

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK PLASTİSİTELİ BİR KİLİN FARKLI KATKILAR KULLANILARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhat UZ

EYLÜL - 2023

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK PLASTİSİTELİ BİR KİLİN FARKLI KATKILAR KULLANILARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhat UZ

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZGÜR

EYLÜL 2023

YÜKSEK PLASTİSİTELİ BİR KİLİN FARKLI KATKILAR KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ adlı tez çalışması **Serhat UZ** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN
Kırklareli Üniversitesi

.....

Eş Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZGÜR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi İlker ŞAHİNOĞLU
Kırklareli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Temel TEMİZ
Yalova Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 15/09/2023

Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza
Serhat UZ
15/09/2023

ÖZET

YÜKSEK PLASTİSELİ BİR KİLİN FARKLI KATKILAR KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Serhat UZ

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN

Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZGÜR

Eylül 2023, 86 sayfa

Yüzyıllar boyunca, elverişsiz zeminlerin iyileştirilmesi, mühendislik uygulamalarında karşılaşılan önemli bir konu olmuştur. Yüzeyde ve derinde gerçekleştirilen iyileştirme yöntemleri, bu tür zeminlerin mukavemetini ve taşıma kapasitesini artırmak amacıyla geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu bağlamda, bu tez çalışması, özellikle yüksek plastisiteli killi bir zeminin iyileştirilmesinde kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü kullanımının etkilerini incelemektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında, zemin numunesinin temel geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Ardından, kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü gibi malzemelerin ayrı ayrı ve bir arada kullanılmasıyla zemin numunesi iyileştirilmiştir. Bu iyileştirme yöntemlerinin uygulanmasının ardından, zemin numuneleri üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler arasında kompaksiyon, serbest basınç ve CBR (California Bearing Ratio) deneyleri yer almaktadır.

Elde edilen deney sonuçları, zemin numunelerinin dayanımında gözlemlenen artışları detaylı bir şekilde analiz etmiştir. İyileştirme malzemelerinin farklı kombinasyonlarının ve dozajlarının zeminin taşıma özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışma, elverişsiz zeminlerin mühendislik uygulamalarında daha etkili bir şekilde kullanılabilmesi için önemli bilgiler sunmayı amaçlamaktadır. Bu bilgiler, gelecekteki altyapı projelerinde zemin iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Anahtar Kelimeler: Kireç stabilizasyonu, çimento stabilizasyonu, pirinç kabuğu külü, kayma mukavemeti, CBR

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF HIGH PLASTICITY CLAY USING VARIOUS ADDITIVES

Serhat UZ

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN

Co-supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZGÜR

Sep 2023, 86 pages

For centuries, the improvement of unsuitable soils has remained a crucial challenge in engineering practices. Surface and deep improvement methods offer a broad spectrum of applications to enhance the strength and bearing capacity of such soils. In this context, this thesis study examines the effects of utilizing lime, cement, and rice husk ash, particularly in the enhancement of high plasticity clay soil.

In the initial phase of the study, the fundamental geotechnical properties of the soil sample were determined. Subsequently, the soil sample underwent improvement through the separate and combined application of materials such as lime, cement, and rice husk ash. Following the implementation of these improvement methods, a series of experiments were conducted on the soil samples. These tests encompass compaction, unconfined compression, and CBR (California Bearing Ratio) tests.

The detailed analysis of the obtained test results focused on the observed increases in the strength of the soil samples. The study examined the effects of different combinations and dosages of improvement materials on the bearing properties of the soil. The primary objective of this research is to furnish crucial information to enable more effective utilization of unfavorable soils in engineering applications. Such insights can contribute significantly to the formulation of ground improvement strategies in future infrastructure projects.

Keywords: Lime stabilization, cement stabilization, rice husk ash, shear strength, CBR,

TEŞEKKÜR

Bilgi birikimi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, tüm tez sürecimde sonsuz destek ve anlayışlarıyla bana yol gösteren, araştırmak ve öğrenmekten sayelerinde keyif aldığım danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ Keskin'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜRDE KİREÇ, ÇİMENTO VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
3. MALZEME ve YÖNTEM	19
3.1. Deneyisel Çalışmada Kullanılan Malzemeler	19
3.1.1. İyileştirme çalışmasında kullanılan zemin numunesi	19
3.1.2. Kireç.....	20
3.1.3. Çimento.....	21
3.1.4. Pirinç kabuğu külü	22
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Elek Analizi	23
3.2.2. Kıvam Limitleri	23
3.2.3. Özgül Ağırlık	24
3.2.4. Kompaksiyon	24
3.2.5. Serbest Basınç	24
3.2.6. CBR	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25
4.1. Elek Analizi	25
4.2. Kıvam Limitleri	26
4.4 Kompaksiyon.....	28
4.5 Serbest Basınç Deneyi	36
4.6 CBR Deneyi.....	45

5. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
5.1. Elek Analizi Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
5.2. Kıvam Limitleri Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
5.3. Özgül Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	54
5.4. Kompaksiyon Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	55
5.5. Serbest Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	58
5.6. CBR Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	64
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	69



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 3.1. Zeminin bazı geoteknik özellikleri.....	20
Çizelge 3.2. Kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	20
Çizelge 3.3. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri	22
Çizelge 3.4. Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri	22
Çizelge 4.1. Katkısız ve katkılı zeminler için kıvam limitleri.....	27
Çizelge 4.2. Karışım yüzdesinin değişimine göre özgül ağırlık değerlerindeki değişim	28
Çizelge 5.1. Zeminin bazı geoteknik özellikleri.....	53

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 4.1. Katkısız zemine ait granülometri eğrileri	25
Şekil 4.2. Elek analizi deney sonuçları toplu gösterim	26
Şekil 4.3. K0P0C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	29
Şekil 4.4. K2P0C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	29
Şekil 4.5. K2P10C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	30
Şekil 4.6. K2P20C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	30
Şekil 4.7. K4P0C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	31
Şekil 4.8. K4P10C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	32
Şekil 4.9. K4P20C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	32
Şekil 4.10. K0P0C10 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	33
Şekil 4.11. K0P10C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	33
Şekil 4.12. K0P20C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	34
Şekil 4.13. K0P10C5 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	34
Şekil 4.14. K0P20C10 numunesine ait kompaksiyon eğrisi	35
Şekil 4.15. Tüm numuneler ait kompaksiyon eğrileri	36
Şekil 4.16. K0P10C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	36
Şekil 4.17. K0P20C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	37
Şekil 4.18. K2P0C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	38
Şekil 4.19. K2P10C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	38
Şekil 4.20. K2P20C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	39
Şekil 4.21. K4P0C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	39
Şekil 4.22. K4P10C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	40
Şekil 4.23. K4P20C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	41
Şekil 4.24. K0P0C5 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	41
Şekil 4.25. K0P10C5 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	42
Şekil 4.26. K0P20C5 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı.....	42
Şekil 4.27. Anlık kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı	43
Şekil 4.28. 1 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı	44
Şekil 4.29. 7 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı	44

Şekil 4.30. 28 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı	45
Şekil 4.31. 90 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı	45
Şekil 4.32. K0P0C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	46
Şekil 4.33. K0P10C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	47
Şekil 4.34. K0P20C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	47
Şekil 4.35. K2P0C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	48
Şekil 4.36. K2P10C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	48
Şekil 4.37. K2P20C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	49
Şekil 4.38. K4P0C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	49
Şekil 4.39. K4P10C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	50
Şekil 4.40. K4P20C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	50
Şekil 4.41. K0P0C5 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	51
Şekil 4.42. K0P10C5 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	51
Şekil 4.43. K0P20C5 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi.....	52
Şekil 5.1. Kireç ve pirinç kabuğu külüne bağlı özgül ağırlık değerleri.....	54
Şekil 5.2. Çimento miktarına bağlı özgül ağırlık değerleri	55
Şekil 5.3. Kireç ve pirinç kabuğu külü ile kompaksiyon parametrelerinin değişimi	56
Şekil 5.4. Çimento ve pirinç kabuğu külü ile kompaksiyon parametrelerinin değişimi	57
Şekil 5.5. Kireç ve pirinç kabuğu külü katkılı zeminlerin kür süresine bağlı serbest basınç mukavemetleri	61
Şekil 5.6. Çimento ve pirinç kabuğu külü katkılı zeminlerin kür süresine bağlı serbest basınç mukavemetleri	64
Şekil 5.7. Farklı oranlarda 90 gün kür sonunda kireç + pirinç kabuğu külü için CBR değerleri.....	65
Şekil 5.8. Farklı oranlarda çimento + pirinç kabuğu külü için CBR değerleri.....	66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 3.1. Deneysel çalışma kapsamında kullanılan zemin numunesi	19
Resim 3.2. Çalışma kapsamında kullanılan kirecin fotoğrafı.....	21
Resim 3.3. Çalışma kapsamında kullanılan çimentonun fotoğrafı	21
Resim 3.4. Çalışma kapsamında kullanılan pirinç kabuğu külünün fotoğrafı	23



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
----------	-------------

γ	Birim Hacim Ağırlık
----------	---------------------

Kısaltmalar	Açıklamalar
-------------	-------------

A-7-6	Yüksek Plastisiteli Kil
-------	-------------------------

A-7-5	Yüksek plastisiteli Kil
-------	-------------------------

CAH	Kalsiyum Alüminat
-----	-------------------

Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
---------------------	--------------------

CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
-----	--------------------------

CH	Yüksek Plastisiteli Kil
----	-------------------------

CL	Düşük Plastisiteli Kil
----	------------------------

CSH	Kalsiyum Silika Hidrat
-----	------------------------

LL	Likit Limit
----	-------------

PL	Plastik Limit
----	---------------

SiO ₂	Silisyum Oksit
------------------	----------------

UCS	Serbest Basınç Deneyi
-----	-----------------------

1. GİRİŞ

Havaalanı, demiryolu ve karayollarında karşılaşılan konfor ve dayanım problemlerinin birçoğu üzerine inşa edildikleri zemin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu tarz yapıların altında bulunan zemin özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi ve elverişli zemin koşulları yoksa gerekli önlemlerin alınması oldukça önemlidir. Zeminde problem olması durumunda derin veya yüzeysel iyileştirme tekniklerine başvurulmaktadır.

Killi zeminler, yüksek plastisite, düşük taşıma kapasitesi ve su hassasiyeti gibi özelliklere sahip olabilir, bu nedenle karayolu altyapıları ve yapılar için uygun olmayabilir. Bu zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak, sıkışma özelliklerini iyileştirmek ve dayanıklılıklarını artırmak için zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmalıdır. Bu bağlamda, kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü gibi malzemeler, killi zeminlerin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Killi zeminlerin iyileştirilmesi için kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü gibi malzemeler önemli bir rol oynar. Kireç, killi zeminin plastisitesini azaltarak taşıma kapasitesini artırır ve su geçirimsizliğini iyileştirir. Çimento ise zeminle reaksiyona girerek dayanıklı bir matris oluşturur, zeminin taşıma kapasitesini artırır ve plastisitesini azaltır. Pirinç kabuğu külü ise mineral katkı maddesi olarak kullanılarak zeminin plastisitesini azaltır, su geçirgenliğini artırır ve taşıma kapasitesini iyileştirir. Bu malzemelerin kombinasyonu, killi zeminlerin iyileştirilmesinde etkili bir yöntem sağlayarak, zeminin dayanıklılığını artırır ve uygun bir temel malzemesi oluşturur.

İnşaat projelerinde yüksek maliyetlere sebep olan killi zeminlere Kireç, pirinç kabuğu külü ve çimento katkı ilavelerinin kombinasyonlarıyla iyileştirilmesiyle tasarruf sağlanarak projeye uygun dayanıma sahip zemin elde edilir. Kireç, pirinç kabuğu külü ve çimento katkısının zemin üzerindeki etkilerinin yanında bu katkıların proje maliyetlerine sebep olacak yüksek miktarlar göz önünde bulundurarak optimum miktarda katkı ilaveleriyle stabilizasyon çalışması yapılması gereklidir.

Katkısız zemine ilave edilen kireç, pirinç kabuğu külü ve imento katkılarının katkısız zeminle olan farklı kombinasyonlarında homojen karışım elde edilmesi zemin stabilizasyon çalışması için önemlidir.

Tez alışması kapsamında killi bir zeminin, kireç, imento ve pirinç kabuğu külü kullanılarak iyileştirilmesi ve bu iyileştirme sonucunda zeminin fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır.



2. LİTERATÜRDE KİREÇ, ÇİMENTO VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde literatürde kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü kullanılarak yapılan çalışmalar özetlenerek sunulmuştur.

Bell (1996) Çalışmasında kil yataklarında en fazla bulunan üç mineral kaolinit, montmorillonit ve kuvars örnekleri üzerinde ayrıca Tess lamine ve Üst boulder killi zeminlerine kireç katkı ilavesiyle zeminler üzerinde birtakım testler gerçekleştirmiştir. Yapılan testler sonucunda kireç katkısının tüm killi malzemelerin kuru yoğunluk değerlerini azalttığı gözlemlenmiştir. Kaolinit, montmorillonit ve kuvars malzemelerine kireç ilavesiyle young modülü değerinde ve zeminlerin gücünde önemli artışlar olduğunu tespit edilmiştir. Mukavemetteki bu artış değerleri kireç ilavesiyle doğrusal artmadığı gözlemlenmiş aşırı kireç ilavesiyle mukavemet değerinde azalmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Tess lamine ve Üst boulder killlerine kireç ilavesiyle CBR değerlerinde artışlar olduğu belirtilmiştir. Üst boulder ve Tees lamine killlerine sırasıyla % 6;4 kireç ilavesiyle maksimum mukavemet değerleri gözlemlenmiş bu değerler Tees lamine kilinde 4,5 kat artış gözlemlenirken üst boulder kilinde ise 3 kattan daha az artışlar olduğu belirtilmiştir [1].

Leite ve diğerleri (2016) Çalışmalarında CH tipi killi zeminin sahip olduğu yüksek şişme potansiyelinin inşaat projelerine verdiği hasarları minimum değerlere düşürmek amacıyla zemini kireç katkısıyla stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Zemin üzerinde kompaksiyon, kıvam limitleri ve serbest şişme testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda katkısız zemine kireç katkı ilavesiyle plastisite indisi değerleri azalmıştır. Kompaksiyon testi sonucunda optimum su içeriğinin arttığı gözlemlenmiş kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Katkısız zeminin % 20 serbest şişme ve 200 kPa şişme basınç değerleri % 3;6;9 oranlarındaki kireç katkılarının ilavesiyle şişme yüzdeleri sırasıyla % 1,85;1;0,5 değerlerine şişme basınçları ise 37;32;23 kPa değerlerine düştüğü sonucunu elde etmişlerdir [2].

Kavak ve diğerkleri (2008) alışmalarında yüksek plastisiteye sahip CH tipi killi bir zemini kireç katkı ilaveleriyle stabilize etmek ve kireç katkısının yol stabilizasyonu üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. alışmalarının sonucunda katkısız zemine ilave edilmesi gereken optimum kireç katkısı oranı kıvam limitleri ve CBR test değerlerini kullanarak % 5 olarak tespit etmişlerdir. Katkısız zemine kireç ilave edilmesiyle CBR değerlerinde büyük artışlar gözlemlendiği ve 56 günlük kür süresi sonunda % 5 kireç katkısı ilave edilmiş zeminlerin doğal zeminlere oranla kuru CBR değerlerinde 8 kat yaş CBR değerlerinde ise 34 kata kadar artış gözlemlendiği sonucuna ulaşmışlardır [3].

Kavak ve diğerkleri (2009) alışmalarında killi bir zeminin kireç stabilizasyon uygulamasının yol inşaat projesi üzerindeki etkilerini ve zemin karakteristiğindeki değişimlerini test etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan çalışmada % 0;1;2;3;5;7 oranlarında kireç katkı ilavesiyle yaş CBR testleri gerçekleştirmişlerdir. Katkısız zeminin % 6 ortalama yaş CBR değeri % 1;2 kireç ilaveleriyle sırasıyla % 55;78 ortalama yaş CBR değerlerine ulaşılmış en yüksek yaş CBR değeri % 7 kireç katkı ilavesiyle % 120 değerine kadar yükseldiği belirtilmiştir. 4 günlük kür süresi boyunca suda bekletilmiş CBR numunelerinin şişme yüzdesi değerleri karşılaştırılmış katkısız zeminin % 0,70 ortalama şişme yüzdesi değeri % 1;2 kireç katkı ilavesiyle % 0,12;0,11 değerlerine düştüğü gözlemlenmiştir [4].

Kavak ve Akyarlı (2007) alışmalarında Ankara ilinin Yukarı Yurtu Köyü yolu yeşil ve kahverengi killerin yoğun olduğu 200 metrelik kısımda kireç katkısıyla stabilizasyon uygulaması yapmışlardır. alışmalarında yeşil ve kahverengi killerin üzerinde kıvam limitleri, PH metre, kompaksiyon, CBR testlerini gerçekleştirmişlerdir. Kıvam limitleri testleri sonucunda karışımdaki kireç oranı arttıkça yeşil ve kahverengi killerin plastisite indisi değerinde büyük düşüşler meydana geldiğini gözlemlenmiştir. % 0;2;3;4;5;6 oranlarında kireç katkı ilaveleriyle yapılmış testlerde kahverengi kilde plastisite indisi değeri % 34 değerinden % 1 değerine yeşil kilde ise % 24 değerinden % 4 değerine kadar düştüğü tespit edilmiştir. PH metre test sonuçlarına göre yeşil ve kahverengi killerin optimum kireç miktarı % 5 olarak belirlenmiştir. Yeşil ve kahverengi killere kireç ilavesiyle maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı optimum su içeriği değerlerinin arttığını belirtmişlerdir. 28 günlük CBR test sonuçlarına göre % 5 kireç katkı ilavesiyle kahverengi kilde 21 kat yeşil kilde 16 kat artış olduğu sonucuna ulaşmışlardır [5].

Türköz (2006) Çalışmasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kampüsü alanında bulunan şişme potansiyeli yüksek Meşelik Killerinin kireç katkı ilavesiyle iyileştirmek ve kirecin zemin stabilizasyonu üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Üç ayrı bölgeden alınmış 88 numunenin ödometre cihazıyla serbest şişme yüzdesi testlerini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kireç katkısının % 3 seviyesi sonrasındaki ilavelerin zemin üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Kireç katkı ilave edilmiş zeminlerin plastisite indisinin doğal zemine oranla daha düşük değerler alması sebebiyle serbest şişme yüzdesinin de daha düşük değerler alacağı sonucuna ulaşmıştır [6].

Dhar ve Hussain (2019) Çalışmalarında taşıma gücü zayıf yumuşak CH tipi killi bir zemini kireç katkı ilavesiyle iyileştirmek ve kireç katkısının zeminin kimyasal yapısına olan etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemine % 3;5;7;9 oranlarında kireç katkı ilaveleriyle farklı kürlenme periyotlarında CBR ve UCS testlerini gerçekleştirmişlerdir. 28 günlük kür süresi sonunda % 7 kireç ilave edilmiş zeminin katkısız zemine göre UCS değerlerinde 3,5 kat artış gözlemlenmiştir. % 7 kireç katkı ilavesiyle katkısız zeminin CBR değerinin 5 kat arttığı ve zeminin % 391 CBR değerine ulaştığı tespit edilmiştir. UCS ve CBR değerleri kireç ilavesiyle doğrusal olarak artış gözlemlenmemiş % 7 kireç ilavesinden sonraki ilavelerde CBR ve UCS değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Katkısız zemine kireç katkı ilavesiyle zemin üzerinde yapılan XRD analizine göre kireç katkılı zeminlerde CAH ve CSH jel bileşikler olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu jel bileşikler killi zemin parçacıklarını birbirine bağladığını ve agregalar oluşturduğunu tespit etmişlerdir [7].

Karavaşin ve diğerleri (2019) Çalışmalarında düşük plastisiteye sahip killi zemini kireç katkısıyla stabilize etmek ve karayolu ve demiryolu projelerine uygun alt tabaka zemini elde etmeyi amaçlamışlardır. CL tipi killi bir zemin üzerinde PH metre, kompaksiyon ve UCS testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan PH metre test sonuçlarına göre optimum kireç yüzdesi % 4 olarak belirlenmiştir. Kompaksiyon testi sonucunda maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalmalar optimum su içeriğinde ise artış gözlemlenmiştir. Katkısız zemine ağırlığının % 2;3;4;5;6 oranlarında kireç ilavesiyle 0;1;7;28 kür sürelerinde UCS testleri gerçekleştirilmiştir. UCS testlerinin sonucunda katkısız zeminin 428,50 KN/m² UCS değeri % 4 kireç katkısının ilavesiyle 28 günlük kür süresi sonunda 1462,46 KN/m² UCS değerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir [8].

Naseer ve diğeri (2016) Çalışmalarında inşaat projelerinde önemli problemlerden biri olan temel oturmalarının önüne geçmek amacıyla CL tipi killi bir zemini kireç katkısıyla stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemine % 2;4;6 oranlarında kireç katkı ilaveleriyle zemin üzerinde UCS, CBR ve kıvam limitleri testlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda % 6 kireç katkı ilavesine kadar UCS değerlerinde artışlar tespit edilmiştir % 6 kireç ilavesinden sonraki ilavelerde UCS değerlerinin azalması sebebiyle % 6 kireç ilavesini optimum yüzde olarak kabul etmişlerdir. CBR testleri sonucunda artan kireç yüzdeleriyle zeminin CBR değerlerinde 3 kata kadar artışlar olduğu sonucuna ulaşmışlardır [9].

Elsharief ve diğeri (2013) Çalışmalarda 3 farklı killi zemini kireç katkı ilavesiyle stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında CBR, kıvam limitleri, kompaksiyon ve permeabilite testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda katkısız zeminlere kireç katkı ilavesiyle zeminlerin plastisite indisi değerlerinde azalmalar görülmüş geçirgenliklerinde ise büyük artışlar tespit edilmiştir. Kompaksiyon test sonuçlarına göre zeminlerin kireç ilavesiyle benzer özellikler gösterdiği belirtilmiş optimum su içeriğinde artış kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı kür sürelerinde hazırlanmış numunelerle gerçekleştirilen CBR testleri sonucunda 3 farklı zemine kireç katkı ilavesiyle zeminlerin CBR değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Katkısız zeminlerin sırasıyla % 1;1;18 CBR değerleri % 6,5;7;4 kireç ilaveleriyle 56 günlük kür süresi sonunda sırasıyla % 142,4;262,9;486,9 CBR değerlerine yükseldiği sonucuna ulaşmışlardır [10].

Utami (2014) Çalışmasında alt temel inşaat projelerinde problemlere sebep olan şişme potansiyeli yüksek killi bir zemini kireç katkısıyla stabilize etmeyi amaçlamıştır. Katkısız zemine % 5;10;15 oranlarındaki kireç katkı ilavesiyle zemin üzerinde kıvam limitleri, kompaksiyon ve CBR testlerini gerçekleştirmiştir. Yapılan testler sonucunda artan kireç katkı ilavesiyle birlikte likit limit ve plastisite indisi değerinde azaldığı belirtilmiştir. Katkısız zeminin % 67 likit limit değerinin % 15 kireç katkı ilavesiyle % 45,33 değerlerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Kompaksiyon testleri sonucunda artan kireç yüzdeleriyle birlikte katkısız zeminin % 1,793 kuru birim hacim ağırlık değeri % 15 kireç ilavesiyle % 1,833 değerine kadar yükseldiği belirtilmiştir. CBR testleri sonucunda % 5 ve % 10 kireç katkı ilaveleriyle zeminin CBR değerlerinde artış % 15 kireç ilavesiyle ise CBR değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir [11].

Alhassan ve Mustapha (2007) Çalışmalarında katkısız laterit killi bir zemini pirinç kabuğu külü ve çimento katkılarıyla stabilize etmeye çalışmışlardır. A-7-6 zemin sınıfına sahip killi bir zemin üzerinde % 0;2;4;6;8 oranlarında çimento ve pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle zemin üzerinde kompaksiyon, CBR ve UCS testleri gerçekleştirmişlerdir. Katkısız zemine iki katkının ilavesiyle kuru birim hacim ağırlığı değerlerinde azalma optimum su içeriğinde ise artış gözlenmiştir. 7;14;28 günlük kür süreleriyle gerçekleştirilen UCS ve CBR testleri sonucunda zemindeki çimento katkı yüzdelерinin artmasıyla UCS ve CBR değeriinde büyük artışlar olduğu pirinç kabuğu külü katkı ilavelerinde ise sürekli bir artış gözlemlenmemiş % 4 pirinç kabuğu külü katkı ilavesinden sonraki ilavelerde UCS ve CBR değeriinde azalmalar tespit edilmiştir. 7 günlük kür süresi sonunda test edilen % 8 çimento ve % 0;4 pirinç kabuğu külü katkılarının karışımları sırasıyla 975 kN/m² ve 1300kN/m² UCS değeriine ulaştığı 14 ve 28 günlük kür süreleriyle de benzer artışlar gözlemlendiği sonucuna ulaşılmıştır [12].

Alhassan (2008) Çalışmasında A-7-6 tipi killi bir zemine pirinç kabuğu külü ve kireç katkılarının ilavesiyle killi zemin üzerindeki değişimleri incelemek amacıyla birtakım testler gerçekleştirmiştir. Katkısız zemine % 2;4;6;8 oranlarında kireç ve % 2;4;6;8 oranlarında pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle zeminler üzerinde UCS testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda zemin mukavemetini arttırmak maksimum UCS değeriine ulaşmak için % 6 kireç ve % 4;6 aralığında pirinç kabuğu külü katkılarının zemine ilavesi zemin için en doğru seçim olacağı belirtilmiştir [13].

Alhassan (2008) Çalışmasında A-7-6 tipi killi zeminin ağırlığının % 2;4;6;8;10;12 oranlarında pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle stabilizasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Katkısız zemine pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle zemin üzerinde CBR ve UCS testlerini gerçekleştirmiştir. 7;14;28 günlük kür süreleri boyunca yapmış olduğu UCS testleri sonucunda en yüksek değeri % 6;8 pirinç kabuğu külü ilavesiyle elde edilmiştir % 8 pirinç kabuğu külü katkı ilavelerinden sonraki ilavelerde UCS değeriinde azalmalar görülmüştür. Katkısız zeminin 290 KN/m² UCS değeri % 6;8 oranlarındaki pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle 28 günlük kür süresi sonunda UCS değeri sırasıyla 293 KN/m² ve 295 KN/m² değeriine yükseldiği tespit edilmiştir. CBR test sonuçlarına göre katkısız zeminin % 8,5 CBR değeri % 6 pirinç kabuğu külü ilavesiyle % 18,5 değeriine yükseldiği sonucu elde edilmiştir [14].

Kanddulna ve diğerleri (2016) Çalışmasında killi bir zeminin kireç veya pirinç kabuğu külü katkılarıyla stabilize etmek ve bu iki katkının killi bir zemin üzerindeki etkilerini karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 5;10;15;20 oranlarında kireç veya pirinç kabuğu külü katkılarını zemine ayrı ayrı ilavesiyle zemin üzerinde CBR, UCS ve permeabilite testlerini gerçekleştirmişlerdir. İki farklı katkıyla stabilize edilmiş zeminlerin CBR ve UCS değerleri % 15 katkı ilavesiyle maksimum artış gösterdiği gözlemlenmiştir. % 15 katkıdan daha fazla katkı ilavelerinde UCS ve CBR değerleri azalmaya başlamıştır. Kireç katkısı ilave edilmiş zeminlerin CBR ve UCS değerleri pirinç kabuğu külü katkısı ilave edilmiş zeminlere göre daha yüksek değerlere ulaştığı belirtilmiştir. İki katkının zemine ilavesiyle zeminin Permeabilite değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Sonuç olarak kireç katkısının pirinç kabuğu külü katkısından daha iyi bir stabilizasyon malzemesi olduğunu tespit etmişlerdir [15].

Subrahmanyam ve diğerleri (1981) Çalışmalarında CH sınıfı killi bir zemini kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarıyla iyileştirmek zeminin fiziksel özelliklerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 5;10;15;20;25 oranlarında pirinç kabuğu külü ve pirinç kabuğu külü katkısının 5:5;4:6;3:7;2:8;1:9 oranlarındaki kireç katkı kombinasyonlarıyla hazırlanmış karışımların zemine ilavesiyle zemin üzerinde UCS, kompaksiyon ve kıvam limitleri testleri gerçekleştirmişlerdir. Kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarıyla stabilize edilmiş zeminlerin plastisite indisi değerlerinde büyük azalmalar görüldüğü belirtilmiştir. Kompaksiyon test sonuçlarına göre iki katkının ilavesiyle zeminin kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalmalar optimum nem içeriğinde ise artışlar tespit edilmiştir. Katkısız zemine % 10 pirinç kabuğu külü ve pirinç kabuğu külü katkısının 5:5; 4:6; 3:7; 2:8;1:9 oranlarında kireç ilaveleriyle en yüksek UCS değerlerine ulaşıldığı belirtilmiştir [16].

Zaika ve Suryo (2020) Çalışmalarında yüksek plastisiteye sahip killi bir zemini mühendislik yapılarına uygun duruma getirmek ve stabilizasyonda ekonomik kolaylıklar sağlamak amacıyla atık pirinç kabuğu külü katkısını kireç katkısıyla birlikte zemin üzerinde stabilizasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yapılan CBR testleri sonucunda kireç katkısının zeminin şişme değerlerini azalttığını ve dayanımını pirinç kabuğu katkısından daha yüksek değerlere ulaştırdığını gözlemlemişlerdir. % 4 kireç ve % 6 pirinç kabuğu külü katkı ilaveleri optimum katkı ilaveleri olarak belirlenmiş ve bu katkıların katkısız zemine ilavesiyle zeminin % 14,76 CBR değerinin % 32 CBR değerine

kadar yükseldiğini ve 7 günlük kür süresi sonrasında daha yüksek CBR dayanımları elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır [17].

DV ve diğerleri (2019) Çalışmalarında killi bir zemine kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarının ilave edilmesiyle zeminin zayıf fiziksel özelliklerini geliştirmeyi yol inşaatı için uygun duruma getirmeyi amaçlamışlardır. % 5;10;15 kireç veya % 5;10;15 kireç ve % 1,5;3;6 pirinç kabuğu külü katkı kombinasyonlarının zemine ilavesiyle zemin üzerinde kıvam limitleri, CBR ve kompaksiyon testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda artan kireç katkı ilaveleriyle zeminin likit limit ve plastik limit değerlerinde azalmalar gözlemlenmiş kireç ve pirinç kabuğu külü ilavelerinde ise zeminin likit limit ve plastik limit değerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir. Kompaksiyon testleri sonucunda katkısız zemine kireç veya kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle zeminin kuru birim hacim ağırlığında azalmalar gözlemlenmiş optimum su içeriğinde ise artışlar olduğunu belirtmişlerdir. CBR değerlerinin kireç katkı yüzdesinin artmasıyla artış gösterdiği kireç ve pirinç kabuğu külü ilavesiyle ise daha da yüksek CBR değerlerine ulaşıldığını % 28,50 oranında artan CBR değerlerine ulaşıldığı belirtilmiştir [18].

Kumar ve diğerleri (2014) Alt temel inşaat projelerinde problemlere sebep olan CL tipi killi bir zemini kireç ve pirinç kabuğu külü katkıları ile iyileştirmek amacıyla birtakım testler gerçekleştirmişlerdir. Katkısız zemin ağırlığının % 5;10;15 oranlarında pirinç kabuğu külü ve % 3;6;9 oranlarında kireç katkı kombinasyonlarıyla 4;7;14 kürlenme periyotlarında zemin üzerinde UCS ve CBR testleri yapılmıştır. Katkısız zemine % 3;6;9 kireç katkı ilaveleriyle en yüksek UCS değeri % 6 kireç katkı ilavesiyle, % 5;10;15 pirinç kabuğu katkı ilaveleriyle ise en fazla UCS değeri % 10 pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle elde edilmiştir. CBR testleri sonucunda katkısız zeminin % 5,48 CBR değeri % 6;10 kireç katkı ilaveleriyle 14 günlük kür süresi sonunda sırasıyla % 91,79 ve % 60,20 artan CBR değerlerine ulaşılmıştır. Katkısız zemine % 6 kireç ve % 5;10;15 pirinç kabuğu külü kombinasyonları arasında 14 günlük kür süresi sonucunda en yüksek CBR dayanım değerine % 6 kireç ve % 10 pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle ulaşılmış ve % 90,65 oranında artan CBR değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir [19].

Muntohar (2009) Çalışmasında yüksek plastisiteye sahip CH tipi kili bir zemini kireç, pirinç kabuğu külü ve atık plastik lif katkılarının ilavesiyle stabilize etmek ve elde edilen test sonuçlarını karşılaştırmayı amaçlamıştır. Katkısız zemin dışında % 12 kireç, pirinç kabuğu külü ve farklı boyut ve miktarlardaki atık plastik lif katkısının ilavesiyle

hazırlanan 11 farklı zemin kombinasyonlarının katkısız zemin üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla birtakım testler gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak kireç ve pirinç kabuğu külü ilave edilmiş zeminlerin katkısız zemine göre UCS dayanımında 2,4 kat artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Atık plastik lif katkı ilavesiyle zeminin dayanımında artışlar olduğu tespit edilmiştir. Optimum miktar ve boyut olarak sırasıyla % 0,4;0,6 oranında ve 20;40mm aralığında ilave edilmiş atık plastik lif katkı ilavelerinin diğer atık plastik lif katkı ilavelerine göre daha yüksek dayanım değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir [20].

Mumtaz ve diğerleri (2021) Çalışmalarında yüksek plastisiteye sahip killi bir zemini portland çimento katkısıyla iyileştirmek yol alt tabaka inşaatı için uygun zemini elde etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 5;10;15;20;25 oranlarındaki çimento katkı ilaveleriyle 1;3;7;14;28 günlük kür süreleriyle UCS testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda çimento katkı yüzdesinin artmasıyla birlikte UCS dayanımlarında artış olduğu ve bu artış değeri % 25 çimento katkı ilavesiyle maksimum değerine 1394 kPa değerine kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Katkısız zemine ilave edilen çimento katkı oranlarının artmasıyla birlikte zemin mukavemet değerlerinde artış gözlemlendiğini ancak inşaat maliyetinin artmasından dolayı % 10 Çimento katkı ilavesinin yol alt tabaka inşaatı için yeterli olacağı sonucuna ulaşmışlardır [21].

Bindu ve Ramabhadran (2011) Çalışmalarında taşıma gücü zayıf killi bir zemini çimento katkı ilavesiyle stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemine 7;14;28 günlük kür süreleriyle % 3;5;10;15;20;25;30;40;50;100 oranlarında çimento katkı ilaveleriyle zemin üzerinde UCS testleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda katkısız zeminin 1,71 kPa düşük UCS değeri artan çimento katkı ilaveleriyle birlikte UCS dayanım değerlerinde arttığı belirtilmiştir. Katkısız zemine % 10;30 çimento katkı ilaveleriyle 7 günlük kür süresi sonunda sırasıyla 23,28 kPa ve 104,7 kPa UCS değerlerine ulaştığı gözlemlenmiş % 10;30 arasındaki çimento katkı ilaveleriyle zemin üzerinde daha etkili sonuçlar elde edilebileceği tespit edilmiştir [22].

Bhattacharja ve diğerleri (2003) Çalışmalarında 3 farklı A-7-6 tipi killi zeminleri portland çimentosu veya sönmüş kireç katkılarıyla stabilize etmeyi ve sonuçları karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında UCS ve CBR testlerini gerçekleştirmişlerdir. UCS ve CBR test sonuçlarına göre katkısız zeminlere ilave edilen % 3 kireç katkısı % 3 çimento

katkısına göre daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiş ancak % 6;9 oranlarındaki imento katkı ilavesinin kireç katkısına göre daha yüksek UCS ve CBR değerlerine ulaştığını belirtmişlerdir [23].

Ampera ve Aydogmuş (2005) alışmalarında A-7-6 zemin sınıfına sahip killi bir zemini kireç veya imento katkı ilaveleriyle iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemine ilave edilen % 2;4;6 kireç veya % 3;6;9 imento katkılarıyla zemin üzerinde UCS ve kesme kutusu testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda katkısız zeminin 162 KN/m² UCS değeri % 6 kireç katkı ilavesiyle 364,3 KN/m² değerine yükseldiği tespit edilmiştir. Çimento katkı ilavesiyle UCS değerleri kireç ilavelerinden daha yüksek değerlere ulaşılmış % 6;9 imento katkı ilaveleriyle sırasıyla 524,3 KN/m² ve 719 KN/m² değerlerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Kesme kutusu test sonuçları UCS test sonuçlarına benzer artış gözlemlenmiş sonuç olarak imento katkı ilavesinin kireç katkı ilavesine göre daha yüksek mukavemet değerlerine ulaştığı sonucuna varılmıştır [24].

Asgari ve diğerleri (2015) alışmalarında Kireç veya imento katkılarıyla düşük plastisiteye sahip CL tipi killi bir zemini iyileştirmek amaçıyla birtakım testler gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyi sonucuna göre katkısız zemine kireç katkısının ilavesiyle optimum su içeriğinde artış kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalmalar gözlemlenmiş imento katkı ilavelerinde ise zeminde belirgin bir davranış tespit edilememiştir. % 0;3;5;7 oranlarında kireç veya imento katkılarıyla farklı su içerikleri ve kür süreleriyle gerçekleştirilen UCS testleri sonucunda imento katkısının belirgin olarak kireç katkısından daha yüksek dayanım değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir [25].

Roy (2014) alışmasında CH tipi killi bir zemine imento ve pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle zeminin taşıma gücünü ve mukavemetini arttırmayı amaçlamıştır. Katkısız zemine % 10;15;20 oranlarında pirinç kabuğu külü ve her durumda % 6 imento katkı ilavesiyle zemin üzerinde kompaksiyon, UCS ve CBR testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda zemindeki pirinç kabuğu külü katkı yüzdesinin artmasıyla zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerinde azalma optimum su içeriğinde ise artış gözlemlenmiştir. CBR ve UCS testleri sonucunda en yüksek dayanım değerleri % 6 imento ve % 10 pirinç kabuğu külü katkılarının zemine ilavesiyle elde edilmiştir. Katkısız zemine % 6 imento ve % 10 pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle zeminin CBR değerlerinde % 106 artış gözlemlenmiş UCS değerlerinde ise % 90,6 artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır [26].

Ogbuagu ve diğeri (2018) Çalışmalarında çimento ve pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle CL tipi killi bir zemini stabilize etmek ve stabilize edilmiş zeminde meydana gelen değişimleri incelemeyi amaçlamışlardır. Katkısız zeminin ağırlığının % 0;2,5;5;7,5;10 oranlarında çimento ve pirinç kabuğu külü katkı ilaveleriyle zemin üzerinde CBR testleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak % 5 pirinç kabuğu külü katkı ilavesine kadar CBR değerinde artış gözlemlenirken % 5 değerinden daha fazla pirinç kabuğu katkı ilavelerinde CBR değerinde azalmalar gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Katkısız zeminin % 1,55 CBR değeri % 5 çimento ve pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle % 9,35 CBR değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir [27].

Basha ve diğeri (2003) Çalışmalarında 3 farklı zemine çimento ve pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle katkıların zeminlerin karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Kaolinit, residual ve bentonit zeminleri üzerinde kompaksiyon ve kıvam limitleri testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda katkısız zemine pirinç kabuğu külü ve çimento katkılarının ilavesiyle zeminlerin platitesinin azaldığı optimum nem içeriklerinde artış kuru birim hacim ağırlık değerlerinde ise azalmalar olduğu sonucuna ulaşılmıştır [28].

Nagma ve diğeri (2019) Çalışmalarında CH tipi killi bir zemini stabilize etmeyi ve atık pirinç kabuğu külünün ekonomik bir alternatif stabilizasyon malzemesi olması sebebiyle çimento katkısı ile birlikte teste tabi tutmayı amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 10;15;20 oranlarında pirinç kabuğu külü ve % 6 çimento katkı ilaveleriyle zeminin kompaksiyon ve UCS karakteristiklerindeki değişimler incelenmiştir. Artan pirinç kabuğu yüzdesiyle zeminin kuru birim hacim ağırlık değerinde düşüş optimum su içeriğinde artış olduğu gözlemlenmiştir. UCS testleri sonucunda katkısız zemine % 6 çimento ve % 10 pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle en yüksek UCS değerlerine ulaştıklarını belirtmişlerdir [29].

Bhadouria ve Joshi (2017) Çalışmalarında yol inşaat projelerinde yüksek inşaat maliyetlerini azaltmak amacıyla yüksek platitesiteye sahip killi bir zemini çimento ve pirinç kabuğu külü katkı ilaveleriyle stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 6;8 çimento ve % 10;15 pirinç kabuğu külü katkı kombinasyonlarıyla zemin üzerinde kompaksiyon, CBR ve kıvam limitleri testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda katkısız zemine pirinç kabuğu külü katkısı ilave edildikçe zeminin plastisite ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalmalar optimum su içeriğinde

artışların olduğu tespit edilmiştir. CBR test sonuçlarına göre katkısız zeminin % 8,39 CBR değeri % 6 çimento ve % 10 pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle % 13,5 CBR değerine ulaşıldığı sonucuna varılmıştır [30].

Raj R ve diğerleri (2016) Çalışmalarında farklı bölgelerden temin edilmiş alüvyonlu ve killi zeminleri atık pirinç kabuğu külü malzemesiyle stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının %5;10;20;30;40;50;80 oranlarında pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle zemin üzerinde kıvam limitleri, kompaksiyon ve CBR (hem yaş hem kuru) testlerini gerçekleştirmişlerdir. Her iki zeminin likit limit değerleri zeminlere pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle azalmıştır. Kompaksiyon testleri sonucunda her iki zemine pirinç kabuğu külü ilavesiyle zeminlerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinde artış optimum su içeriklerinde ise azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Alüvyonlu katkısız zemine pirinç kabuğu külü ilaveleriyle zeminin kuru ve yaş CBR değerleri sırasıyla % 3,2;2,4 değerinden % 12;6,4 değerine kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. Katkısız killi zemine pirinç kabuğu külü ilaveleriyle kuru ve yaş CBR değerleri sırasıyla % 3,6;2,8 değerlerinden % 9,3;4,4 değerine kadar yükseldiği tespit edilmiştir [31].

Daryati ve Ramadhan (2020) Çalışmalarında CL tipi killi zemini pirinç kabuğu külü katkısı ile stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemine % 0;3;6;9 oranlarında pirinç kabuğu külü katkı ilaveleriyle zemin üzerinde kıvam limitleri, kompaksiyon ve CBR testlerini gerçekleştirilmiştir. Kıvam limitleri deneyi sonucunda katkısız zeminin % 11,07 plastisite indisi değeri % 9 pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle % 7,62 değerine kadar düştüğü belirtilmiştir. Pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle zeminin optimum su içeriği sabit bir değer alırken kuru birim hacim ağırlık değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. CBR test sonuçlarına göre katkısız zeminin CBR değerlerinde artış gözlemlenmiş % 6;9 pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle sırasıyla CBR değerinde % 130;98 artış elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır [32].

Chhokar ve Sonthwal (2020) Çalışmalarında karayolu yapılarının maruz kaldığı ağır yüklere dayanabilecek zeminin özelliklerini elde etmek amacıyla CL tipi killi bir zemini pirinç kabuğu külü ve polipropilen fiber katkı ilaveleriyle zemini stabilize etmeye çalışmışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 3;6;9 pirinç kabuğu külü veya % 9 pirinç kabuğu külü ve % 0,1;0,2;0,3 polipropilen fiber katkıların ilavesiyle CBR testlerini gerçekleştirmişlerdir. Artan pirinç kabuğu külü katkı yüzdeleriyle CBR değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Katkısız zeminin % 3,79 CBR değeri % 9 pirinç kabuğu külü katkı

ilavesiyle % 5,28 CBR değerine ulaştığı belirtilmiştir. Katkısız zemine % 9 pirinç kabuğu külü ve % 0,1;0,2;0,3 polipropilen fiber katkı kombinasyonlarında en yüksek CBR değeri % 9 pirinç kabuğu külü ve 0,2 polipropilen fiber ilavesiyle % 7,49 CBR değerine ulaşıldığı sonucuna varılmıştır [33].

Ali ve diğerleri (2019) Çalışmalarında düşük plastisiteye sahip CL tipi killi bir zemini pirinç kabuğu külü veya uçucu kül katkılarıyla stabilize etmeyi ve inşaat proje maliyetlerini düşürmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla katkısız zemin ağırlığının % 5;10;15 oranında uçucu kül veya pirinç kabuğu külü katkılarının ilave edilmesiyle zemin üzerinde kıvam limitleri, kompaksiyon, CBR testlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak Katkısız zeminin % 4,3 CBR değerini % 5;10;15 uçucu kül katkı ilaveleriyle sırasıyla % 7,9;11,9,2 değerlerine yükseldiği % 5;10;15 pirinç kabuğu külü katkı ilavelerinde ise sırasıyla % 6,1;9,5;8,9 CBR değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Uçucu kül katkısı pirinç kabuğu külü katkısına göre katkısız zeminin CBR değerini daha yüksek değerlere ulaştırdığını ve bu iki katkının % 10 ilaveleriyle en yüksek CBR değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. İki farklı katkıyla stabilize edilmiş zeminlerin yol katman kalınlıklarında azalmalara neden olacağından stabilizasyon uygulamasının inşaat projelerinde ekonomik olarak kolaylıklar sağlayacağını belirtmişlerdir [34].

Adhikary ve Jana (2016) Çalışmalarında CL tipi killi bir zemine atık Pirinç kabuğu külü katkısının ilavesiyle stabilizasyonun zemin karakteristiğine olan etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 5;10;15;20 oranlarında pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle zemin üzerinde kompaksiyon, kıvam limitleri ve UCS testlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda katkısız zemine pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle kuru birim hacim ağırlık değerinde azalmalar optimum su içeriğinde ise artışlar gözlemlenmiştir. 0;7;28 kür sürelerinde artan pirinç kabuğu yüzdeleriyle gerçekleştirilen UCS testleri sonucunda katkısız zeminin 130 KN/m² UCS değeri 28 günlük kür süresi sonunda % 5;10 pirinç kabuğu külü katkı ilaveleriyle sırasıyla 212 KN/m² ve 195 KN/m² UCS değerlerine ulaşılmış % 8 üzerindeki pirinç kabuğu külü ilavelerinde bu değerlerin azalacağını belirtmişlerdir [35].

Brooks (2009) Çalışmasında otoyol inşaat projelerinde problemlere neden olan CH tipi killi zayıf alt temel zemini pirinç kabuğu külü ve uçucu kül katkı kombinasyonlarıyla stabilize etmeyi amaçlamıştır. Katkısız zemin ağırlığının % 0;3;6;9;12;15 pirinç kabuğu külü ve % 0;15;25;30 oranlarında uçucu kül katkı karışımlarıyla zemin üzerinde UCS

testlerini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak en yüksek UCS değeri katkısız zemine % 12 pirinç kabuğu külü ve % 25 uçucu kül katkı ilavesiyle elde edilmiştir. Katkısız zeminin 660 kPa UCS değeri % 12 pirinç kabuğu külü ve % 25 uçucu kül ilavesiyle 1300 kPa değerine kadar yükseldiğini belirtmişlerdir [36].

Adajar ve diğerleri (2019) Çalışmalarında CH tipi genişleyen killi bir zemini atık pirinç kabuğu külü katkısıyla stabilize etmeyi amaçlamışlardır. % 5;10;15;20;25 oranlarında pirinç kabuğu külünün katkısız zemine ilavesiyle zemin üzerinde Kıvam limitleri, kompaksiyon ve UCS testlerini gerçekleştirmişlerdir. Artan pirinç kabuğu yüzdeleriyle plastisite indisi değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiş katkısız zeminin % 53 plastisite indisi değeri % 25 pirinç kabuğu katkı ilavesiyle % 18 değerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Kompaksiyon testleri sonucunda optimum su içeriğinde % 47,41 artış kuru birim hacim ağırlıkta ise 230 kg/m^3 değerinde azalmalar tespit edilmiştir. 7;14;28;35 günlük kür süreleriyle hazırlanmış UCS testleri sonucunda artan pirinç kabuğu külü katkı yüzdeleriyle zeminin UCS değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Katkısız zeminin 333,25 kPa UCS değeri % 25 pirinç kabuğu katkı ilavesiyle 35 günlük kür süresi sonunda 104,97 Kpa değerine kadar düştüğü tespit edilmiştir [37].

Taha ve diğerleri (2021) Çalışmalarında CH tipi killi bir zeminin mühendislik yapılarına verdiği zararları minimuma indirmek ve zemin özelliklerini geliştirmek amacıyla zemini pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 0;4;8;12;16 oranlarında pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle zemin üzerinde birtakım testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda katkısız zemine pirinç kabuğu katkı ilavesiyle zeminin platisite indisi değerinde azalmalar görülmüştür. % 16 pirinç kabuğu külü ilave edilen zeminin kuru birim hacim ağırlık değeri $1,52 \text{ g/cm}^3$ değerinden $1,49 \text{ g/cm}^3$ değerine kadar düştüğü gözlemlenmiş optimum nem içeriği değerinde ise % 27,38 değerinden % 21,63 değerine kadar düşüşler olduğu tespit edilmiştir [38].

Fattah ve diğerleri (2013) Çalışmalarında 3 farklı bölgelerden temin edilmiş killi zeminlere pirinç kabuğu külü katkısının ilavesiyle zeminlerin karakteristiklerindeki değişimleri incelemeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlıklarının % 0;3;6;9 oranlarında pirinç kabuğu külü katkı ilavesiyle zeminler üzerinde kıvam limitleri, kompaksiyon ve UCS testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda artan pirinç kabuğu yüzdeleriyle birlikte plastisite indisi ve kuru birim hacim ağırlık

değerlerinde azalmalar optimum su içeriğinde ise artışlar gözlemlenmiştir. Katkısız zeminlere ağırlıklarının % 6;8 oranlarındaki pirinç kabuğu külü katkı ilavelerinde en yüksek UCS değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir [39].

Singhai ve Singh (2014) Çalışmalarında şişme potansiyeli yüksek killi bir zemini uçucu kül ve pirinç kabuğu külü katkılarıyla stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Katkısız zemin ağırlığının % 5;10;15;20;25 aralığında uçucu kül ve % 10;15;20;25;30 aralığında pirinç kabuğu külü katkı kombinasyonlarıyla zemin üzerinde kıvam limitleri ve CBR testlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda % 20 uçucu kül ve % 25 pirinç kabuğu külü ilavesiyle zeminin plastisite indisi değerinde % 86 düşüş olduğu belirtilmiş. % 15 uçucu kül ve % 20 pirinç kabuğu külü ilavelerinde zeminin serbest şişme değerinde % 75 düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir [40].

Ghavami ve diğerleri (2019) Çalışmalarında pirinç kabuğu külü ve çimento katkılarının killi zemin üzerindeki dayanım ve mikroyapısal özelliklerine olan etkilerini incelemek amacıyla bir takım deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda çimento hidratasyonu ile birlikte pirinç kabuğu külündeki SiO_2 ve Ca(OH)_2 bileşiklerin arasında kimyasal reaksiyon gerçekleştiği Kalsiyum-Silikat-Hidrat jelinin üretilmesi ile birlikte kil taneciklerinin daha iyi birleştiğini ve sertliğinin arttığını belirtmişlerdir. Zemin üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç ve CBR deneyleri sonucunda çimento katkı ilaveli zemine % 10 pirinç kabuğu külü ilavesiyle en yüksek serbest basınç değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. % 10 değeri üzerindeki pirinç kabuğu külü ilavelerinde serbest basınç değerlerinin azaldığı ve CBR test sonuçlarının serbest basınç deneyi sonuçlarıyla uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır [41].

Sorsa (2022) Çalışmasında A-7-5 zemin sınıfına sahip 2 farklı şişen killi zeminlerin çimento katkı ilaveleriyle zeminin mühendislik özellikleri üzerindeki değişimlerini incelemeyi amaçlamıştır. Katkısız zeminlerin ağırlıklarının % 10;12;14;16 oranlarında çimento katkı ilaveleriyle zeminler üzerinde CBR deneyini gerçekleştirmiştir. Yapılan CBR testleri sonucunda katkısız zeminlere % 14 çimento katkı ilavesiyle sırasıyla CBR değerleri % 2,2;1,7 değerinden % 31,5;17,85 değerine kadar yükseldiği ve zeminin şişme potansiyelinin % 65 değerinden çimento katkı ilavesiyle % 24 değerine kadar düştüğü tespit edilmiştir [42].

Ayan ve diğerleri (2020) Çalışmalarında CH tipi killi bir zemini kireç ve çimento katkı ilaveleriyle stabilizasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. % 3 kireç katkı ilavesi ve % 3;4

oranlarında ilave edilen çimento katkı ilavelerine göre sonuçları karşılaştırmak ve en ekonomik sonucu elde etmek amacıyla birtakım testler gerçekleştirmişlerdir. Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre anlık ve 28 günlük değerler sırasıyla % 3 kireç ilavesi için 232;536 kPa, % 3 çimento ilavesi için 142;381 kPa ve % 4 kireç ilavesi için 164;427 kPa değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Katkı ilave edilen zeminlerin serbest basınç mukavemet değerlerinin Artan kür süresiyle birlikte daha da arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak kireç katkısının çimento katkısına göre CH tipi killi zeminin stabilizasyonunda daha ekonomik bir tercih olacağı belirtilmiştir [43].

Sabat (2013) Çalışmasında genişleyen killi bir zemine ilave edilen farklı oranlarda kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarıyla stabilizasyon uygulaması gerçekleştirmiştir. Anlık, 7 ve 28 günlük kür süreleriyle gerçekleştirilen deneyler sonucunda zeminin CBR, kesme mukavemeti parametreleri, şişme basıncı ve dayanıklılık değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda killi zemin için optimum kireç ve pirinç kabuğu külü katkı oranları sırasıyla % 10 ve % 15 olduğu tespit edilmiştir. Optimum yüzdelerde katkı ilave edilmiş zeminin optimum nem içeriği, CBR ve kohezyon değerlerinde artışlar gözlenirken maksimum kuru birim hacim ağırlık ve şişme basıncı değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Sonuç olarak kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarının ilavesiyle katkısız zeminlerin dayanımında ciddi artışlar olduğu esnek altyapı güçlendirilmesinde inşaat maliyetlerinde düşüşler olacağı sonucuna ulaşmışlardır [44].

Bayat ve diğerleri (2013) Çalışmalarında CL tipi killi bir zemini çimento ve kireç katkı ilaveleriyle iyileştirmeye çalışmışlardır. Katkısız zeminin kuru ağırlığının % 3;5;7;9 oranlarında çimento ve kireç katkılarının zemine ilave edilmesiyle zemin üzerinde kompaksiyon ve serbest basınç deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda katkısız zemine kireç katkı ilavesiyle zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri azalırken optimum su içeriğinde artışlar gözlemlenmiş çimento katkılı zeminlerde ise kireç kadar etkili sonuç göstermediği belirtilmiştir. Çimento katkı ilave edilmiş zeminlerin serbest basınç dayanımı artan kür süresi ve katkı yüzdeleriyle birlikte doğrusal bir artış gözlemlenirken kireç ilaveli zeminde bu artış optimum ilavelerde maksimum dayanım değerlerine ulaştığı optimum değerden daha fazla kireç ilavelerinde ise azalmalar görüldüğü tespit edilmiştir [45].

Kassim ve Chern (2004) çalışmalarında zemin sınıfları A-7-6 ve A-7-5 olmak üzere 5 farklı killi zemini kireç katkı ilaveleriyle stabilize etmeye çalışmışlardır. Kireç katkı

ilavesinin katkısız zeminlerin dayanımı üzerindeki etkilerini incelemek üzere deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda % 3 ile % 6 arasında kireç katkı ilave edilmiş zeminlerin en yüksek serbest basınç değerlerine ulaşıldığı ve artan kür süreleriyle birlikte serbest basınç değerlerinin 2,5 ile 11 kat aralığında artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir [46].

Abass (2013) Çalışmasında inşaat projelerinde problemlere sebep olabilecek genişleyen killi bir zemini stabilize etmek amacıyla CH tipi killi bir zemin üzerinde birtakım deneyler gerçekleştirmiştir. Artan kireç oranlarıyla birlikte katkısız zeminin kuru yoğunluk değeri azalırken optimum nem içeriğini arttığını tespit etmiştir. Kireç katkısının katkısız zeminin şişme basınç değerlerini düşürdüğünü ve katkısız zemine ilave edilen % 15 kireç katkı ilavesiyle birlikte zeminin şişme basınç değerinin % 66 oranında azalttığını belirtmiştir [47].

Negawo ve diğerleri (2019) çalışmalarında karayolu inşaatında problemlere sebep olan genişleyen killi bir zemini kireç katkı ilaveleriyle stabilizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Katkısız zemine kuru ağırlığının % 5;7;9 oranlarında kireç katkı ilaveleriyle zemin üzerinde kıvam limitleri, kompaksiyon ve serbest basınç deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmaların sonucunda kireç ilaveli killi zeminin plastisitesinin azaldığını artan kireç ilaveleriyle birlikte gerçekleştirilen kompaksiyon testleri sonucunda kuru birim hacim ağırlık değerleri azalırken optimum su içeriklerinde artışlar olduğu gözlemlenmiştir. UCS testleri sonucunda % 5;7;9 kireç ilaveli zeminlerin 7 gün kür süresi sonunda sırasıyla 507;1469;1611 kPa değerlerine ulaştıklarını ve % 7;9 kireç ilavelerinin karayolu alt zemini için minimum değeri sağladığı sonucuna ulaşmışlardır [48].

3. MALZEME ve YÖNTEM

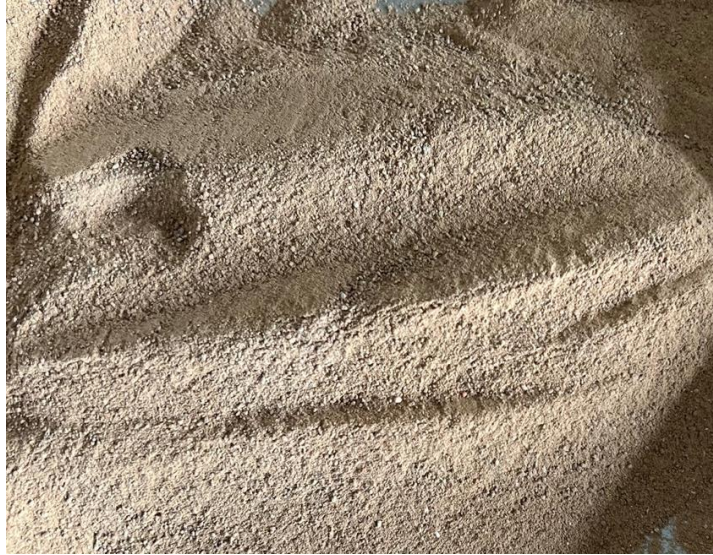
Tez çalışması kapsamında iyileştirilecek zemin, iyileştirme amacıyla kullanılan katkıları ve deneysel çalışmada uygulanan yöntem anlatılmıştır.

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Tez çalışması kapsamında iyileştirilecek zemin, iyileştirme amacıyla kullanılan katkıları ve deneysel çalışmada uygulanan yöntem anlatılmıştır.

3.1.1. İyileştirme çalışmasında kullanılan zemin numunesi

Deneysel çalışma kapsamında Kırklareli – Asilbeyli köyü sınırlarında bulunan yüksek plastisiteli bir kil kullanılmıştır. Bu kil numunesine ait fotoğraf Resim 3.1’de sunulmuştur.



Resim 3.1. Deneysel çalışma kapsamında kullanılan zemin numunesi

Çalışma kapsamında kullanılmasına karar verilen zemin numunesi geoteknik özelliklerinin belirlenebilmesi için Kırklareli Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarına

getirilmiş ve bir dizi deney yapılmıştır. Zemin numunesinin bazı özellikleri Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Zeminin bazı geoteknik özellikleri

Özellik	Değer
Optimum Su Muhtevası	% 14
Mak. Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	18,12
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,72
Likit Limit (%)	%51
Plastik Limit (%)	%19
Plastite İndisi (%)	%32

3.1.2. Kireç

Çalışmada kullanılan kireç, Kimtaş-Barkisan firmasından temin edilmiştir. Kullanılan kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2’de fotoğrafı Resim 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kirecin fiziksel ve kimyasal 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



Resim 3.2. Çalışma kapsamında kullanılan kirecin fotoğrafı

3.1.3. Çimento

Bu çalışma kapsamında Resim 3.3’ de verilen çimento Tip I Portland Çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir.



Resim 3.3. Çalışma kapsamında kullanılan çimentonun fotoğrafı

Çizelge 3.3. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz		Değer
SiO ₂	%	18,91
Al ₂ O ₃	%	4,87
Fe ₂ O ₃	%	3,10
CaO	%	63,96
MgO	%	1,10
SO ₃	%	2,98
K ₂ O	%	0,71
Na ₂ O	%	0,11
Cl ⁻	%	0,0098
Kızdırma kaybı	%	3,69
Çözünmeyen kalıntı	%	0,33
C3A		7,67

3.1.4. Pirinç kabuğu külü

Deneysel çalışma kapsamında Edirne bölgesine ait pirinç kabuğu külü kullanılmıştır. Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri

Özellik	Değer
Silisyum oksit (SiO ₂), %	93,15
Aluminyum oksit (Al ₂ O ₃), %	0,21
Demir oksit (Fe ₂ O ₃), %	0,21
Kalsiyum oksit (CaO), %	0,41
Potasyum oksit (K ₂ O), %	22,31
Magnezyum oksit (MgO), %	0,45
Yanma kaybı, %	2,36
pH	9,83

Çizelge 3.4’te görüldüğü gibi pirinç kabuğu külünün ağırlıkça % 93,15 oranı silika küçük yüzdelerde ise demir oksit, alümina, magnezyum oksit, kalsiyum oksit ve alkaliler bulunmaktadır. Resim 3.4’de deneysel çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külünün fotoğrafı verilmiştir.



Resim 3.4. Çalışma kapsamında kullanılan pirinç kabuğu külünün fotoğrafı

3.2. Yöntem

Deneysel çalışma kapsamında ilk olarak zemin numunesinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Geoteknik özellikleri belirlenen kil numunesi kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü ile iyileştirilerek fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca pirinç kabuğu külü hem kireç hem de çimento ile birlikte kullanılmıştır. Pirinç kabuğu külünün bu iki katkının daha verimli kullanılmasına etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda aşağıda sıralanan deneyler yapılmıştır.

3.2.1. Elek Analizi

Zeminlerin dane dağılımlarını ve zemin sınıflarını belirlemek için ASTM D422 standardına uygun olarak yıkamalı elek analizi deneyi yapılmıştır [49].

Elek analizi deneylerinin zemin numunesini doğru temsil edip etmediğini belirlemek için deney 4 tekrar şeklinde yapılmıştır.

3.2.2. Kıvam Limitleri

Kıvam limitleri katkılı ve katkısız zeminler üzerinde ASTM D318 standardına uygun olarak yapılmıştır [50].

Zemine farklı oranlarda kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü katılarak 12'şer adet likit limit ve plastik limit deneyi yapılmıştır.

3.2.3. Özgöl Ağırlık

Katkılı ve katkısız zeminlerin özgül ağırlıkları ASTM D854 standardına uygun olarak belirlenmiştir [51]. Zemine farklı oranlarda kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü katılarak 12 adet özgül ağırlık deneyi yapılmıştır.

3.2.4. Kompaksiyon

Kompaksiyon deneyleri katkılı ve katkısız zemin numuneleri üzerinde ASTM D1557-12 standardına uygun olarak yapılmıştır. Zemine farklı oranlarda kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü katılarak 12 adet kompaksiyon deneyi yapılmıştır.

3.2.5. Serbest Basınç

Zemin numunelerinin farklı kireç, çimento ve pirinç kabuğu yüzdelerinde 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, çimento ve pirinç kabuğu yüzdesi için hazırlandıktan sonra anlık, 1 günlük, 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük kür sürelerinde kürlenmiştir. Ardından 3'er tekrar olmak üzere serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur.

3.2.6. CBR

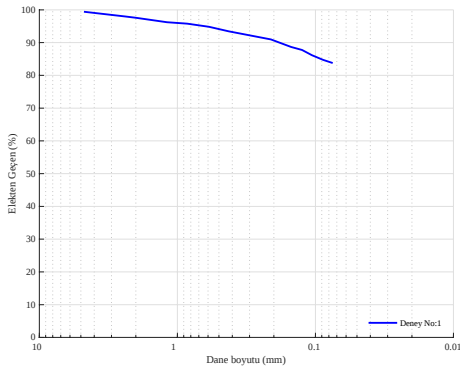
İyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası CBR değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla zeminin katkılı ve katkısız durumları için CBR deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler 4 farklı kür süresinde tekrarlanmıştır. CBR numuneleri standart proktor deneyi sonucunda bulunan optimum su muhtevasında CBR kalıplarına 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.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

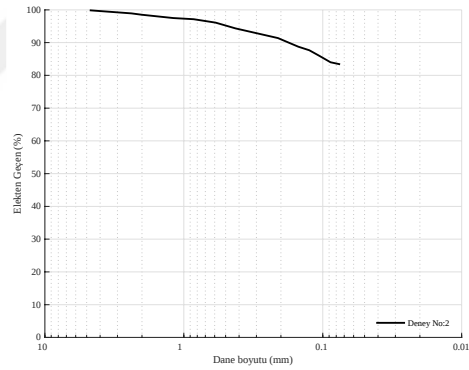
Tezin bu bölümünde deneysel çalışma kapsamında yapılan deneyler ve bu deneyler sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur.

4.1. Elek Analizi

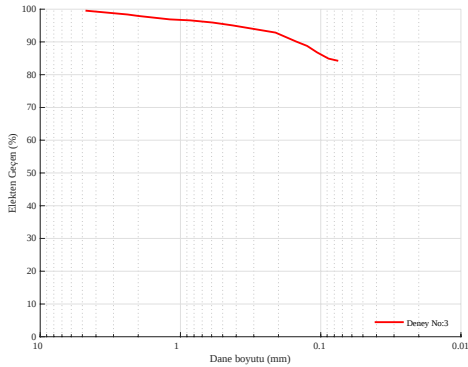
Zemin numunesinin dane dağılımını belirlemek amacıyla yıkamalı elek analizi deneyi gerçekleştirilmiştir. Zemin numunesinin gradasyon eğrisini daha gerçekçi bir şekilde temsil edebilmek için, elek analizi deneyleri 4 tekrar halinde yapılmıştır. Zemin numuneleri laboratuvara getirilen çuvallardan rastgele seçilen 4 çuvaldan alınmıştır. Deney sonuçları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



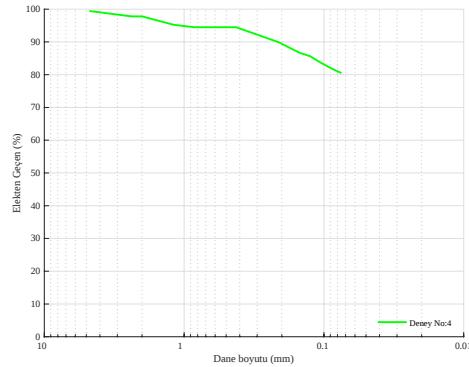
a) Deney No 1



b) Deney No 2



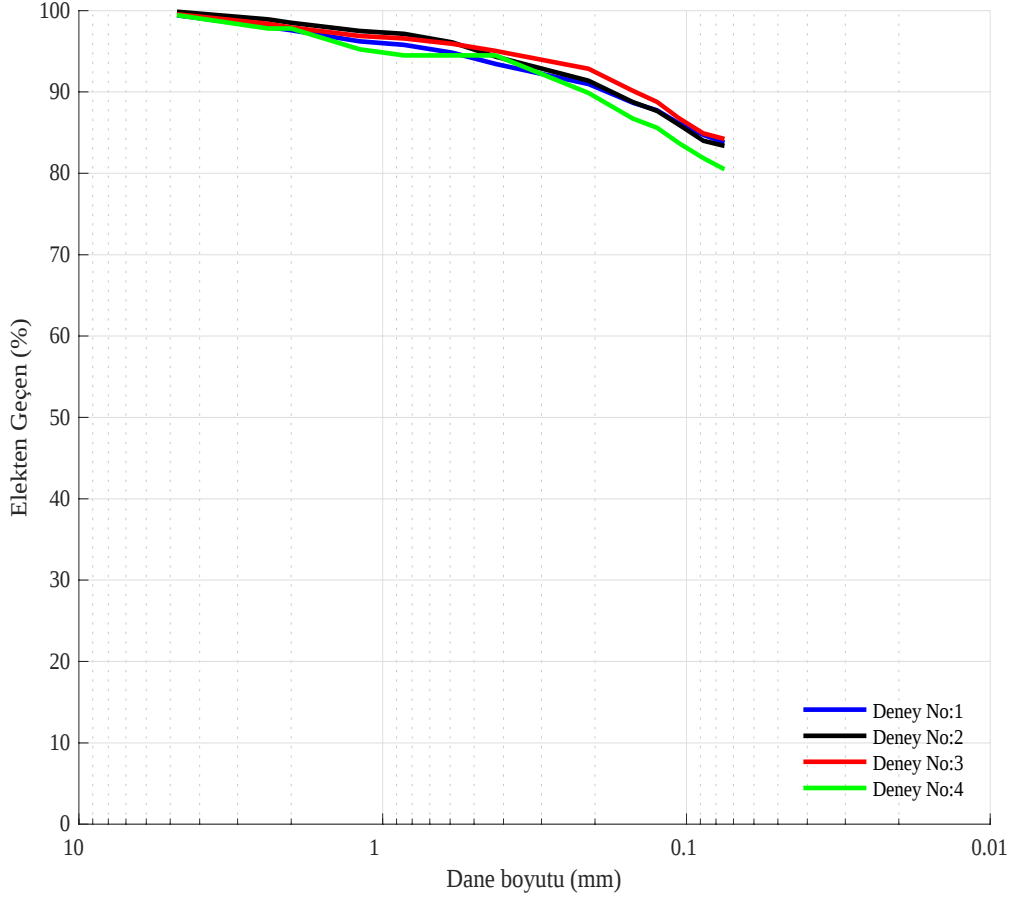
c) Deney No 3



d) Deney No 4

Şekil 4.1. Katkısız zemine ait granülometri eğrileri

Şekil 4.2’de ise elde edilen tüm veriler tek bir grafik halinde verilmiştir. Buradan da görüldüğü üzere 4 deney sonucunda çizilen gradasyon eğrileri birbirine oldukça yakındır.



Şekil 4.2. Elek analizi deney sonuçları toplu gösterim

Yapılan elek analizi deneyleri sonucunda zeminin ince dane oranının her bir deney sonucunda % 80 üzerinde çıktığı görülmüştür.

4.2. Kıvam Limitleri

Çizelge 4.1’de katkısız zemin ve katkısız zemine farklı oranlarda kireç katılması ile birlikte elde edilen kıvam limitleri verilmiştir.

Çizelgede LL, likit limiti, PL, plastik limiti, PI ise plastisite indisini temsil etmektedir.

Çizelge 4.1. Katkısız ve katkılı zeminler için kıvam limitleri

Numune Adı	LL	PL	PI
K0P0Ç0	51	19	32
K2P0Ç0	44	33	11
K4P0Ç0	NP	NP	NP
K0P10Ç0	50	24	26
K0P20Ç0	49	26	23
K2P10Ç0	42	35	7
K2P20Ç0	41	36	5
K4P10Ç0	NP	NP	NP
K4P20Ç0	NP	NP	NP
K0P0Ç5	47	28	19
K0P0Ç10	43	33	10

Çizelge 4.1’de numuneler K ile kireçi, P ile pirinç kabuğu külünü ve Ç ile çimentoyu temsil etmek üzere isimlendirilmiştir. Her harfin yanındaki rakam, karışımdaki kullanım oranını ifade etmektedir. Örneğin, K2P10Ç0, doğal zeminin kuru ağırlığının % 2’si kadar kireç, % 10’u kadar pirinç kabuğu külü ve % 0 oranında çimento ilave edildiğini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere zemine kireç katkısı katılması ile birlikte likit limit değerlerinde artış, plastik limit değerlerinde ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Kireç miktarının % 4 seviyesine gelmesi ile birlikte zemin numunesi NP (plastik olmayan) davranış göstermiştir.

4.3 Özgül Ağırlık

Çizelge 4.2’de farklı oranlarda katkıların zemine eklenmesi ile birlikte özgül ağırlık değerlerindeki değişimi gösterilmektedir.

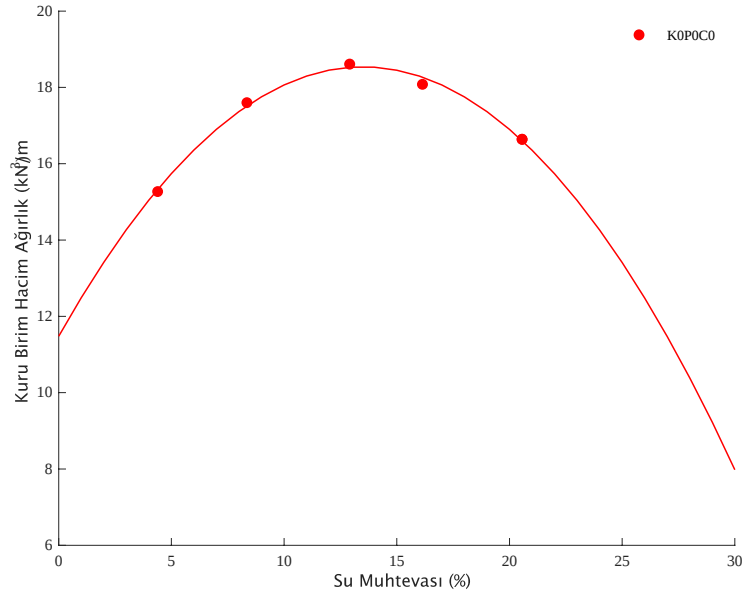
Çizelge 4.2. Karışım yüzdesinin değişimine göre özgül ağırlık değerlerindeki değişim

Numune Adı	Gs
K0P0Ç0	2,70
K2P0Ç0	2,67
K4P0Ç0	2,65
K0P10Ç0	2,59
K0P20Ç0	2,63
K2P10Ç0	2,58
K2P20Ç0	2,57
K4P10Ç0	2,51
K4P20Ç0	2,53
K0P0Ç5	2,65
K0P0Ç10	2,63

Çizelge 4.2 incelendiğinde zemine katkı katılması ile birlikte zeminin özgül ağırlık değerlerinde azalma eğilimi olduğu görülmüştür. Katkısız zeminin özgül ağırlık değeri 2,70 iken zemine % 4 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte bu değer 2,53'e düştüğü görülmektedir.

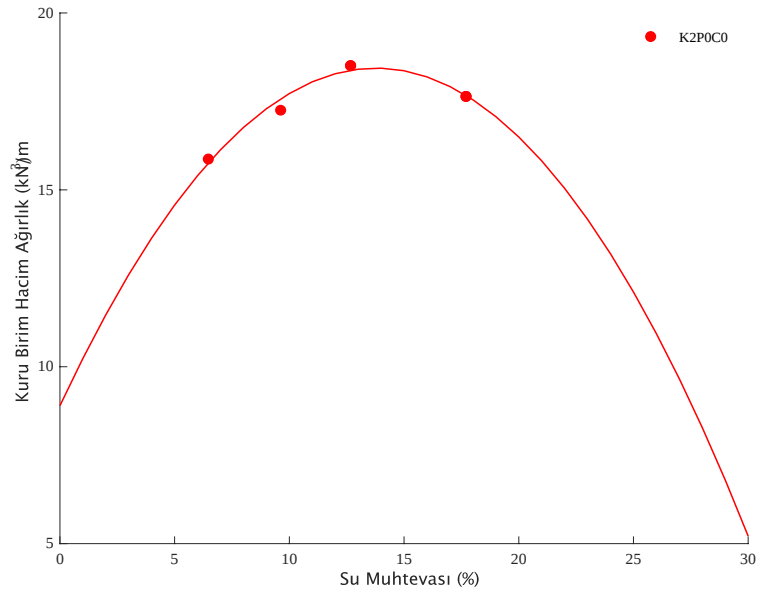
4.4 Kompaksiyon

Katkılı ve katkısız zeminler için toplam 12 adet kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda katkılı ve katkısız zeminlerin optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri bulunmuştur. Şekil 4.3'de katkısız zemin numunesi için yapılan kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen kompaksiyon eğrisi gösterilmiştir.



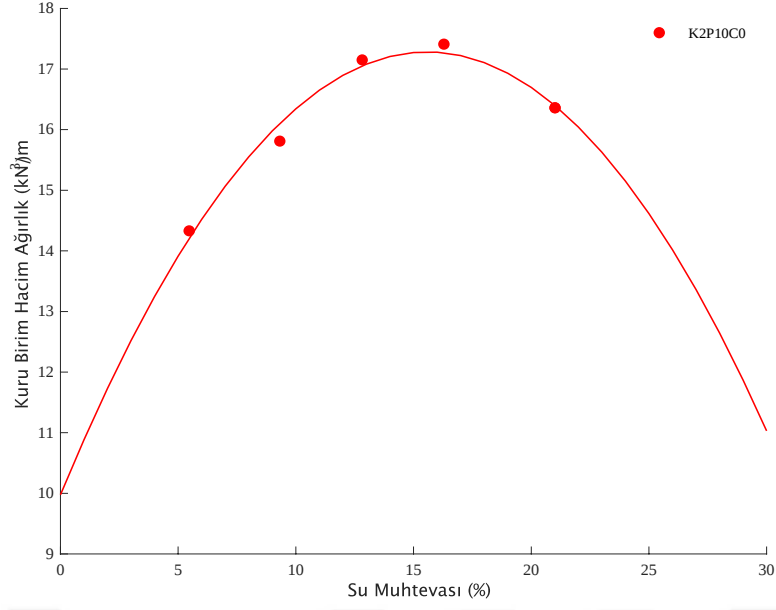
Şekil 4.3. K0P0C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Şekil 4.3 incelendiğinde katkısız zemin numunesinin optimum su muhtevasının % 13,50 maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin $18,54 \text{ kN/m}^3$ olduğu görülmektedir.



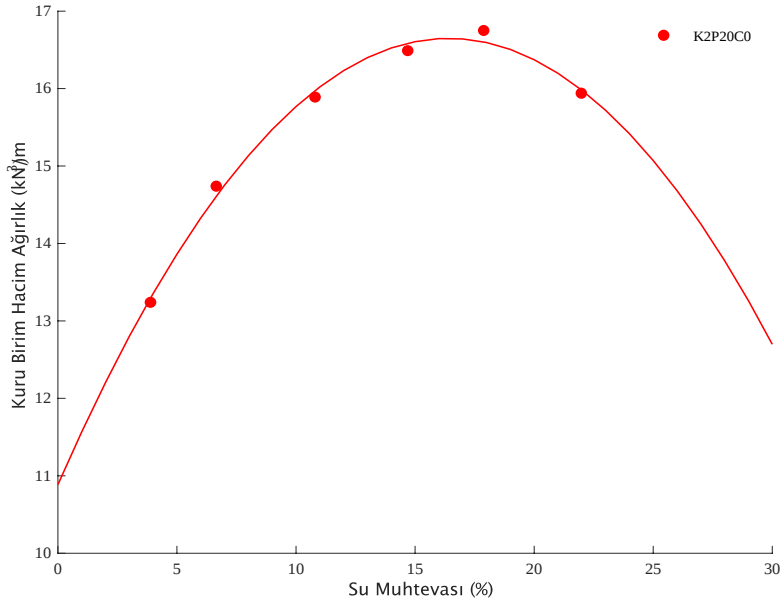
Şekil 4.4. K2P0C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Şekil 4.4’de K2P0C0 numunesi için elde edilen kompaksiyon eğrisi sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere zemin numunesinin optimum su muhtevasının % 13,78 maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin $18,44 \text{ kN/m}^3$ olduğu görülmektedir.



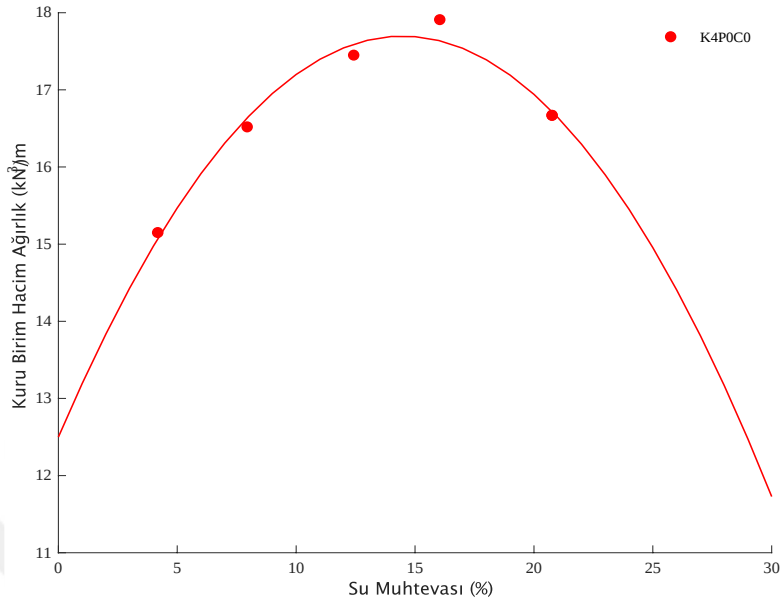
Şekil 4.5. K2P10C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Şekil 4.5’de zemine % 2 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü, Şekil 4.6’da ise % 2 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte yapılan kompaksiyon deneyi sonucunda çizilen kompaksiyon eğrileri verilmiştir. Eğrilerden de görüldüğü üzere K2P10C0 numunesi için optimum su muhtevası % 15,58, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri 17,28 kN/m³, K2P20C0 numunesi için ise optimum su muhtevası % 16,41, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise 16,65 kN/m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. K2P20C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

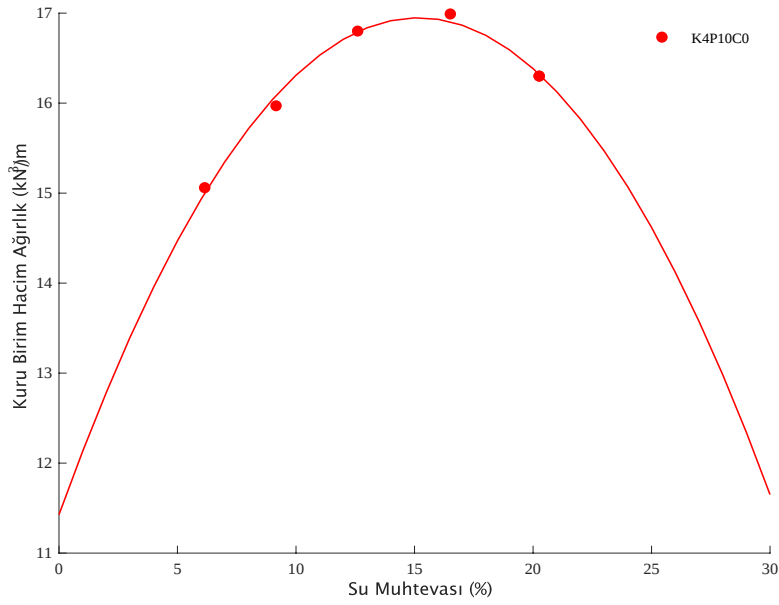
Şekil 4.7’de zemine % 4 kireç katkılı zemine ait kompaksiyon eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.7. K4P0C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

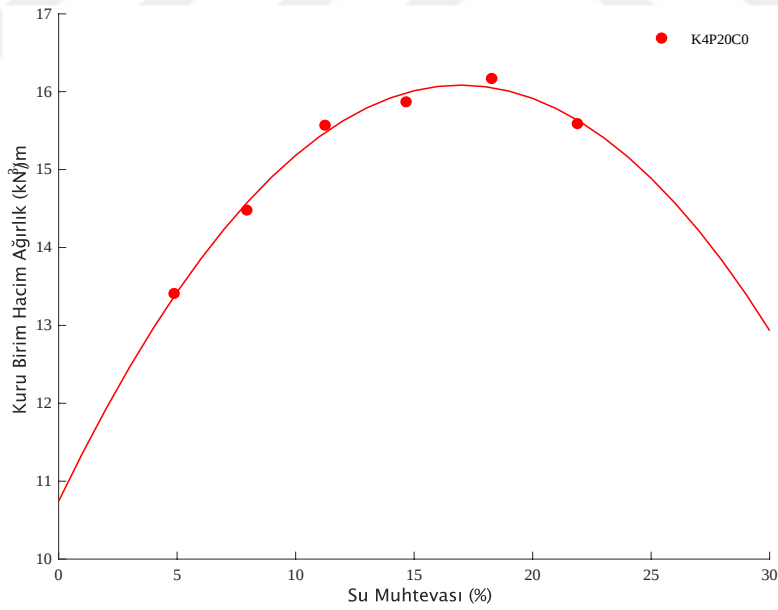
Şekil 4.7’de görüldüğü gibi K4P0C0 numunesinin optimum su muhtevası % 14,48, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise 17,70 kN/m³ olarak belirlenmiştir.

K4P10C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi ise Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Buna göre K4P10C0 numunesi için optimum su muhtevası % 15,16, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri 16,95 kN/m³ olarak bulunmuştur.

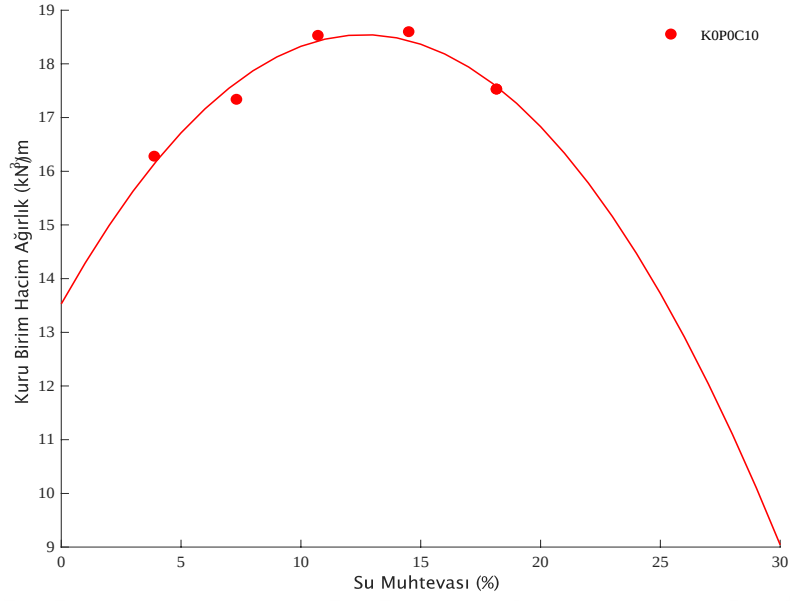


Şekil 4.8. K4P10C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Şekil 4.9'da zemine % 4 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü, Şekil 4.10'da ise % 10 çimento katılması ile birlikte yapılan kompaksiyon deneyi ve sonucunda çizilen kompaksiyon eğrileri verilmiştir.

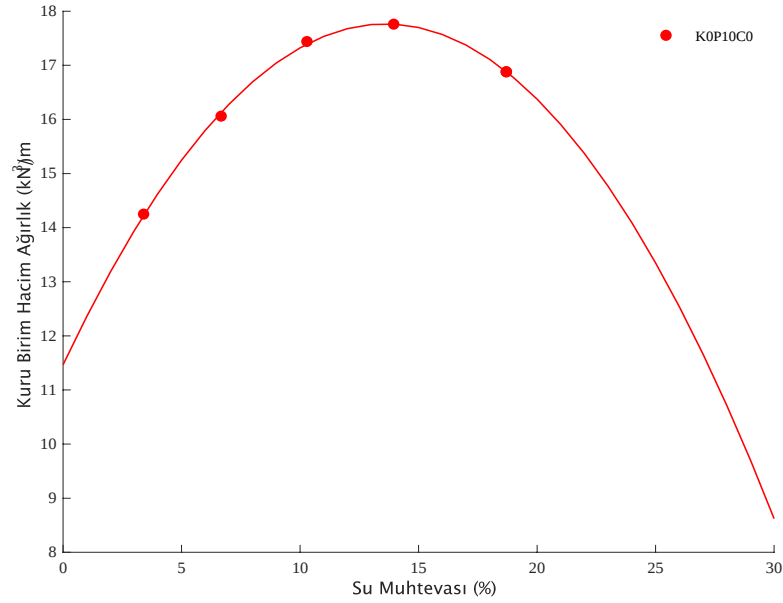


Şekil 4.9. K4P20C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi



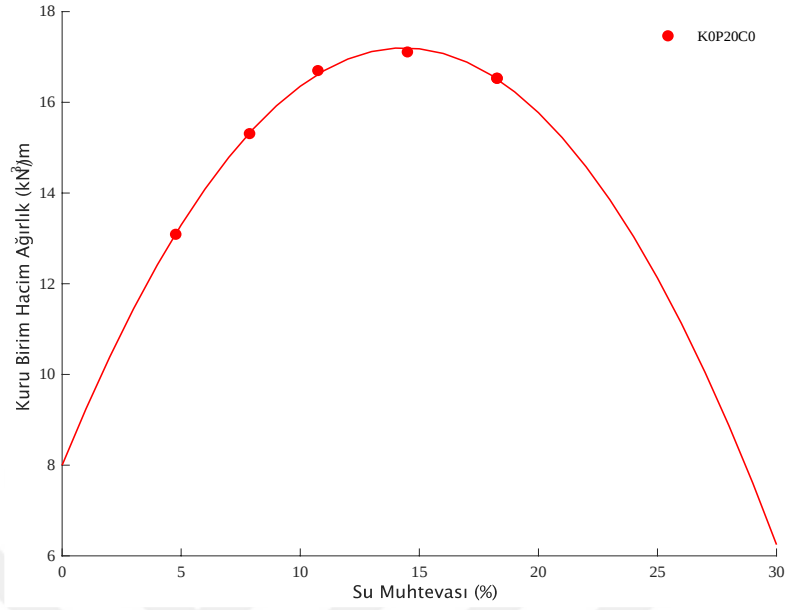
Şekil 4.10. K0P0C10 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Şekil 4.11’de zemine % 10 pirinç kabuğu külü katılan zemine ait kompaksiyon eğrisi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bu numuneye ait optimum su muhtevası % 12,62, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri 18,54 kN/m³ olarak belirlenmiştir.



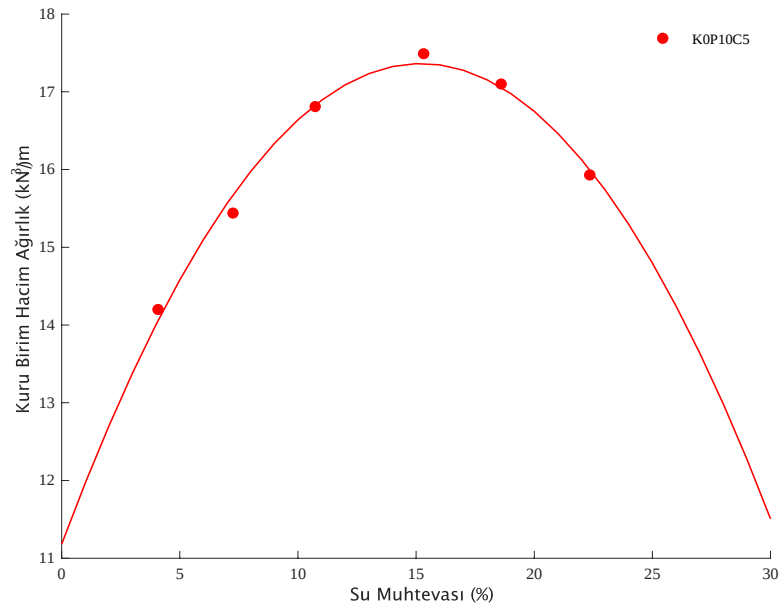
Şekil 4.11. K0P10C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Yapılan kompaksiyon deneyi sonucunda K0P20C0 numunesi için elde edilen kompaksiyon eğrisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



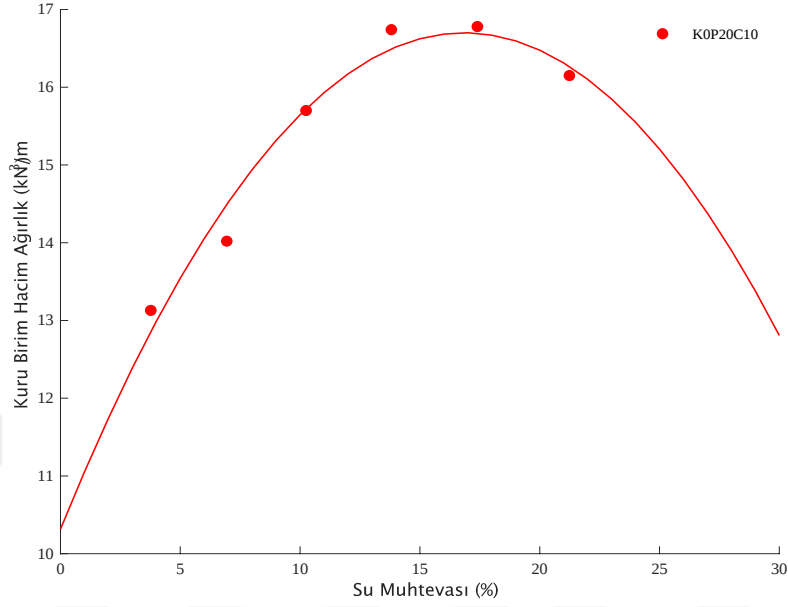
Şekil 4.12. K0P20C0 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi K0P20C0 numunesinin optimum su muhtevası %14,35, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise 17,20 kN/m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.13. K0P10C5 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

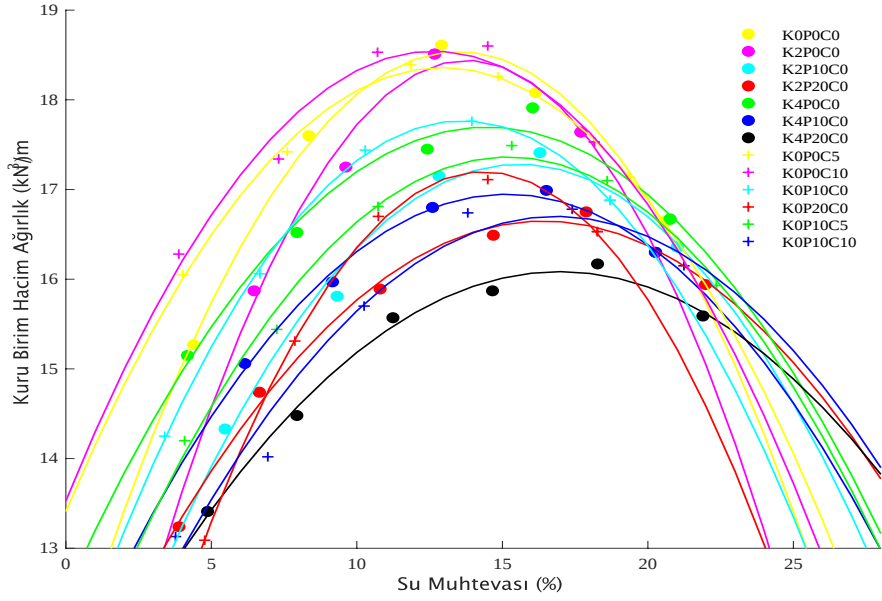
Şekil 4.13’de zemine % 10 pirinç kabuğu külü + % 5 çimento, Şekil 4.14’de ise % 20 pirinç kabuğu külü + % 10 çimento katılması ile birlikte yapılan kompaksiyon deneyi sonucunda çizilen kompaksiyon eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.14. K0P20C10 numunesine ait kompaksiyon eğrisi

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 görüldüğü gibi K0P10C5 numunesinin optimum su muhtevası %15,20, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri 17,36 kN/m³, K0P20C10 numunesinin optimum su muhtevası % 16,85, maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri 16,70 kN/m³ olarak belirlenmiştir.

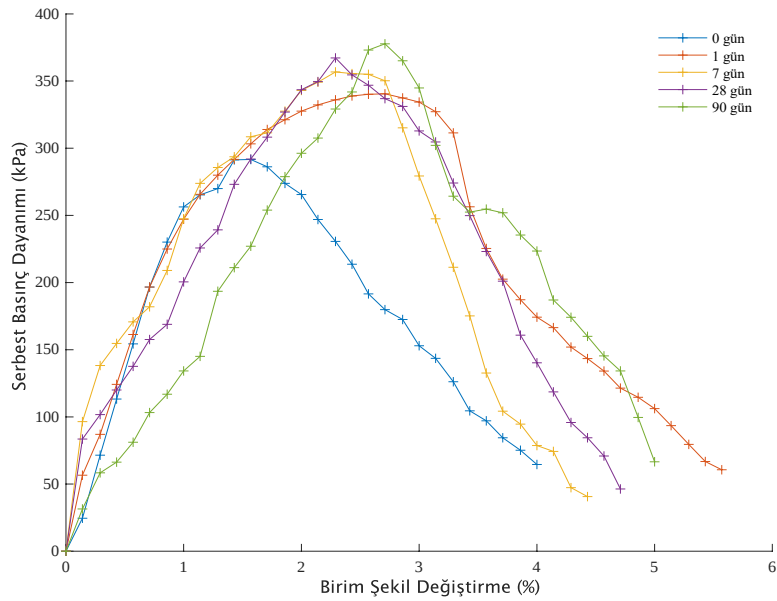
Farklı katkı oranları için yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda belirlenen kompaksiyon eğrilerinin karşılaştırılarak değerlendirilebilmesi amacıyla tüm numuneler için elde edilen kompaksiyon eğrileri Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Tüm numuneler ait kompaksiyon eğrileri

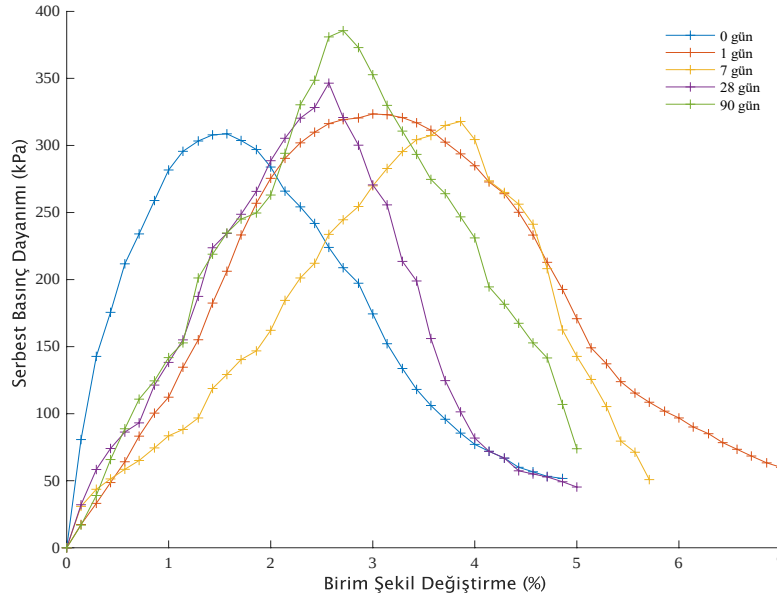
4.5 Serbest Basınç Deneyi

Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenen numuneler üzerinde farklı kür süreleri ve katkı oranlarında serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler bu kısımda sunulmuştur.



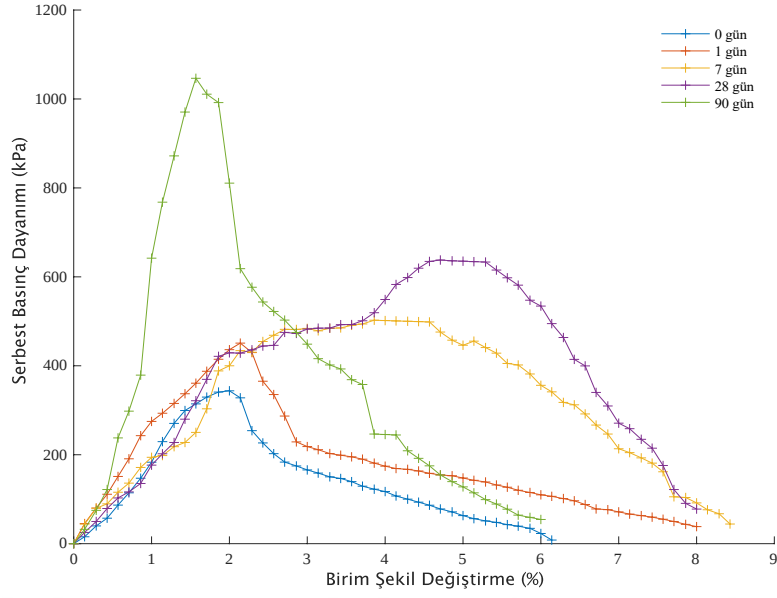
Şekil 4.16. K0P10C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

Şekil 4.16’da K0P10C0 numunesi için farklı kür sürelerinde yapılan serbest basınç deneyi sonucunda elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere kür edilmeyen zemin numunesi için serbest basınç mukavemeti değeri 292 kPa iken 90 gün kür süresi sonunda ise 378 kPa olarak bulunmuştur.



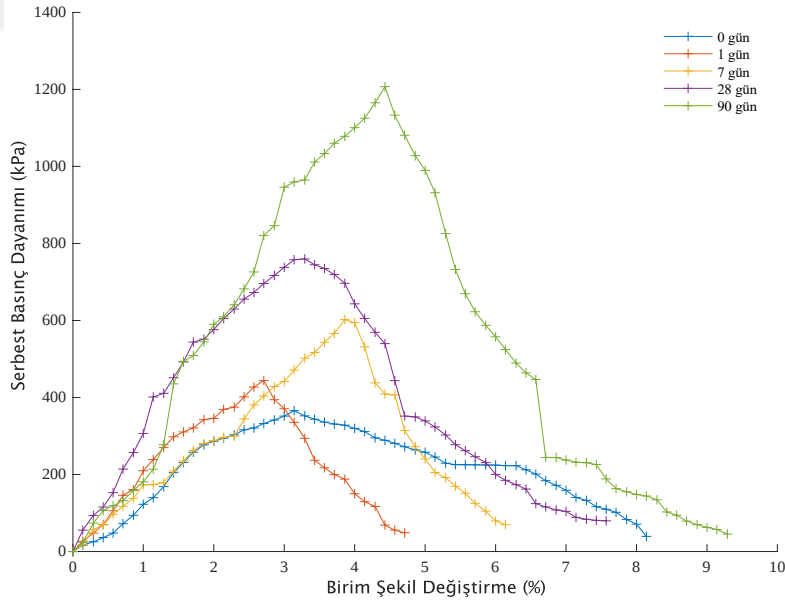
Şekil 4.17. K0P20C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

Şekil 4.17’de K0P20C0, Şekil 4.18’de ise K2P0C0 numunelerine ait gerilme – şekil değiştirme eğrileri verilmiştir.



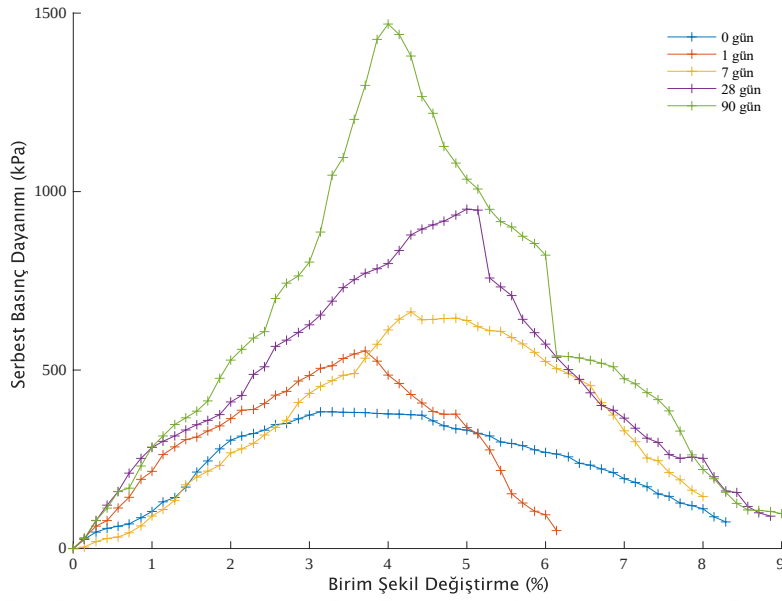
Şekil 4.18. K2P0C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

K0P20C0 numunesi için elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri farklı kür süreleri için 309 kPa ile 386 kPa arasında değişirken, K2P0C0 numunesi için 344 kPa ile 1046 kPa arasında değişmiştir.



Şekil 4.19. K2P10C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

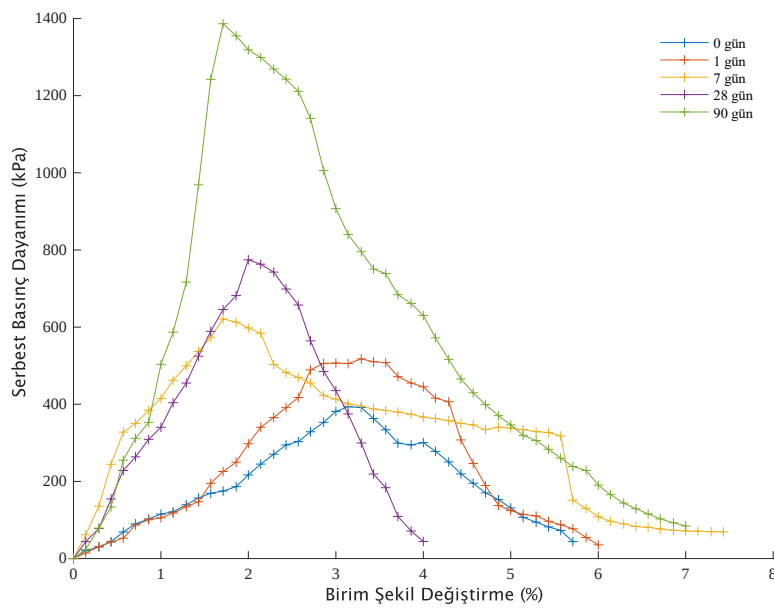
K2P10C0 numunesi için farklı kür süreleri için elde edilen gerilme – şekil değişirme eğrileri Şekil 4.19, K2P20C0 numunesi için ise Şekil 4.20’de sunulmuştur.



Şekil 4.20. K2P20C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

K20P10C0 numunesi için elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri farklı kür süreleri için 366 kPa ile 1207 kPa arasında değişirken, K2P20C0 numunesi için 383 kPa ile 1469 kPa arasında değişmiştir.

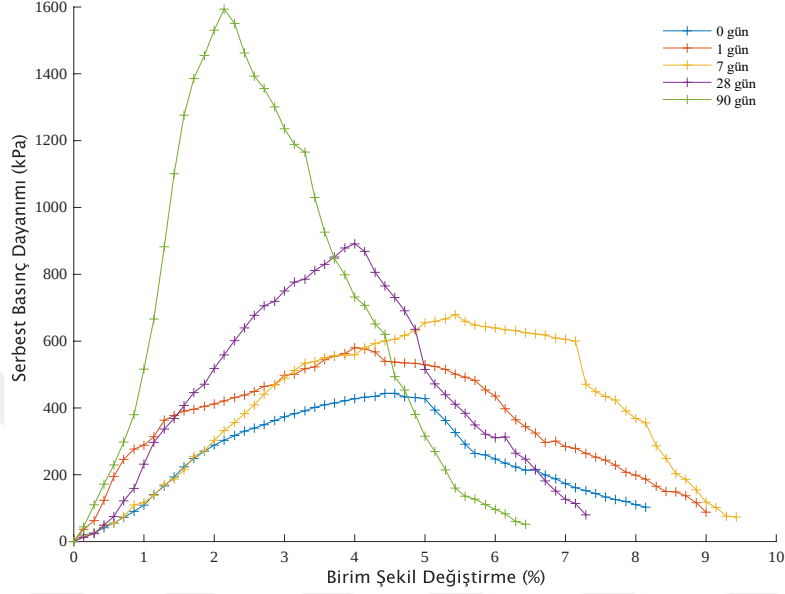
Şekil 4.21 ve 4.22’de sırasıyla K4P0C0 ve K4P10C0 numuneleri için elde edilen gerilme - şekil değiştirme eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.21. K4P0C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

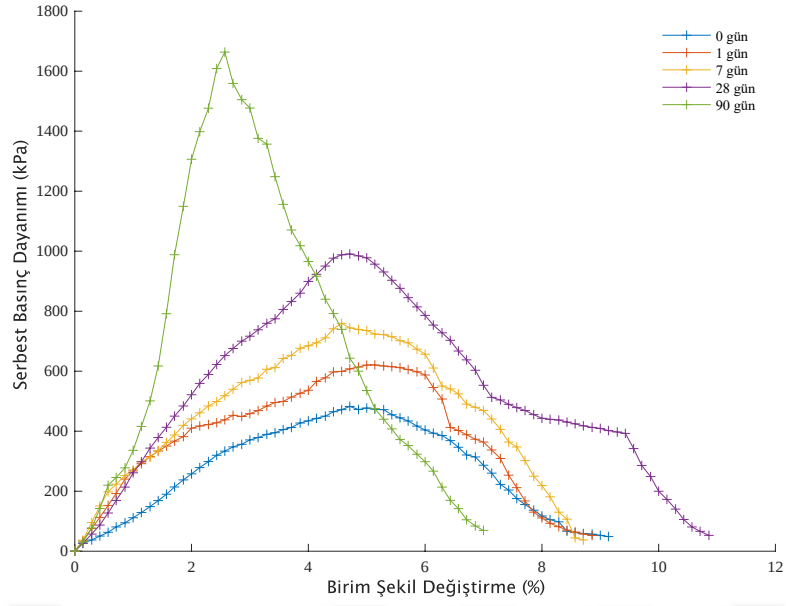
Şekil 4.21’de görüldüğü gibi K4P0C0 numunesi için serbest basınç mukavemeti değeri 90 gün kür süresi sonunda 1386 kPa olarak belirlenmiştir

.



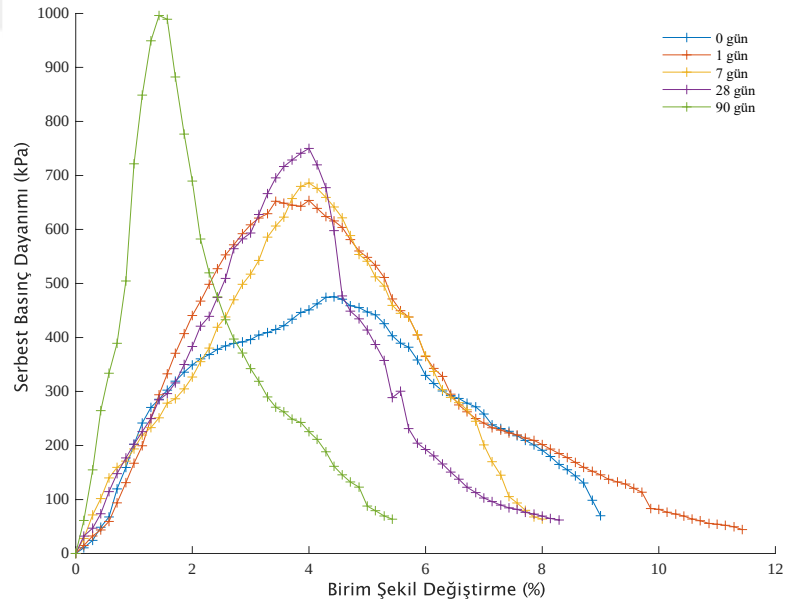
Şekil 4.22. K4P10C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

Şekil 4.22 incelendiğinde K4P10C0 numunesi için en düşük serbest basınç mukavemeti değeri 483 kPa olurken en yüksek değer ise 90 gün kür süresi sonunda 1664 kPa olarak belirlenmiştir.



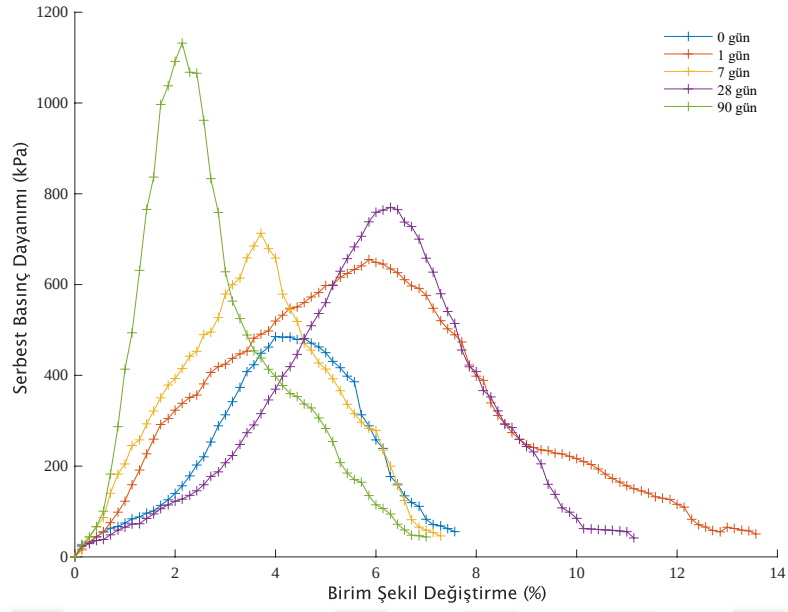
Şekil 4.23. K4P20C0 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

Şekil 4.23 ve 4.24’de sırasıyla K4P20C0 ve K0P0C5 numunelerine ait gerilme – şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. K4P20C0 numunesine ait eğriler incelendiğinde serbest basınç mukavemeti değerinin 483 kPa ile 1664 kPa aralığında değiştiği görülmektedir.



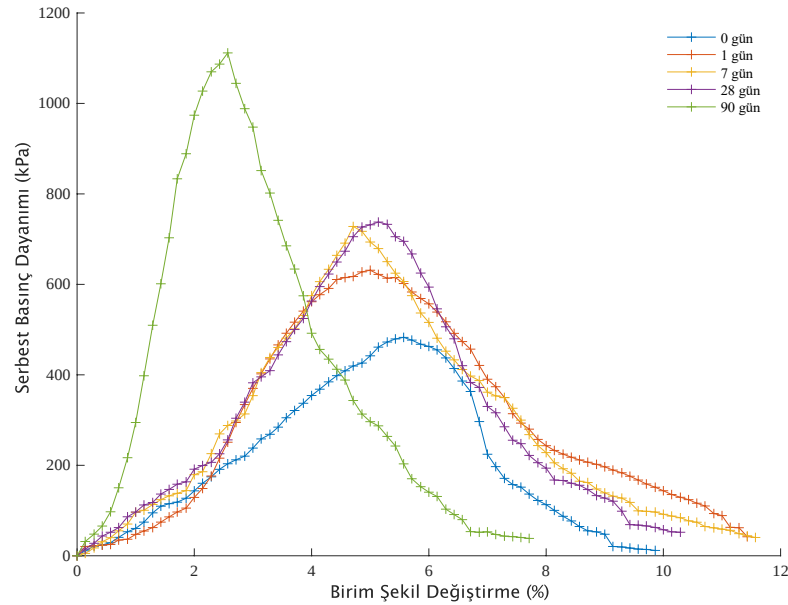
Şekil 4.24. K0P0C5 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

K0P0C5 numunesi için elde edilen en yüksek serbest basınç mukavemeti değeri 996 kPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.25. K0P10C5 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

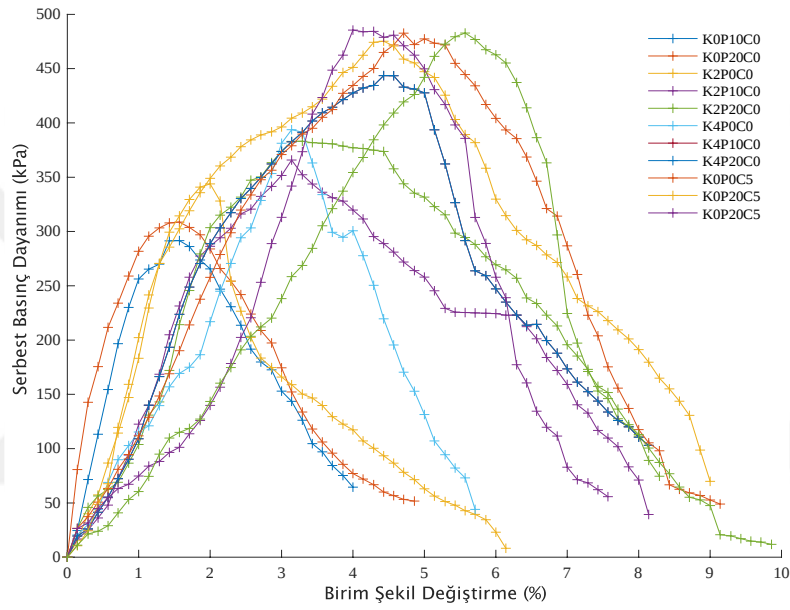
Şekil 4.25 ve 4.26’da sırasıyla K0P10C5 ve K0P20C5 numunelerine ait gerilme – şekil değiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 4.25 ve 4.26’da verilmiştir. Farklı kür süreleri için çizilen gerilme – şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde serbest basınç mukavemeti değerlerinin K0P10C5 numunesi için 486 kPa ile 1132 kPa aralığında olduğu görülmektedir.



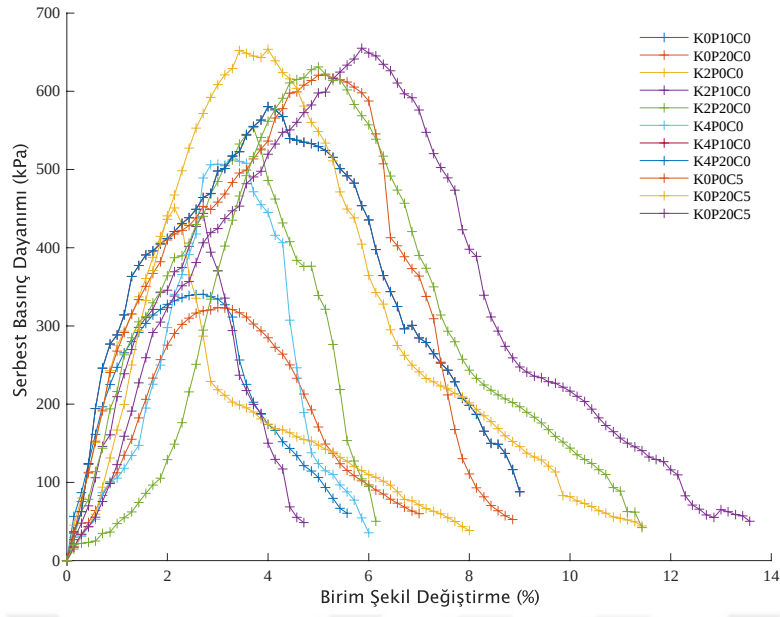
Şekil 4.26. K0P20C5 numunesi için farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı

Şekil 4.26’da görüldüğü üzere kür edilmeyen zemin numunesi için serbest basınç mukavemeti değeri 483 kPa iken 90 gün kür süresi sonunda ise 1112 kPa olarak bulunmuştur.

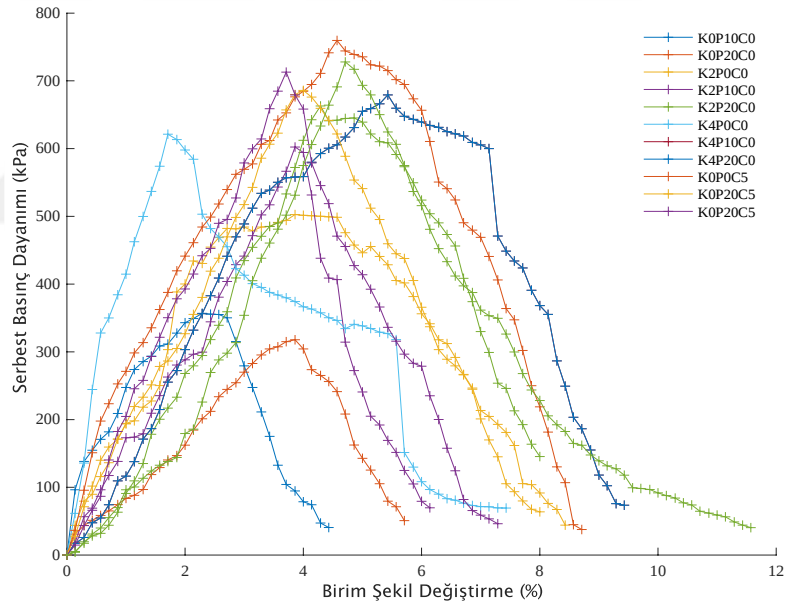
Katkılı zeminlerin serbest basınç mukavemetindeki değişimin karşılaştırmalı olarak gösterilmesi amacıyla kür süresine bağlı olarak tüm zemin numunelerinin gerilme – şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.27 – 4.31 aralığında verilmiştir. Burada sırasıyla anlık, 1 günlük, 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük kür süreleri sonucunda elde edilen grafikler sunulmuştur.



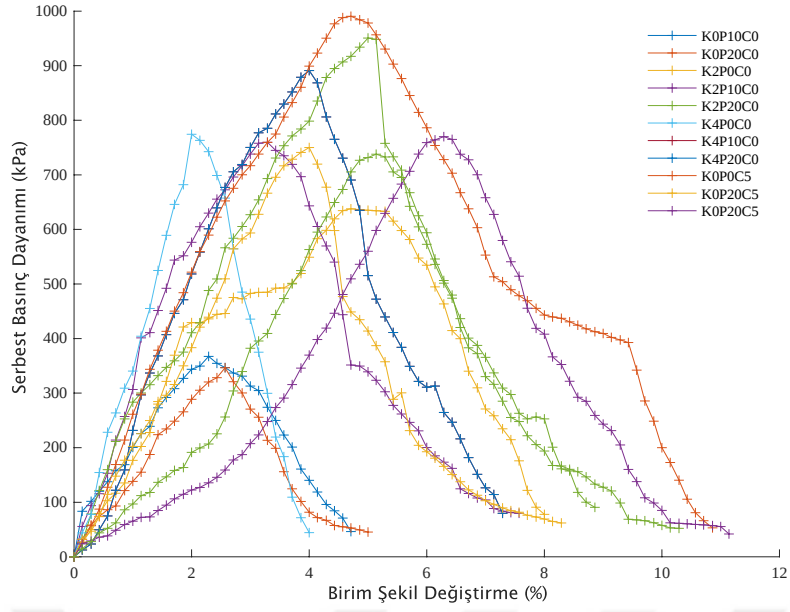
Şekil 4.27. Anlık kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı



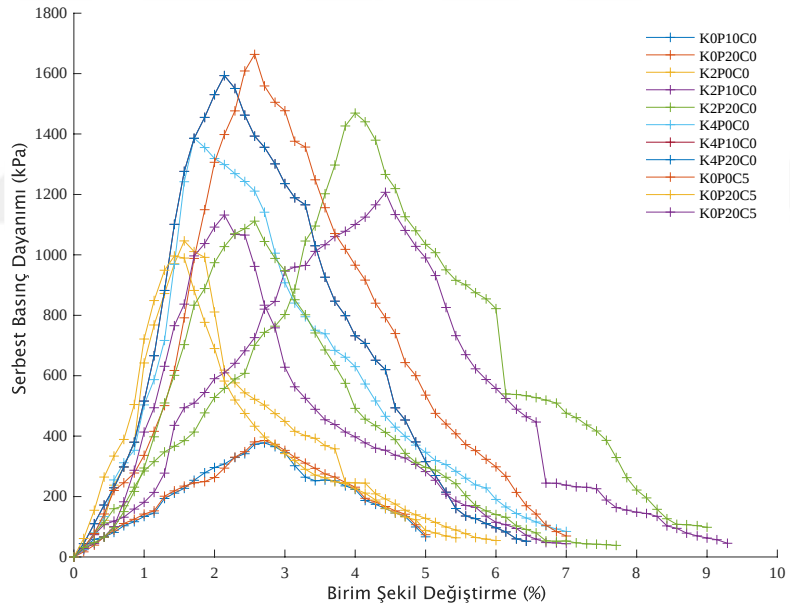
Şekil 4.28. 1 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı



Şekil 4.29. 7 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı



Şekil 4.30. 28 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı

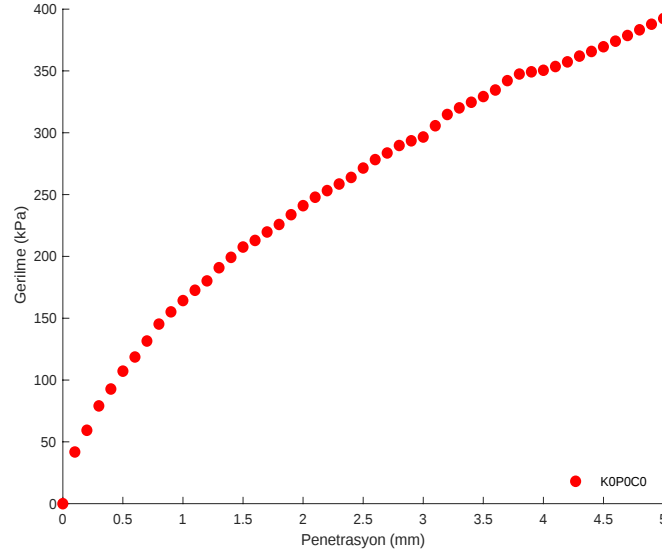


Şekil 4.31. 90 gün kür süresi için karşılaştırmalı serbest basınç dayanımı

4.6 CBR Deneyi

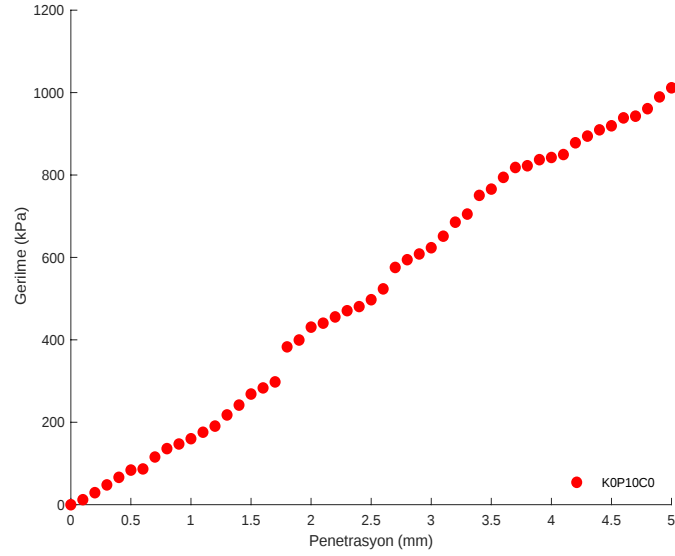
CBR deney numunelerinin hazırlanması için zemin numuneleri CBR kalıplarına standart proktor enerjisinde yerleştirilmiştir. Kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü katkılı numunelerde zemine katkı ve optimum su muhtevası kadar su katılarak zemin homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karışım 1 saat beklendikten sonra kalıp içerisine

sıkıştırılmıştır. Kalıp içerisine sıkıştırılan zemin numuneleri 90 gün süresince kür edilmiştir. Kür süresi tamamlanan zemin numuneleri, tamamı su içerisinde kalacak şekilde kür havuzlarına koyulmuş ve 4 gün süresince su içerisinde bekletilmiştir. Bu dört gün boyunca numunelerde meydana gelen şişme miktarları ölçülmüştür. Zemin su içerisinde çıkarıldıktan sonra CBR deneyine tabi tutulmuştur. CBR deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-penetrasyon eğrileri Şekil 4.32 ile Şekil 4.43 arasında gösterilmiştir.



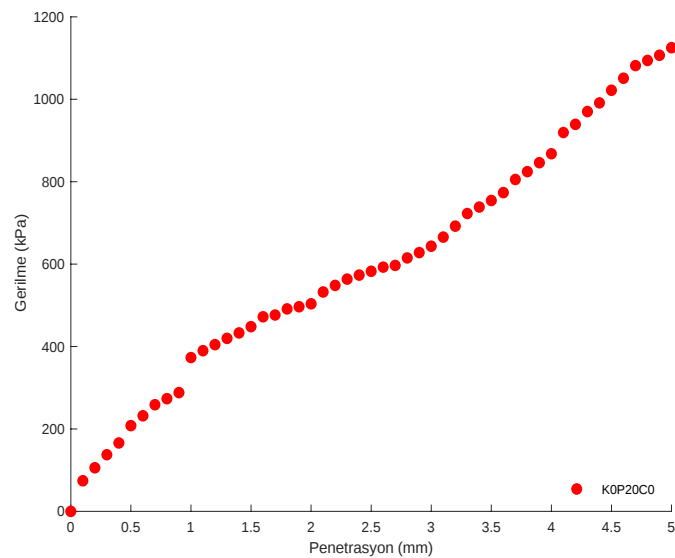
Şekil 4.32. K0P0C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi K0P0C0 zemin numunesi için en yüksek gerilme değeri 392 kPa olarak belirlenmiştir.



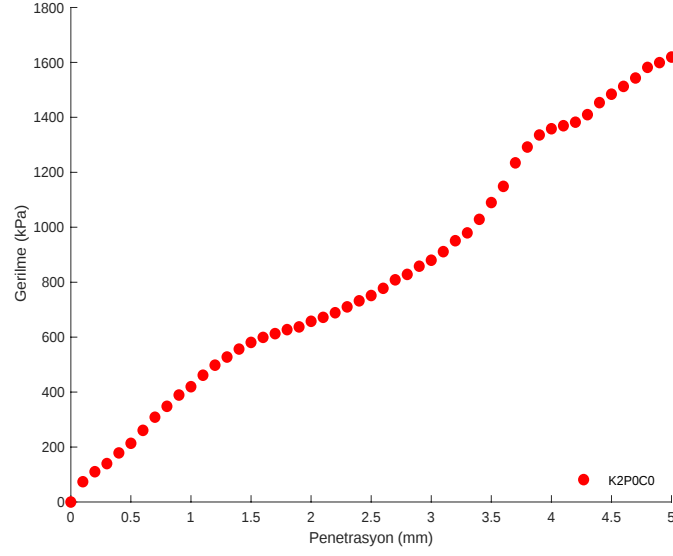
Şekil 4.33. K0P10C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

Şekil 4.33’de zemin numunesine % 10 pirinç kabuğu külü katılmış, Şekil 4.34’de ise zemin numunesine % 20 pirinç kabuğu külü katılmış numunelere ait CBR eğrileri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde % 10 pirinç kabuğu külü katkısı için maksimum gerilme değeri 1011 kPa olarak belirlenirken, % 20 pirinç kabuğu katkılı zemin için 1125 kPa olarak belirlenmiştir.

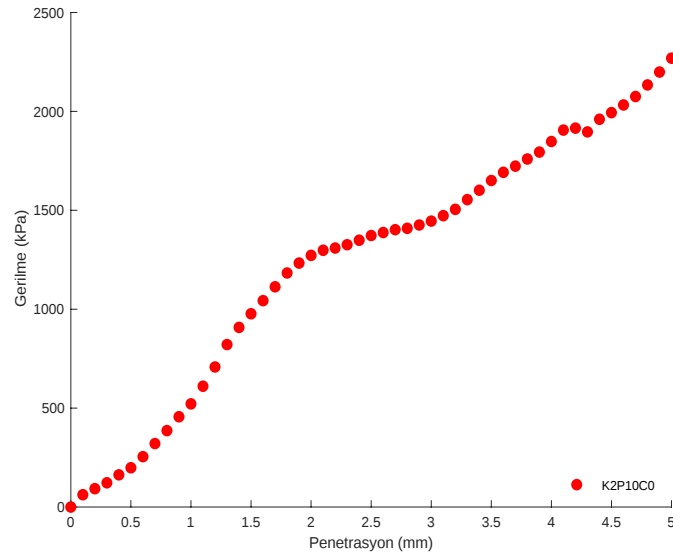


Şekil 4.34. K0P20C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

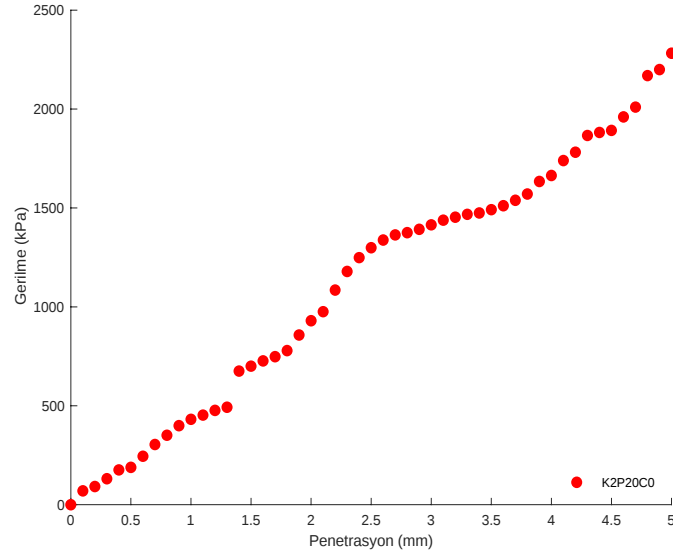
Şekil 4.35’de zemin numunesine % 2 kireç katılması durumunda elde edilen CBR eğrisi verilirken, Şekil 4.36’de % 2 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü, Şekil 4.37’de ise % 2 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü katkılı zemin numunelerine ait CBR eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.35. K2P0C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi



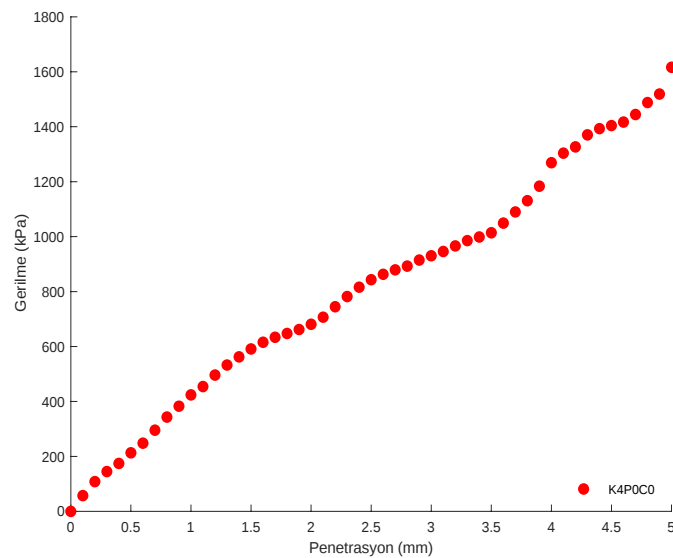
Şekil 4.36. K2P10C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi



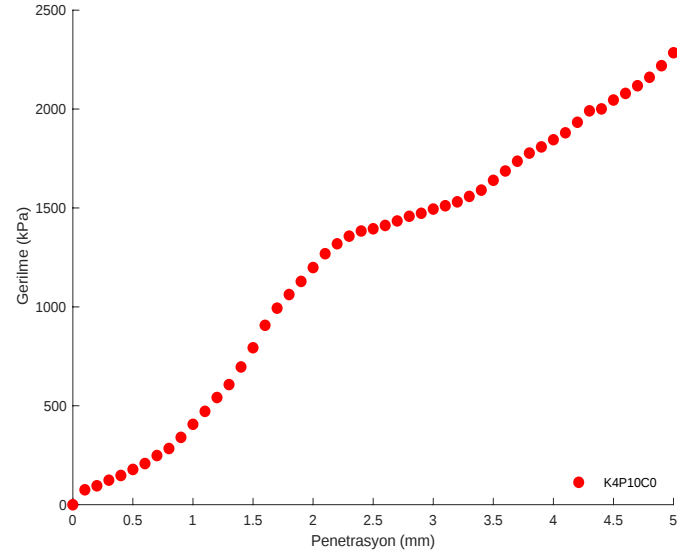
Şekil 4.37. K2P20C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

Şekil 4.35, 4.36 ve 4.37 incelendiğinde K2P0C0, K2P10C0 ve K2P20C0 numuneleri için maksimum gerilme değerlerinin sırasıyla 1620 kPa, 2267 kPa ve 2282 kPa olduğu görülmektedir.

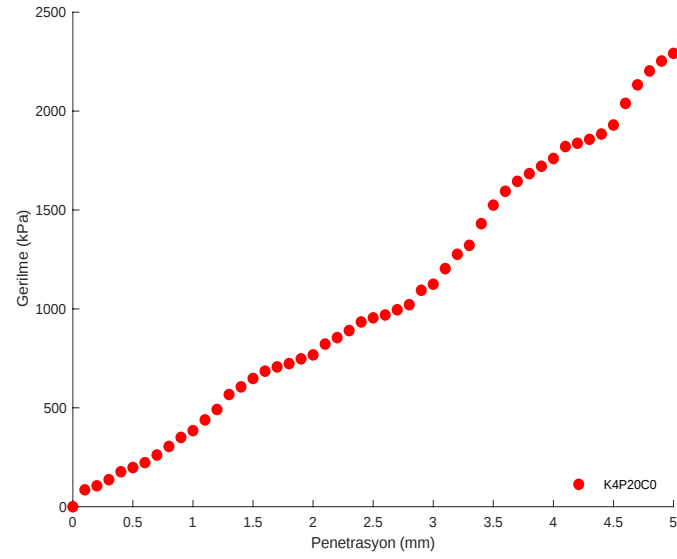
Şekil 4.38’de zemin numunesine % 4 kireç katılması durumunda elde edilen CBR eğrisi verilirken, Şekil 4.39’da % 4 kireç + % 10 pirinç kabuğu külü, Şekil 4.40’da ise % 4 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü katkılı zemin numunelerine ait CBR eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.38. K4P0C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

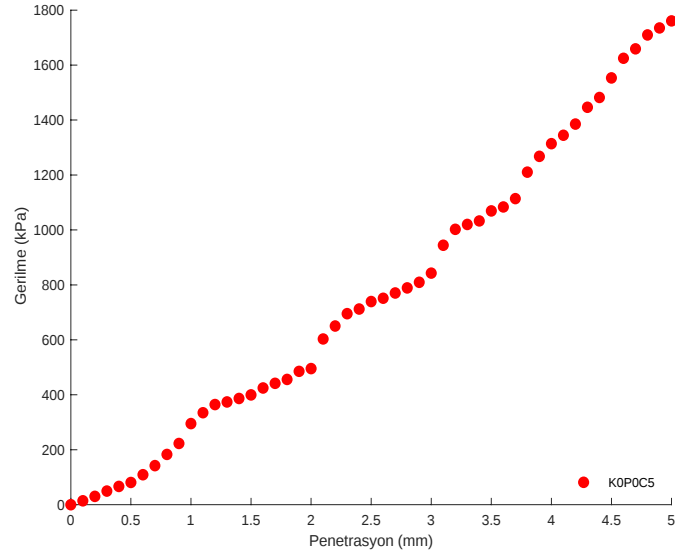


Şekil 4.39. K4P10C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi



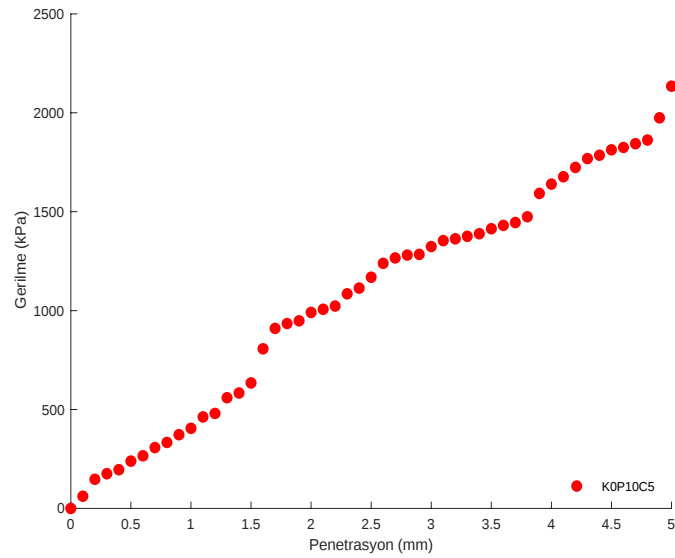
Şekil 4.40. K4P20C0 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40 incelendiğinde K4P0C0, K4P10C0 ve K4P20C0 numuneleri için maksimum gerilme değerlerinin sırasıyla 1616 kPa, 2285 kPa ve 2291 kPa olduğu görülmektedir.

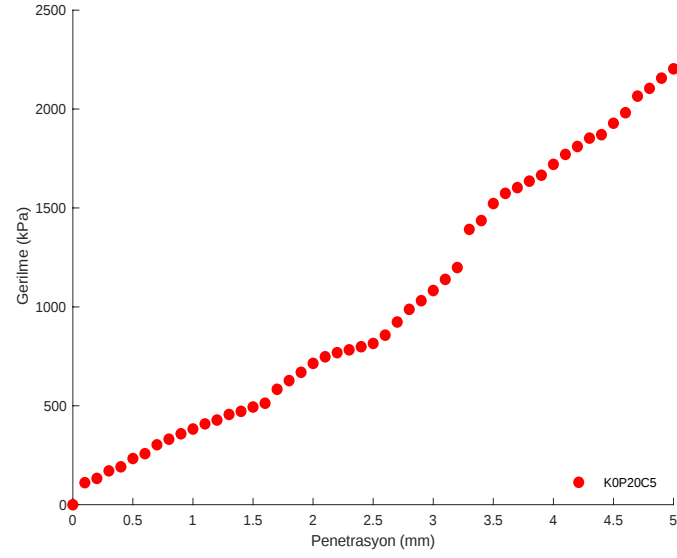


Şekil 4.41. K0P0C5 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

Şekil 4.41’de zemin numunesine % 5 çimento katılması durumunda elde edilen CBR eğrisi verilirken, Şekil 4.42’de % 5 çimento + % 10 pirinç kabuğu külü, Şekil 4.43’de ise % 5 çimento + % 20 pirinç kabuğu külü katkılı zemin numunelerine ait CBR eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.42. K0P10C5 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi



Şekil 4.43. K0P20C5 numunesi için 90 günlük CBR eğrisi

Şekil 4.41, 4.42 ve 4.43 incelendiğinde K0P0C5, K0P10C5 ve K0P20C5 numuneleri için maksimum gerilme değerlerinin sırasıyla 1761 kPa, 2134 kPa ve 2203 kPa olduğu görülmektedir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

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

5.1. Elek Analizi Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir zemin numunesi üzerinde 4 adet yıkamalı elek analizi yapılmıştır. Yapılan elek analizleri sonucunda zemin içerisinde bulunan çakıl, kum ve kil + silt yüzdeleri Çizelge 5.1’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 5.1. Zeminin bazı geoteknik özellikleri

	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Çakıl	0,59	0,15	0,45	0,56
Kum	15,64	16,48	15,33	18,94
Kil + Silt	83,77	83,37	84,22	80,50

Çizelge 5.1 incelendiğinde zemin numunesinin ince malzeme oranının % 80,50 ile % 84,22 aralığında değiştiği görülmektedir. Tez çalışması kapsamında ince daneli zeminlerin kireç, pirinç kabuğu külü ve çimento ile zemin iyileştirmesi yapılması planlanmıştır. Bu kapsamda elek analizi sonuçları değerlendirildiğinde zemin numunesinin çalışma kapsamında kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür.

5.2. Kıvam Limitleri Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kıvam limitleri deneyleri incelendiğinde zemin numunesine % 2 kireç katılması ile birlikte likit limit değerinin 44’e düştüğü, plastik limit değerinin 33’e yükseldiği ve bu değerlere bağlı olarak plastisite indisinin 11’e düştüğü görülmektedir. Kireç miktarının % 4’e çıkarılması ile birlikte zemin numunesi plastik olmayan davranış göstermiştir.

Aynı zemin numunesine pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte yine kireç katılmasında olduğu gibi likit limit değerinde düşüş, plastik limit değerinde yükselme ve bu değerlere

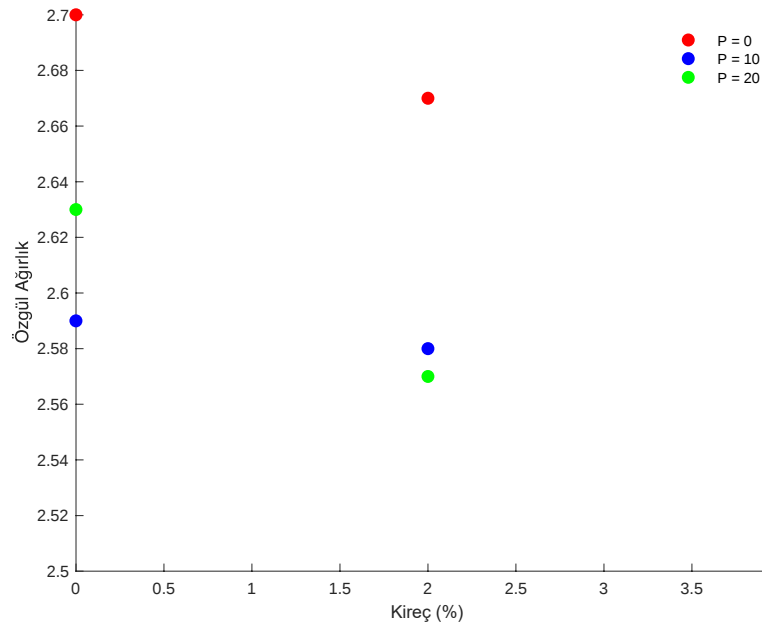
bağlı olarak plastisite indisi değerinde düşüş görülmektedir. Pirinç kabuğu külü katılması ile zeminin kıvam limitlerindeki düşüş ve yükselme oranları kireç katkısına göre daha düşük seviyede gerçekleşmiştir.

Zemin numunesine kireç ve pirinç kabuğu külünün birlikte katılması ile birlikte kıvam limitlerindeki davranış katkıların ayrı ayrı katılmasına benzer şekilde gerçekleşmiştir. Kirecin % 4 katılması ile birlikte zemin plastik olmayan davranış gösterdiği için % 4 kireç yüzdesi için pirinç kabuğu külünün kıvam limitleri değerlerine etkisi olmamıştır.

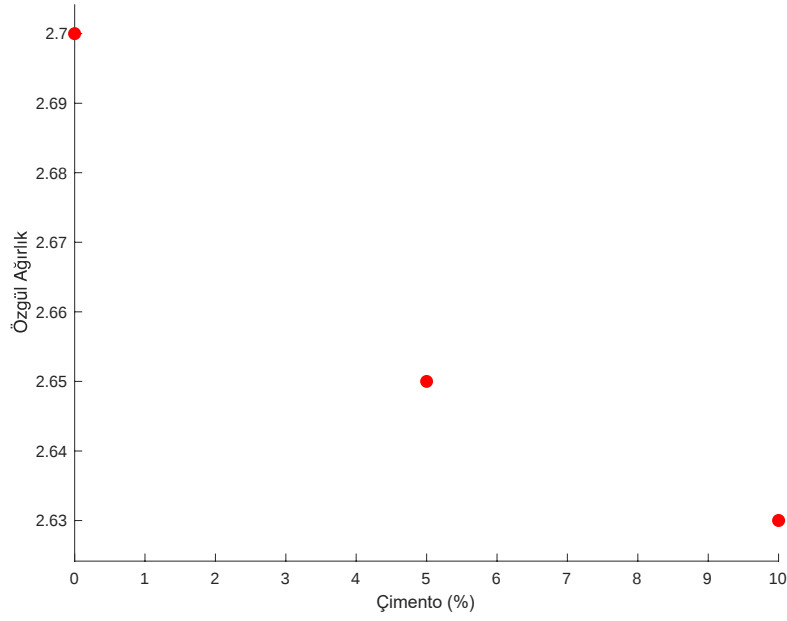
Zemin numunesine çimento katılması ile birlikte ise yine diğer katılarda olduğu gibi plastik limit değerinde azalma meydana gelmiştir.

5.3. Özgül Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Özgül ağırlık değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de grafik halinde sunulmuştur. Şekil 5.1’de zemine kireç ve pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte özgül ağırlık değerinde meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Şekilden de açık olarak görüldüğü gibi zemine kireç ve pirinç kabuğu külünün ayrı ayrı veya bir arada eklenmesi ile birlikte özgül ağırlık değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 5.1. Kireç ve pirinç kabuğu külüne bağlı özgül ağırlık değerleri



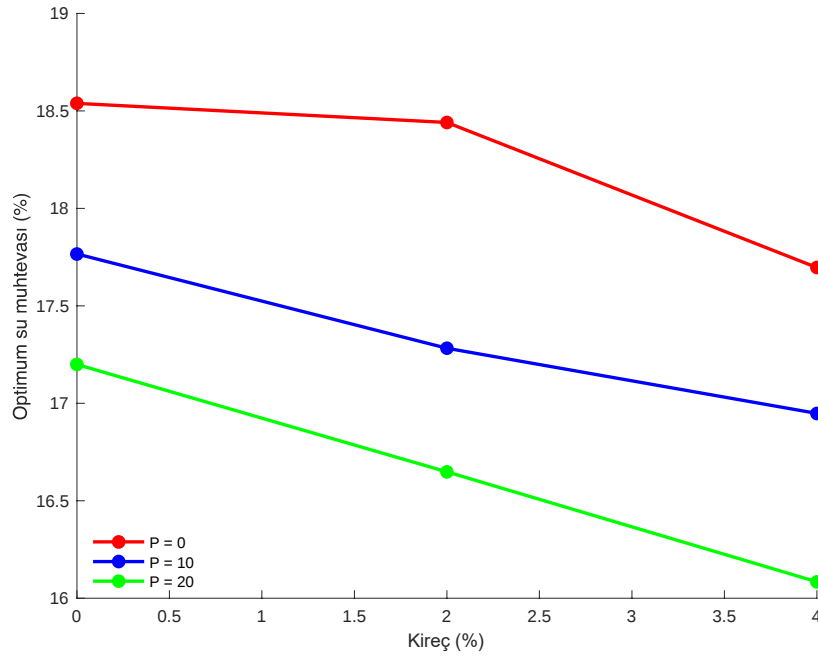
Şekil 5.2. Çimento miktarına bağlı özgül ağırlık değerleri

Şekil 5.2’de zemin numunesine çimento katılması ile birlikte özgül ağırlık değerindeki değişim gösterilmiştir. Zemine çimento katılması ile birlikte özgül ağırlık değeri beklendiği gibi düşüş göstermiştir.

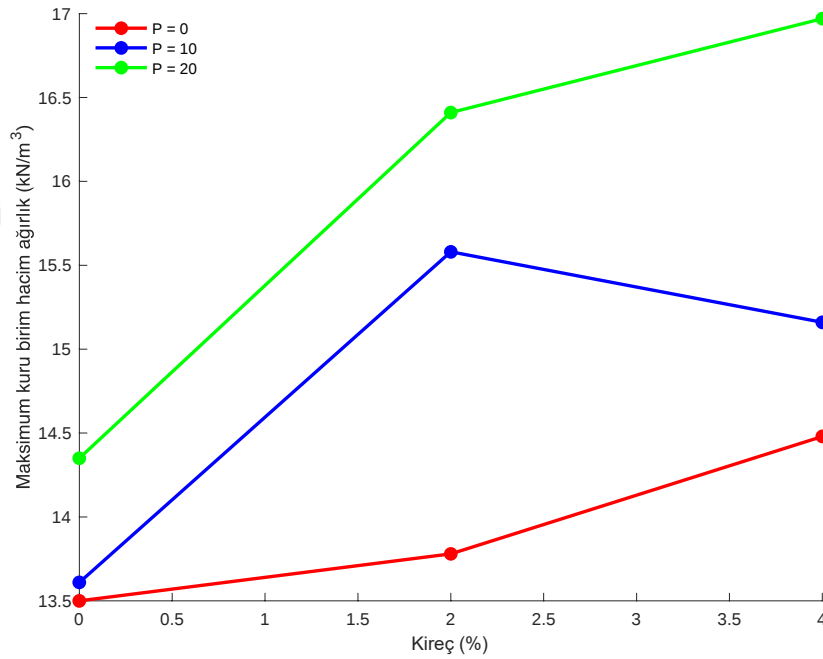
5.4. Kompaksiyon Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kireç ve pirinç kabuğu külünün zeminin kompaksiyon parametrelerine etkisi Şekil 5.3 yardımıyla gösterilmiştir. Farklı oranlarda bir arada veya ayrı ayrı kullanılan bu katkıların zeminin optimum su muhtevasına etkisi Şekil 5.3a’da, maksimum kuru birim hacim ağırlığına etkisi ise Şekil 5.3b’de sunulmuştur.

Şekil 5.3a’da açıkça görüldüğü üzere, zemine kireç ve pirinç kabuğu külünün ayrı ayrı veya bir arada katılmasıyla birlikte zeminin optimum su muhtevasının azaldığı gözlenmektedir. Her iki katkının da optimum su içeriği üzerindeki etkisi, optimum su muhtevasını azaltıcı yönde olduğu için her iki katkının bir arada kullanılması durumunda bu etki daha belirgin hale gelmiştir.



(a) Optimum su muhtevası

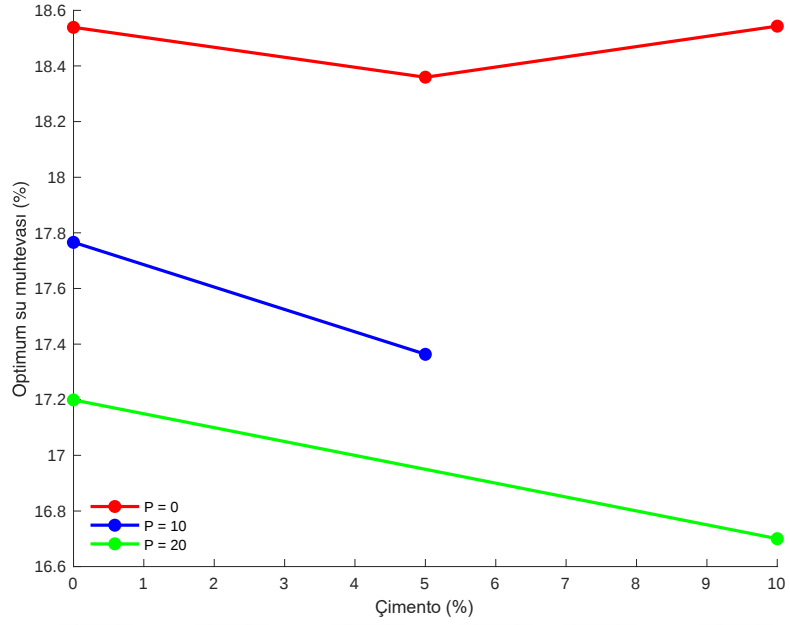


(b) Maksimum kuru birim hacim ağırlık

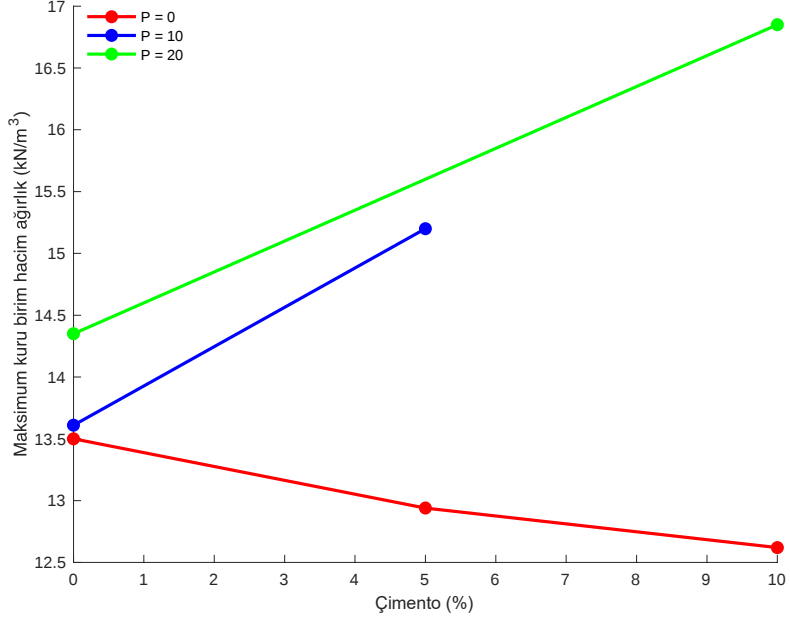
Şekil 5.3. Kireç ve pirinç kabuğu külü ile kompaksiyon parametrelerinin değişimi

Şekil 5.3b'de görüldüğü üzere, zemine kireç ve pirinç kabuğu külünün ayrı ayrı veya bir arada katılmasıyla birlikte zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri artış eğilimi göstermektedir. En büyük artış zemine % 4 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü katılması durumunda meydana gelmiştir.

Çimento ve pirinç kabuğu külünün zeminin kompaksiyon parametrelerine etkisi ise Şekil 5.4 yardımıyla gösterilmiştir. Farklı oranlarda bir arada veya ayrı ayrı kullanılan bu katkıların zeminin optimum su muhtevasına etkisi Şekil 5.4a'da, maksimum kuru birim hacim ağırlığına etkisi ise Şekil 5.4b'de sunulmuştur.



(a) Optimum su muhtevası



(b) Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Şekil 5.4. Çimento ve pirinç kabuğu külü ile kompaksiyon parametrelerinin değişimi

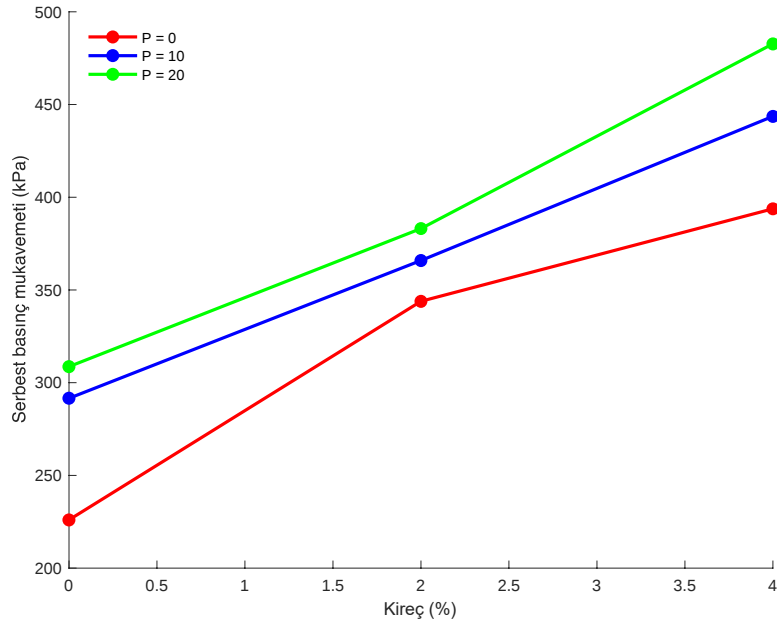
Şekil 5.4a incelendiğinde zemine pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte optimum su muhtevasının düştüğü, sadece çimento katılması ile birlikte ise çok büyük değişiklik göstermediği görülmektedir. Buradan da anlaşılabacağı üzere pirinç kabuğu külünün optimum su muhtevasına bir etkisi olurken çimentonun ise etkisi olmadığı söylenebilir.

Şekil 5.4b’de çimento ve pirinç kabuğu külünün, zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığa etkisi gösterilmiştir. Zemine çimento katılması ile birlikte maksimum kuru birim hacim ağırlığın bir miktar düştüğü bununla birlikte zemine pirinç kabuğu külü katılması ile birlikte ise maksimum kuru birim hacim ağırlığın bir miktar arttığı görülmektedir. Her iki katkının bir arada kullanılması durumunda ise maksimum kuru birim hacim ağırlığın arttığı söylenebilir.

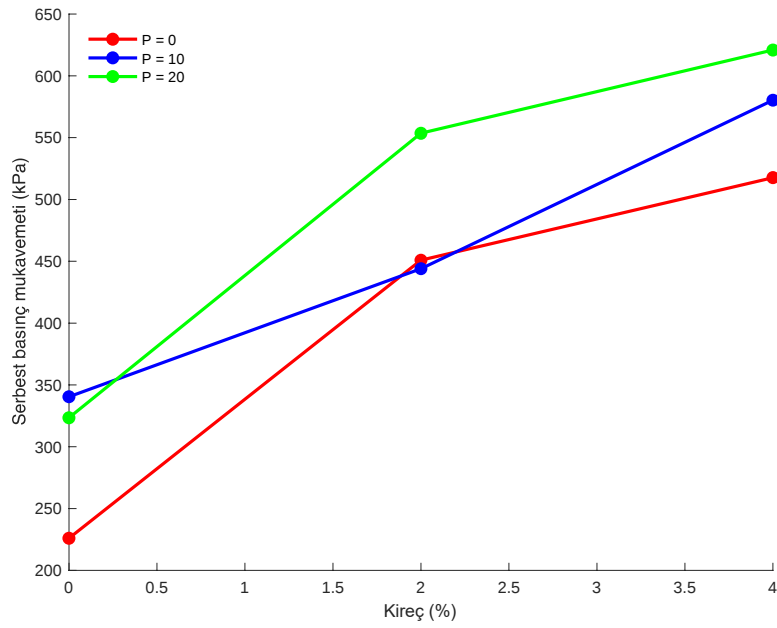
5.5. Serbest Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 5.5’de kireç ve pirinç kabuğu külünün kür süresine bağlı olarak zeminin serbest basınç mukavemetine etkisi gösterilmiştir. Şekil 5.5a, 5.5b, 5.5c, 5.5d, 5.5e’de sırasıyla anlık, 1 günlük, 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük kür süresi sonunda elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri verilmiştir.

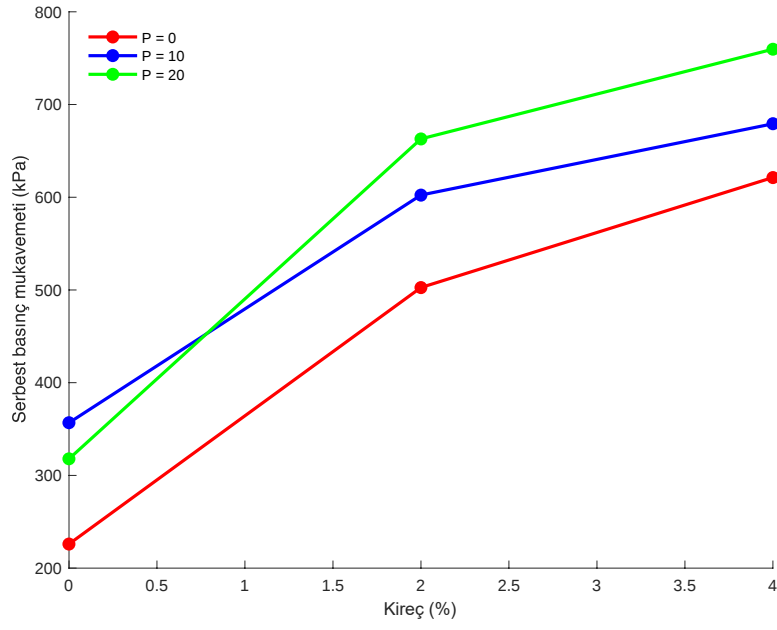
Kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarının bir arada veya ayrı ayrı zemine katılması ile birlikte serbest basınç mukavemeti değerlerinde artış meydana gelmiştir. Pirinç kabuğu külünün serbest basınç mukavemetine katkısı çok yüksek olmamakla birlikte kireç ile birlikte zemine katılması durumunda serbest basınç mukavemeti değerlerinde önemli oranda artış meydana gelmiştir.



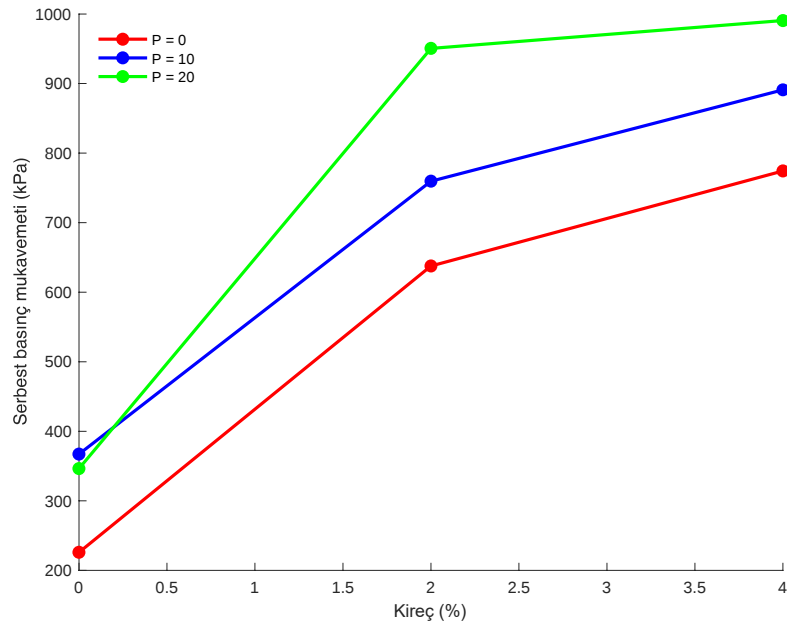
(a) Anlık



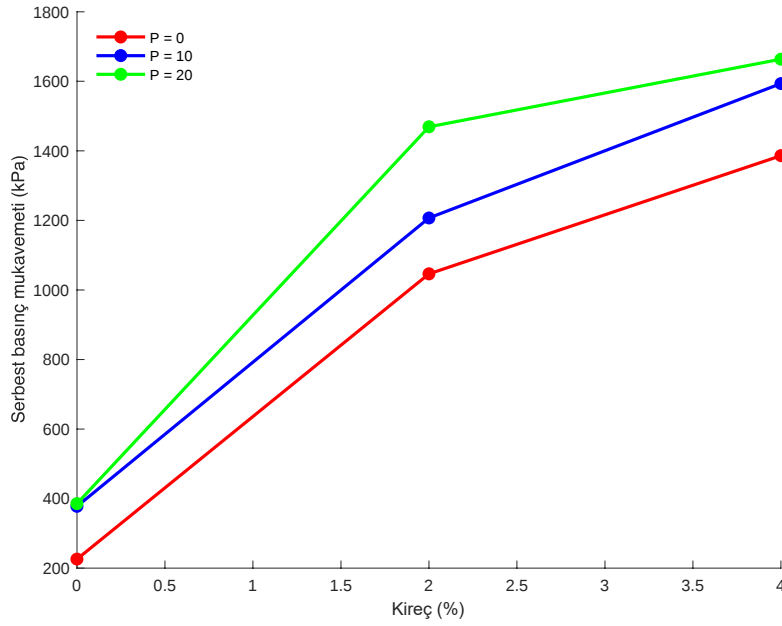
(b) 1 gün kür



(c) 7 gün kür



(d) 28 gün kür

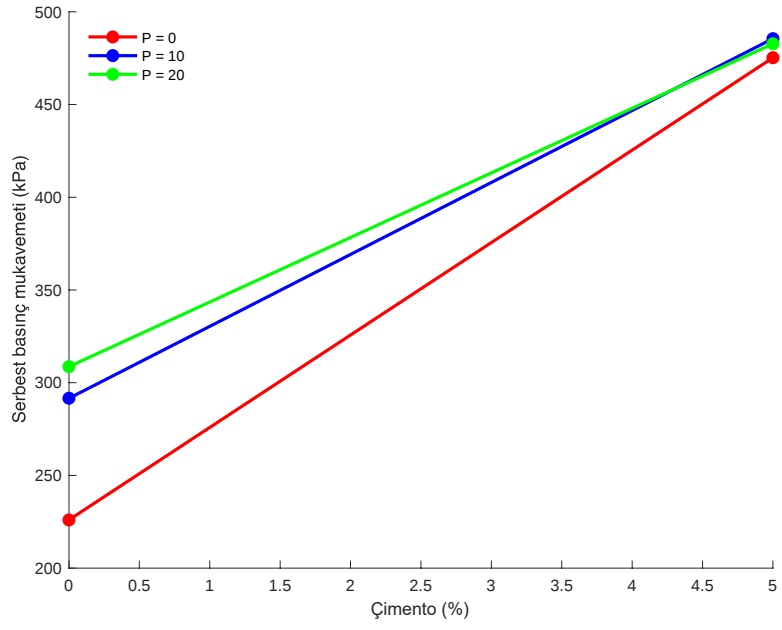


(d) 90 gün kür

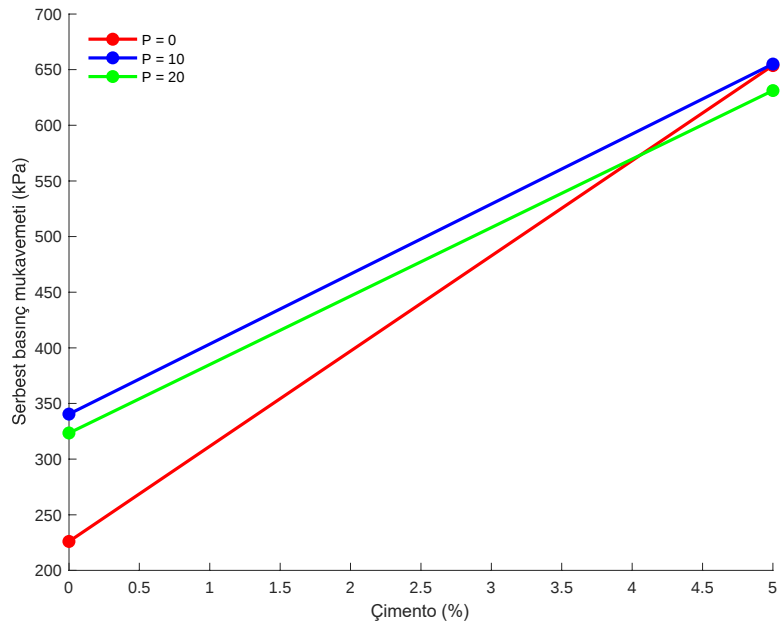
Şekil 5.5. Kireç ve pirinç kabuğu külü katkılı zeminlerin kür süresine bağlı serbest basınç mukavemetleri

Şekil 5.5'te verilen grafikler incelendiğinde kür süresinin artmasına paralel olarak serbest basınç mukavemeti değerleri de artmaktadır. Serbest basınç mukavemeti değerleri incelendiğinde 90 gün kür süresi sonunda doğal zemin 226 kPa, % 10 pirinç kabuğu külü katkılı zemin 386 kPa, % 4 kireç katkılı zemin 1386 kPa, % 4 kireç + % 20 pirinç kabuğu külü katkılı zemin 1664 kPa olarak belirlenmiştir. Buradan da görüldüğü üzere zeminin serbest basınç mukavemetinde en yüksek artış her iki katkının bir arada katılması ve kür süresinin artması ile birlikte gerçekleşmiştir.

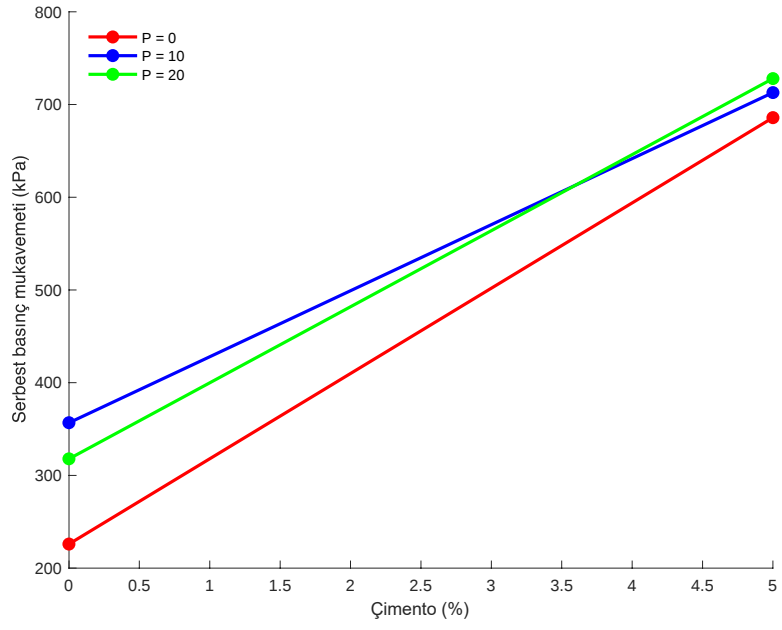
Şekil 5.6'da çimeno ve pirinç kabuğu külünün kür süresine bağlı olarak zeminin serbest basınç mukavemetine etkisi gösterilmiştir. Şekil 5.6a, 5.6b, 5.6c, 5.6d, 5.6e'de sırasıyla anlık, 1 günlük, 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük kür süresi sonunda elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri verilmiştir.



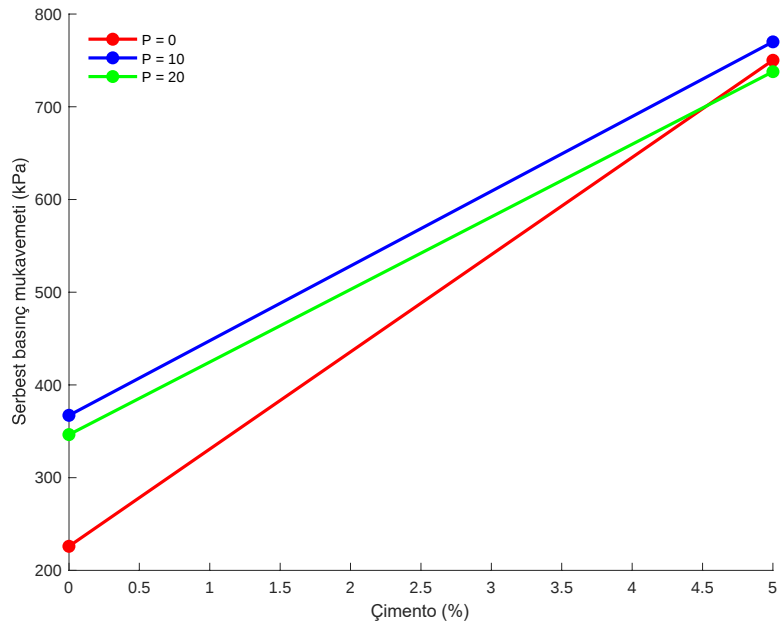
(a)



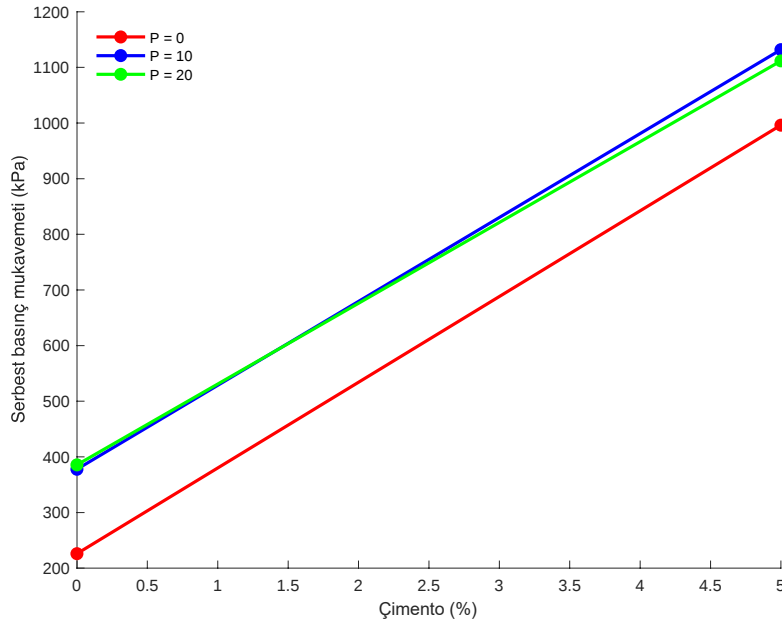
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 5.6. Çimento ve pirinç kabuğu külü katkılı zeminlerin kür süresine bağlı serbest basınç mukavemetleri

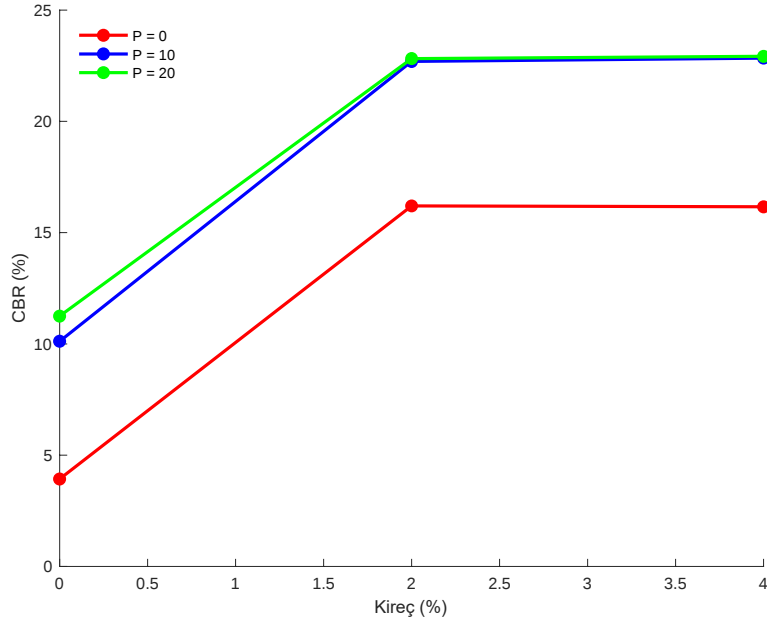
Kireç ve pirinç kabuğu külü katkılarının bir arada kullanılmasına benzer olarak çimento ve pirinç kabuğu külünün bir arada kullanılması ile birlikte serbest basınç mukavemeti değerlerinde önemli oranda artış meydana gelmiştir.

Şekil 5.6’da verilen grafikler incelendiğinde kür süresinin artmasına paralel olarak serbest basınç mukavemeti değerleri de artmaktadır. Serbest basınç mukavemeti değerleri incelendiğinde 90 gün kür süresi sonunda doğal zemin 226 kPa, % 10 pirinç kabuğu külü katkılı zemin 386 kPa, % 5 çimento katkılı zemin 996 kPa, % 5 çimento + % 20 pirinç kabuğu külü katkılı zemin 1112 kPa olarak belirlenmiştir. Buradan da görüldüğü üzere zeminin serbest basınç mukavemetinde önemli derecede bir artış meydana gelse de bu artış kireç + pirinç kabuğu külü katkısının serbest basınç mukavemetine etkisinden daha azdır.

5.6. CBR Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

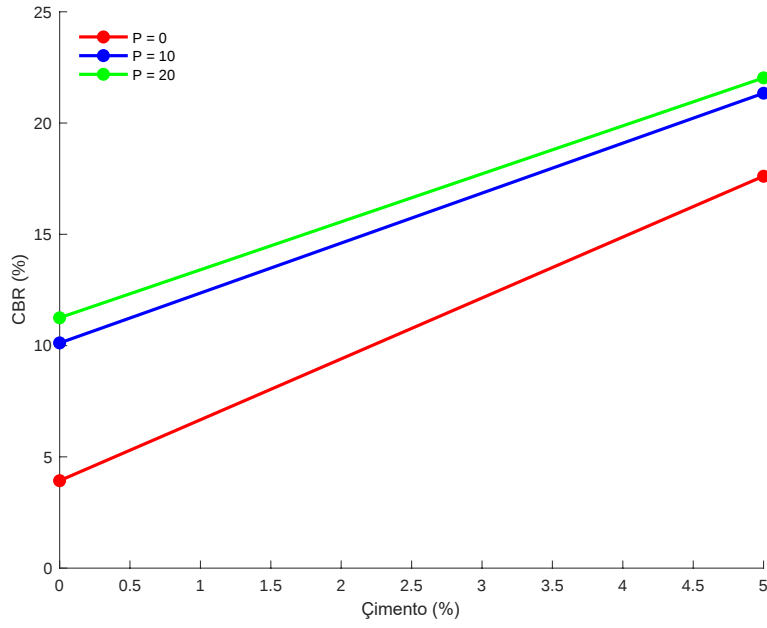
Kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü katkılarının CBR değeri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla numuneler farklı oranlarda katkılar katılarak 90 gün kür edilmiştir. Doksan gün kür ve ardından dört gün su içerisinde bekletilen zemin numuneleri CBR

deneylerine tabii tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen CBR değerleri kireç ve pirinç kabuğu külü için Şekil 5.7’de, çimento ve pirinç kabuğu külü için ise Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Farklı oranlarda 90 gün kür sonunda kireç + pirinç kabuğu külü için CBR değerleri

Şekil 5.7 incelendiğinde katkısız zemin numunesinin CBR değeri % 3,92 iken, % 4 kireç katıldığında % 16,16’ya, % 4 kireç + % 20 pirinç kabuğu kili katılması ile birlikte % 22,92’ye çıkmıştır.



Şekil 5.8. Farklı oranlarda çimento + pirinç kabuğu külü için CBR değerleri

Şekil 5.8 incelendiğinde ise katkısız zemin numunesinin CBR değeri % 3,92 iken, % 5 çimento katıldığında % 17,61'e, % 4 çimento + % 20 pirinç kabuğu kili katılması ile birlikte % 22,03'e çıkmıştır.

Zemine kireç veya çimentonun, pirinç kabuğu külü ile birlikte katılması ile birlikte zeminin CBR değerinde yaklaşık 5 kat artış meydana gelmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında kireç, çimento ve pirinç kabuğu külü kullanılarak zemin iyileştirilmesi yapılmıştır. Bu katkıları zemine hem ayrı ayrı hem de bir arada katılarak zeminin fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Zemine kireç, çimento ve pirinç kabuğu katılması ile birlikte likit limit değerlerinde azalma, plastik limit değerlerinde artış ve bunlara bağlı olarak plastisite indisi değerlerinde azalma gözlenmiştir. Zemine % 4 kireç katılması ile birlikte zemin plastik olmayan davranış göstermiştir.
- Kompaksiyon deneyleri sonucunda optimum su muhtevası ve maksimum birim hacim ağırlık değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Katkı miktarının artmasıyla birlikte genel olarak optimum su muhtevası değerlerinde azalma meydana gelirken maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde artış meydana gelmiştir.
- Katkılı zeminlerin 90 gün süren kür süresinin ardından serbest basınç mukavemeti değerleri incelendiğinde, doğal zeminin serbest basınç mukavemeti değerine oranla çeşitli katkı maddeleri eklenen zeminlerde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. %10 pirinç kabuğu külü katkılı zeminde 1.7 kat, %4 kireç katkılı zeminde 6.05 kat, %4 kireç + %20 pirinç kabuğu külü katkılı zeminde 7.36 kat, %5 çimento katkılı zeminde 4.41 kat ve %5 çimento + 20 pirinç kabuğu katkılı zeminde 4.92 kat artış meydana gelmiştir. Bu çalışma, kullanılan zemin numunesi için en etkili sonucun zemine aynı anda kireç ve pirinç kabuğu külü katkısı eklenmesi olduğunu göstermektedir.
- CBR değerleri incelendiğinde zemine kireç veya çimentonun pirinç kabuğu külü ile birlikte katılması ile birlikte zeminin CBR değerinde yaklaşık 5 kat artış meydana geldiği görülmektedir. Yol üstyapı tasarımlarında genel olarak esneklik modülü ve CBR değeri gibi zemin parametreleri kullanılarak tasarım yapılmaktadır. bu açıdan

bakıldığında CBR değerlerinde meydana gelen iyileşme yol tasarımını da olumlu yönde etkileyecektir.

Ayrıca, gelecek çalışmalarda kireç, çimento ve pirinç kabuğu külünün farklı zemin türlerinde zeminin mühendislik özellikleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenebilir. Zemin permeabilite ve konsolidasyon gibi çeşitli özellikleri açısından da derinlemesine araştırılabilir. Çalışmanın ileri aşamalarında, deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak sayısal modellemeler geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Bell, F. G.** (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering geology*, 42(4), 223-237.
- [2] **Leite, R., Cardoso, R., Cardoso, C., Cavalcante, E., & de Freitas, O.** (2016). Lime stabilization of expansive soil from Sergipe-Brazil. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 9, p. 14005). EDP Sciences.
- [3] **Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., Atbaş, B., & Akyarlı, A.** (2008). Bölünmüş Yol Çalışmalarında Bir Kireç Stabilizasyonu Uygulaması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi* 16-17 Ekim 2008.
- [4] **Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., Yönter, G., Tokgöz, M., & Akyarlı, A.** Kil Oranı Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç İle Stabilizasyonu. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, KTÜ, Trabzon-Türkiye.
- [5] **Kavak, A., & Akyarlı, A.** (2007). A field application for lime stabilization. *Environmental geology*, 51, 987-997.
- [6] **Türköz, M.** (2006). Şişen killerin kireç katkısı ile stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik killerine uygulanması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 75-88.
- [7] **Dhar, S., & Hussain, M.** (2019). Experimental Investigation on Strength and Bearing Capacity Improvement of a High Plasticity Clayey Subgrade Soil Using Lime. *Key Engineering Materials*, 803, 200-206.
- [8] **Karasahin, M., Keskin, E., & Şahinoğlu, İ.** (2019). Effect of lime on unconfined compressive strength of a low plasticity clayey soil. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3(2), 32-40.
- [9] **Naseer, S., Alam, M. W., Haider, I., & Faiz, M. S.** (2016). Evaluation of Engineering Properties of Clayey Soils using Lime. In *2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering, Management and Sciences* December (pp. 28-30).
- [10] **Elsharief, A. M., Elhassan, A. A., & Mohamed, A. E.** (2013). Lime stabilization of tropical soils from Sudan for road construction. *GEOMATE Journal*, 4(8), 533-538.
- [11] **Utami, G. S.** (2014). Clay soil stabilization with lime effect the value CBR and swelling. *ARNP journal of engineering and applied sciences*, 9(10), 1744-1748.

- [12] **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.
- [13] **Alhassan, M.** (2008). Permeability of Lateritic Soil Treated with Lime and Rice Husk Ash. Assumption University (AU) Journal of Technology, Bangkok, Thailand, vol. 12(2), pp.115–120.
- [14] **Alhassan, M.** (2008). Potentials of Rice Husk Ash for Soil Stabilization. Assumption University (AU) Journal of Technology, Bangkok, Thailand, vol. 11 (4), pp. 246 -250.
- [15] **Kanddulna, B., Kisku, N., Murari, K., & Singh, J. P.** (2016). Experimental study of clayey soil with lime and rice husk ash. International Journal of Engineering Trends and Technology, 38(7), 365-72.
- [16] **Subrahmanyam, M. S., Cheran, L. L., & Cheran, L. S.** (1981). Use of rice husk ash for soil stabilization. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, Volume 14, Dec. 1981, pp. 143 – 151.
- [17] **Zaika, Y., & Suryo, E. A.** (2020). The durability of lime and rice husk ash improved expansive soil. GEOMATE Journal, 18(65), 171-178.
- [18] **DV, K., Banu, S., & Jasmine, A. J.** (2019). Effects of Rice Husk Ash and Lime on Clay Soil Stabilization. International Journal of Engineering Trends and Technology 67(6):35-38.
- [19] **Kumar, B. S., & Preethi, T. V.** (2014). Behavior of clayey soil stabilized with rice husk ash & lime. Int J Eng Trends Technol, 11(1), 44-48.
- [20] **Muntohar, A. S.** (2009). Influence of plastic waste fibers on the strength of lime-rice husk ash stabilized clay soil. Civil Engineering Dimension, 11(1), 32-40.
- [21] **Mardia Mumtaz, K. M., & Barua, S.** (2021). Characterization Of High Plastic Clay Under Varying Proportion Of Ordinary Portland Cement For Soil-Cement Stabilization. Daffodil International University Journal Of Science And Technology, 16(1).
- [22] **Bindu, J., & Ramabhadran, A.** (2011). Study on cement stabilized Kuttanad clay. In Proc., Indian Geotechnical Conf (pp. 465-468).
- [23] **Bhattacharja, S., & Bhatta, J.** (2003). Comparative performance of portland cement and lime stabilization of moderate to high plasticity clay soils. Portl. Cem. Assoc, 2066, 60-67.
- [24] **Ampera, B., & Aydogmus, T.** (2005). Recent experiences with cement and lime-stabilization of local typical poor cohesive soil. In Geotechnik-kolloquium Freiberg, March (Vol. 11, pp. 2005-2).
- [25] **Asgari, M. R., Baghebanzadeh Dezfouli, A., & Bayat, M.** (2015). Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with cement/lime. Arabian Journal of Geosciences, 8, 1439-1452.

- [26] **Roy, A.** (2014). Soil stabilization using rice husk ash and cement. *International journal of civil engineering research*, 5(1), 49-54.
- [27] **Ogbuagua, N. J., Echiegub, E. A., & Jenice Chiwetalu, U. J.** (2018). Evaluation of rice husk ash and Portland cement reinforced clay for use as road subgrade using the CBR test. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 3(2), 65-70.
- [28] **Basha, E. M. A., Hashim, R., & Muntohar, A. S.** (2003). Effect of the cement rice husk ash on the plasticity and compaction of soil. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 8(1), 1-8.
- [29] **Nagma, B., Samrat, R., & Naresh, B.** (2019) Soil Stabilization using Rice Husk Ash and Cement. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* (www.jetir.org), ISSN:2349-5162, Vol.6, Issue 5, page no.67-73.
- [30] **Bhadouria, R., & Joshi, Y.** (2017). Soil stabilization using rice husk ash and cement. *Int. Res. J. Eng. Technol. IRJET*, 4, 49-54.
- [31] **Rathan Raj, R., Banupriya, S., & Dharani, R.** (2016). Stabilization of soil using rice husk ash. *Int. J. Comput. Eng. Res*, 6(2), 43-50.
- [32] **Ramadhan, M. A.** (2020). Improvement of expansive soils stabilized with rice husk ash (RHA). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1625, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- [33] **Chhokar, S., & Sonthwal, V. K.** (2020). Soil Stabilization Of Clayey Soil Using Rice Husk Ash. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)* Volume 8, Issue 11 2320-2882.
- [34] **Ali, A., Khan, S. A., & Karim, E. F.** (2019). Using Fly Ash and Rice Husk Ash as Soil Improving Materials along with its Cost Effectiveness in Flexible Pavement Construction.
- [35] **Adhikary, S., & Jana, K.** (2016). Potentials of rice husk ash as a soil stabilizer. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, 2(2), 40-42.
- [36] **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.
- [37] **Adajar, M. A. Q., Aquino, C. J. P., Martin, C. P. H., & Urieta, D. K. G.** (2019). Investigating the effectiveness of rice husk ash as stabilizing agent of expansive soil. *GEOMATE Journal*, 16(58), 33-40.
- [38] **Taha, M. M., Feng, C. P., & Ahmed, S. H.** (2021). Modification of mechanical properties of expansive soil from north china by using rice husk ash. *Materials*, 14(11), 2789.
- [39] **Fattah, M. Y., Rahil, F. H., & Al-Soudany, K. Y.** (2013). Improvement of clayey soil characteristics using rice husk ash. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 3(1), 12-18.

- [40] **Singhai, A. K., & Singh, S. S.** (2014). Laboratory study on soil stabilization using fly ash and rice husk ash. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(11).
- [41] **Ghavami, S., Nematpour, H., Rajabi, M., & Mobini, M. H.** (2019). Evaluation of the strength characteristics of clayey soils stabilized with rice husk ash and cement. In *Proceedings of the 4th Iranian Conference on Geotechnical Engineering*, Teheran, Iran (Vol. 19).
- [42] **Sorsa, A.** (2022). Engineering Properties of Cement Stabilized Expansive Clay Soil. *Civil and Environmental Engineering*, 18(1), 332-339.
- [43] **Ayan, E., Kavak, A., & Kut, Ü.** (2020). Kilin Kireç Ve Çimento İle Stabilizasyonu. In *International Marmara Sciences Congress IMASCON 2020-Autumn* (p. 336).
- [44] **Sabat, A. K.** (2013). Engineering properties of an expansive soil stabilized with rice husk ash and lime sludge. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(6), 4826-4833.
- [45] **Bayat, M., Asgari, M. R., & Mousivand, M.** (2013). Effects of cement and lime treatment on geotechnical properties of a low plasticity clay. In *International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development* 27&28 November.
- [46] **Kassim, K. A., & Chern, K. K.** (2004). Lime stabilized Malaysian cohesive soils. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 16(1), 13-23.
- [47] **Abass, I. K.** (2013). Lime stabilization of expansive soil. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 17(1), 219-232.
- [48] **Negawo, W. J., Di Emidio, G., Bezuijen, A., Verastegui Flores, R. D., & François, B.** (2019). Lime-stabilisation of high plasticity swelling clay from Ethiopia. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 23(4), 504-514.
- [49] **Astm D422-63e2, (2007)**, Standard Test Method For Particle-Size Analysis Of Soils (Withdrawn 2016), Astm International, West Conshohocken, Pa.
- [50] **Astm D4318-17e1, (2017)**, Standard Test Methods For Liquid Limit, Plastic Limit, And Plasticity Index Of Soils, Astm International, West Conshohocken, Pa.
- [51] **Astm D854-14, (2014)**, Standard Test Methods For Specific Gravity Of Soil Solids By Water Pycnometer, Astm International, West Conshohocke
- [52] **Astm D. (2012)**, Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (D1557-12). ASTM, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.