, Bulletin **14**,143-151.
- [51] **Eberemu, A.O., Omajali, D.I., Abdulhamid, Z.,** (2016), Effect of Compactive Effort and Curing Period on the Compressibility Characteristics of Tropical Black Clay Treated with Rice Husk Ash Geotechnical and Geological Engineering, **34**, 313–322.
- [52] **Alhassan, M.,** (2008), Potentials of Rice Husk Ash for Soil Stabilization, AU J.T., **11(4)**, 246-250.
- [53] **Muntohar, A.S., Hantoro, G.,** (2000), Influence of rice husk ash and lime on engineering properties clayey subgrade, Electronic Journal of Geotechnical Engineering(EJGE),**5**.
- [54] **Raj R. R., Banupriya, S., Dharani, R.,** (2016), Stabilization of soil using Rice Husk Ash, International Journal of Computational Engineering Research (IJCER), **6(2)**, 43-50.
- [55] **ASTM D422-63e2,** (2007), Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils (Withdrawn 2016), ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [56] **ASTM D4318-17e1,** (2017), Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.

- [57] **ASTM D854-14**, (2014), Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [58] **ASTM D5084-03**, (2003), Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [59] **Eades, J., L., Grim, R., E.**, (1966). A quick test to determine lime requirements for lime stabilization. Highway Research. Record 139.
- [60] **ASTM D6276-19**, (2019), Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : **Turgut AYGÜN**

Doğum Yeri ve Tarihi : **İstanbul / 09.12.1993**

E-Posta : **turgut.aygunnn@gmail.com**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012 - 2016, Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2016 – devam ediyor, Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Keskin E., Aygün T.,** (2019). Stabilization of Silty Soil with Lime and Rice Husk Ash and It's Effect on Soil Permeability, ISENSA, May, 2019 Kocaeli, Turkey. 99-103.
- **Keskin E., Aygün T., Yavan O., Şahinoğlu İ.,** (2019). Killi Bir Zeminin Pirinç Kabuğu Külü ile İyileştirilmesi ve Zemin Permeabilitesine Etkisi, IV Proje Pazarı, Kırklareli Üniversitesi.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER: