



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DÜŞÜK VE YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL  
ZEMİNLERDE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU,  
MERMER TOZU VE POLİPROPİLEN  
FİBERİN ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNE  
KATKISININ İNCELENMESİ

Ali ORMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2021  
KONYA

Her Hakkı Saklıdır.

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ali ORMAN tarafından hazırlanan “Düşük Ve Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerde Yüksek Fırın Cürufu, Mermer Tozu ve Polipropilen Fiberin Zemin İyileştirilmesine Katkısının İncelenmesi” adlı tez çalışması .../.../20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Adnan ÖZDEMİR

#### Danışman

Doç. Dr. Ali Sinan SOĞANCI

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Ferat BAYRAM

### İmza

.....

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ali ORMAN

Tarih: .../.../20...

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# DÜŞÜK VE YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİNLERDE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU, MERMER TOZU VE POLİPROPİLEN FİBERİN ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNE KATKISININ İNCELENMESİ

Ali ORMAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali Sinan SOĞANCI

2021, 81 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Ali Sinan SOĞANCI  
Prof. Dr. Adnan ÖZDEMİR  
Dr. Öğr. Üyesi Ali Ferat BAYRAM

Zeminlerin iyileştirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de çeşitli katkı maddelerinin kullanılması sonucu zeminlerin iyileştirilmesidir. Bu tez çalışması kapsamında, düşük plastisiteli ve yüksek plastisiteli kil zeminlerin mukavemet değerlerinin çeşitli katkı malzemeleriyle iyileştirilebilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, mermer tozu, yüksek fırın cürufu ve polipropilen lif olmak üzere üç ayrı katkı malzemesi kullanılmıştır. Doğal zeminin ağırlıkça %0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında mermer tozu; % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında yüksek fırın cürufu ve % 0, % 0.1, % 0.5, % 1, % 1.5 oranlarında polipropilen fiber lif maddeleri eklenmiştir.

Tez kapsamında yapılan seri deneylerde, zeminlerin Atterberg kıvam limit deneyleri, hidrometre deneyi, özgül ağırlık deneyleri, standart proktor deneyi yapılmıştır. Katkı maddesi ve kil zemin karışımlarının optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları kompaksiyon deneyleri sonucunda belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılarak hazırlanan numuneler 7 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Kür sonrası numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan serbest basınç deneyleri sonucunda üç katkı maddesinin (mermer tozu, yüksek fırın cürufu ve polipropilen fiber) de kil zeminlerin iyileştirmesinde olumlu yönde etkide bulunduğu görülmüştür. En yüksek dayanım değerlerine 28 gün kür sonunda ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** düşük plastisiteli kil, mermer tozu, polipropilen fiber lif, yüksek fırın cürufu, yüksek plastisiteli kil, zemin iyileştirilmesi

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE CONTRIBUTION OF BLAST FURNACE SLAG, MARBLE POWDER AND POLYPROPYLENE FIBER TO SOIL IMPROVEMENT ON LOW AND HIGH PLASTICITY CLAY SOILS**

**Ali ORMAN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Doç. Dr. Ali Sinan SOĞANCI**

**2021, 81 Pages**

**Jüri**

**Assoc. Prof. Dr. Ali Sinan SOĞANCI**

**Prof. Dr. Adnan ÖZDEMİR**

**Asst Prof. Dr. Ali Ferat BAYRAM**

Various methods are used to improve soils. One of these methods is the improvement of soils as a result of the use of various additives. Within the scope of this thesis, the ability to improve the strength values of low plasticity and high plasticity clay soils with various additives was investigated. In the experimental studies, three different additives were used: marble powder, blast furnace slag and polypropylene fiber. Marble powder at the rates of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% to the natural soil; Blast furnace slag at the rates of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and polypropylene fiber fiber materials were added at the rates of 0%, 0.1%, 0.5%, 1%, 1.5%.

In the serial tests carried out within the scope of the thesis, Atterberg consistency limit tests, hydrometer test, specific gravity tests, standard proctor test were carried out. Optimum water content and maximum dry unit weights of additive and clay soil mixtures were determined as a result of compaction tests. The samples prepared by compressing in the optimum water content were left to cure for 7 and 28 days. Unconfined pressure tests were carried out on the samples after curing. As a result of the unconfined pressure tests, it was seen that three additives (marble powder, blast furnace slag and polypropylene fiber) had a positive effect on the improvement of clay soil. It was observed that the highest strength values were reached at the end of 28 days of curing.

**Keywords:** low plasticity clay, marble powder, polypropylene fiber , blast furnace slag, high plasticity clay, soil improvement

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi, deneyim, görüş ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali Sinan SOĞANCI' ya teşekkür eder, saygı ve minnetlerimi sunarım.

Labaratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını, bilgi ve birikimini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Araştırma Görevlisi Dr. Yavuz Yenginar' a teşekkür eder, en içten şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım öncesinde ve sonrasında hiçbir zaman yardım ve desteklerini esirgemeyen sınıf arkadaşlarım ve meslektaşlarım Furkan UYAR ve Havvanur BOZ'a en kalbi teşekkürlerimi iletirim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir şekilde esirgemeyen sevgili annem Ayten ORMAN' a, sevgili babam Zeki ORMAN' a ve kardeşim Fatma Sude ORMAN' a, kuzenim Kübra ORMAN'a sevgilerimi iletir, saygılarımı sunarım.

Ali ORMAN  
KONYA-2021

## İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal .....	18
3.1.1. Kil Zemin .....	18
3.1.2. Mermer Tozu .....	19
3.1.3. Yüksek Fırın Cürufu(YFC) .....	21
3.1.4. Polipropilen Fiber .....	23
3.2 Yöntem.....	24
3.2.1. Elek Analizi ve Hidrometre Deneyi.....	24
3.2.2. Özgül Ağırlık (Piknometre) Deneyi.....	26
3.2.3. Kıvam Limitleri Tayini .....	28
3.2.3.1. Likit Limit Deneyi .....	29
3.2.3.2. Plastik Limit Deneyi .....	30
3.2.4. Kompaksiyon Deneyi.....	31
3.2.4.1. Standart Proktor Deneyi .....	33
3.2.5. Numunelerin Hazırlanması.....	35
3.2.6. Serbest Basınç Deneyi.....	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	40
4.1. Elek Analizi ve Hidrometre Deneyi Sonuçları.....	40
4.2. Özgül Ağırlık (Piknometre) Deneyi Sonuçları.....	40
4.3. Likit Limit Deneyi Sonuçları .....	41
4.4. Plastik Limit Deneyi Sonuçları .....	43
4.5. Zeminlerin Plastisite Kartındaki Yerlerinin Belirlenmesi .....	43
4.6. Standart Proktor Deneyi Sonuçları .....	44

4.7. Serbest Basınç Deneyi Sonuçları.....	49
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>60</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>63</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Labaratuvara getirilen kil zeminlerin etüvde kurutulması.....	18
Şekil 3.2. Zemin-A öğütülmüş hali.....	19
Şekil 3.3. Zemin-B öğütülmüş hali.....	19
Şekil 3.4. Türkiye mermer yatakları haritası.....	20
Şekil 3.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan mermer tozu.....	20
Şekil 3.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan yüksek fırın cürufu.....	22
Şekil 3.7. Deneysel çalışmalarda kullanılan polipropilen lifler.....	23
Şekil 3.8. Hidrometre deneyi için hazırlanan 1000 ml'lik süspansiyonlar.....	25
Şekil 3.9. (a) Hidrometre aleti.....	26
Şekil 3.9. (b) Yüksek devirli karıştırıcı.....	26
Şekil 3.9. (c) Ayırıştırı kimyasal madde(Soydum hekzametafosfat) .....	26
Şekil 3.10. Numunenin hazırlanması.....	27
Şekil 3.11. Numunenin tartılması.....	27
Şekil 3.12. (a)-(b)-(c)-(d) Casagrande Deneyi ile likit limitin belirlenmesi.....	30
Şekil 3.13. (a) - (b) Plastik limit değerlerinin belirlenmesi.....	31
Şekil 3.14. Sıkıştırılmış bir zeminde $\rho_k$ -w ilişkisi(Uzuner, 2007).....	32
Şekil 3.15. (a) Standart proktor kalıbı.....	33
Şekil 3.15. (b) Kompaksiyon işleminde kullanılan tokmak(2.5 kg).....	33
Şekil 3.16. Zemine katkı malzemesinin katılması.....	34
Şekil 3.17. Karışımın hazırlanması.....	34
Şekil 3.18. Kalıbın yüzeyinin tıraşlanması.....	34
Şekil 3.19. Karıştırılan zeminin sıkıştırılması.....	34
Şekil 3.20. Tüplerin gres yağıyla yağlanması.....	36
Şekil 3.21. Tüplerin kalıba çakılması.....	36
Şekil 3.22. Tüplerin kalıptan çıkartılması.....	36
Şekil 3.23. Numunelerin tüpten çıkartılması.....	36
Şekil 3.24. Numunelerin küre bırakılması.....	37
Şekil 3.25. Numunelerin küreden çıkarılması.....	37
Şekil 3.26. (a)-(b) Serbest basınç deneyinin yapılması.....	38
Şekil 3.27. (a)-(b) Serbest basınç deneyi sonrası kırılan numunelerin görüntüsü.....	38
Şekil 4.1. Zemin-A ve Zemin-B için elek analizi ve hidrometre deneyi sonuçları.....	40

<b>Şekil 4.2.</b> Zemin-A için Casagrande likit limit deneyi sonuçları.....	42
<b>Şekil 4.3.</b> Zemin-B için Casagrande likit limit deneyi sonuçları.....	42
<b>Şekil 4.4.</b> Zeminlerin plastisite kartındaki yerlerinin belirlenmesi.....	44
<b>Şekil 4.5.</b> Zemin-A ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon eğrileri.....	45
<b>Şekil 4.6:</b> Zemin-A ve YFC karışımlarının kompaksiyon eğrileri.....	46
<b>Şekil 4.7.</b> Zemin-A ve polipropilen fiber karışımlarının kompaksiyon eğrileri.....	46
<b>Şekil 4.8:</b> Zemin-B ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon eğrileri.....	47
<b>Şekil 4.9.</b> Zemin-B ve YFC karışımlarının kompaksiyon eğrileri.....	48
<b>Şekil 4.10.</b> Zemin-B ve polipropilen fiber karışımlarının kompaksiyon eğrileri.....	48
<b>Şekil 4.11.</b> Zemin-A ve mermer tozu katkılı numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	49
<b>Şekil 4.12.</b> Zemin-A ve mermer tozu katkılı numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	49
<b>Şekil 4.13.</b> Zemin-A ve mermer tozu katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları.....	50
<b>Şekil 4.14.</b> Zemin-A ve YFC katkılı numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	50
<b>Şekil 4.15.</b> Zemin-A ve YFC katkılı numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	50
<b>Şekil 4.16.</b> Zemin-A ve YFC katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları.....	51
<b>Şekil 4.17.</b> Zemin-A ve PPF katkılı numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	51
<b>Şekil 4.18.</b> Zemin-A ve PPF katkılı numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	51
<b>Şekil 4.19.</b> Zemin-A ve PPF katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları.....	52
<b>Şekil 4.20.</b> Zemin-A ve katkılı numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması...52	
<b>Şekil 4.21.</b> 7 gün kür sonrası Zemin A için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	52
<b>Şekil 4.22.</b> 28 gün kür sonrası Zemin A için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	53
<b>Şekil 4.23.</b> Zemin-B mermer katkılı numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	52
<b>Şekil 4.24.</b> Zemin-B mermer katkılı numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	53

<b>Şekil 4.25.</b> Zemin-B mermer katkıli numunelerin serbest basınç dayanımları.....	53
<b>Şekil 4.26.</b> Zemin-B YFC katkıli numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	53
<b>Şekil 4.27.</b> Zemin-B YFC katkıli numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	54
<b>Şekil 4.28.</b> Zemin-B YFC katkıli numunelerin serbest basınç dayanımları.....	54
<b>Şekil 4.29.</b> Zemin-B PPF katkıli numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	54
<b>Şekil 4.30.</b> Zemin-B PPF katkıli numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri.....	55
<b>Şekil 4.31.</b> Zemin-B YFC katkıli numunelerin serbest basınç dayanımları.....	55
<b>Şekil 4.32.</b> Zemin-B ve katkıli numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	55
<b>Şekil 4.33.</b> 7 gün kür sonrası Zemin B için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	56
<b>Şekil 4.34.</b> 28 gün kür sonrası Zemin B için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	57

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Mermerin yapısında bulunan kimyasal bileşenler.....	20
Çizelge 3.2. Yüksek fırın cürufunun kimyasal kompozisyonları.....	22
Çizelge 3.3. Polipropilen fiber lifin teknik özellikleri.....	24
Çizelge 3.4. Piknometre deney kodları.....	27
Çizelge 3.5. Likit limit deneyi kodları.....	30
Çizelge 3.6. Plastik limit deneyi kodları.....	31
Çizelge 3.7. Standart proktor deney kodları.....	34
Çizelge 3.8. Serbest basınç deneyi kodları.....	39
Çizelge 4.1. Tane çapı dağılımı.....	40
Çizelge 4.2. Özgül ağırlık deneylerine ait sonuçlar.....	40
Çizelge 4.3. Zemin-A için Casagrande likit limit deneyi sonuçları.....	41
Çizelge 4.4. Zemin-B için Casagrande likit limit deneyi sonuçları.....	41
Çizelge 4.5. Zemin-A için plastik likit limit deneyi sonuçları.....	43
Çizelge 4.6. Zemin-B için plastik limit deneyi sonuçları. ....	43
Çizelge 4.7. Zeminlerin plastisite indisi değerlerinin belirlenmesi.....	44
Çizelge 4.8. Zemin-A ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon özellikleri.....	45
Çizelge 4.9. Zemin-A ve YFC karışımlarının kompaksiyon özellikleri.....	45
Çizelge 4.10. Zemin-A ve polipropilen lif karışımlarının kompaksiyon özellikleri.....	46
Çizelge 4.11. Zemin-B ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon özellikleri.....	47
Çizelge 4.12. Zemin-B ve YFC karışımlarının kompaksiyon özellikleri.....	47
Çizelge 4.13. Zemin-B ve polipropilen lif karışımlarının kompaksiyon özellikleri.....	48
Çizelge 4.14. Zemin-A ve katkıli numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması..	57
Çizelge 4.15. Zemin-B ve katkıli numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması..	58

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\rho_{kmaks}$	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
<b>kg</b>	: Kilogram
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
$\gamma_k$	: Kuru birim hacim ağırlık
$\text{CaCO}_3$	: Kalker
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	: Dolomit
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	: Hematit
$\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	: Limonit
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	: Magnetit
$\text{FeCO}_3$	: Siderit
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>t</b>	: Ton
$\text{m}^3$	: Metreküp
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>dk</b>	: Dakika
<b>l</b>	: Litre
$\rho_s$	: Tane yoğunluğu
$\rho_{su}$	: Suyun yoğunluğu
<b>w</b>	: Su muhtevası
$\rho_n$	: Doğal birim hacim yoğunluğu
$\mu\text{m}$	: Mikronmetre
<b>g</b>	: Gram
$\Delta H$	: Eksenel boy değişimi
$H_o$	: İlk boy
$q_u$	: Serbest basınç dayanımı
$\epsilon$	: Birim deformasyon
$W_{opt}$	: Optimum su muhtevası
$\gamma_n$	: Doğal birim hacim ağırlık
<b>GPa</b>	: Gigapascal
<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>kPa</b>	: Kilopascal

## **Kısaltmalar**

<b>CH</b>	: Yüksek plastisiteli kil
<b>CL</b>	: Düşük plastisiteli kil
<b>CBR</b>	: Kaliforniya taşıma oranı (California Bearing Ratio Test)
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
<b>XRF</b>	: X-Işını Floresans
<b>XRD</b>	: X-Işını difraktometresi
<b>SW</b>	: İyi derecelendirilmiş kum
<b>LL</b>	: Likit limit
<b>PL</b>	: Plastik limit
<b>PI</b>	: Plastisite indisi
<b>YFC</b>	: Yüksek fırın cürufu
<b>PPF</b>	: Polipropilen fiber
<b>USCS</b>	: Birleşik zemin sınıflandırma sistemi (The Unified Soil Classification System)
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing Materials
<b>max.</b>	: Maksimum
<b>SBD</b>	: Serbest basınç deneyi

## 1. GİRİŞ

Bir yapının tasarım parametrelerinin yanında yapının üzerinde bulunacağı zemin parametreleri de oldukça önem arz etmektedir. Çünkü bir yapının dayanıklılığı üzerinde bulunduğu zeminin dayanıklılığına da bağlıdır. Taşıma gücü yetersiz olan zeminler sık karşılaşılan durumlar arasında yer almaktadır. Bu tip zeminlerin iyileştirilmesi için çeşitli yöntemler de geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.

Hızlı kentleşmeyle birlikte uygun yerleşim yerlerinin azalması, azalan arazilerin maliyetlerindeki yüksek artışlar, yan yana olan yapıların korunma zorunluluğu ve yapıların giderek artan boyutları ve getirdiği büyük gerilmeler zemin iyileştirme işlemlerini zorunlu kılmıştır (Kaçmaz, 2019). İyileştirmedeki amaç ise yetersiz taşıma kapasitesini arttırma, toplam oturmayı azaltma, konsolidasyonu hızlandırma; gerilmeler altında şekil değişikliğini azaltma, şişme-büzülme potansiyelini azaltma, erozyon direncini azaltma, yüzey bozulmalara karşı direnci arttırma, sıvılaşma potansiyelini azaltma ve geçirimsizliği düşürmektir (Özaydın, 2012). Bu nedenlerden dolayı zeminlerin iyileştirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de katkı maddeleriyle zemin özelliklerinin iyileştirilmesidir. Bu katkı maddeleri zeminin taşıma kapasitesinin artmasında rol oynayarak üzerine inşa edilen yapının da ömrünü uzatmaktadır. Kullanılan katkı maddeleri doğada var olan doğal malzemeler olabilmekte birlikte, endüstri atıkları da (mermer tozu, cüruf, polipropilen fiber, uçucu kül, silis dumanı vb.) olabilmektedir. Bu katkı maddelerinin zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılması oldukça ekonomik olabildiği gibi atıl durumda depolanan maddelerin de alternatif malzeme olarak kullanılabilirliği anlamına gelmekte ve çevreye verilecek zararın da azaltılacağı anlamı taşımaktadır.

Zemin stabilizasyonu için kullanılacak yöntem, zemin özellikleri ve iyileştirmedeki amaç ile ilgilidir. Katkı maddesi kullanılarak yapılan iyileştirmeler yaygın kullanılan bir yöntemdir. Kullanılan malzemeler ise kireç, çimento, bitüm, uçucu kül, reçine gibi maddelerdir (Zorluer ve Usta, 2003).

Mermer tozu, mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve büyük çoğunluğu da 1 mm'nin altında olan mermer tanecikleridir (Zorluer ve Usta, 2003). Doğal taş atık malzemelerinden olan mermer tozunun çok

büyük bir kısmı atık olarak kalmaktadır. Bu malzemeler, inşaat sektöründe mozaik, harç, sıva, karo, yapı taşı gibi malzemelerin üretiminde, çimento sanayinde beyaz çimento üretiminde ve kâğıt sanayi, tarım ve gübre sanayi, yem sanayi, diğer bazı sanayi sektörleri gibi alanlarda katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Zorluer ve Usta, 2003).

Çimen ve ark. (2010), yaptığı çalışmada kil bir zemine %5 mermer tozu ilave edildiğinde serbest basınç mukavemetinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir ve en yüksek serbest basınç mukavemetinin bu oranda olduğunu belirtmişlerdir. Artan mermer tozu oranında ise serbest basınç mukavemetinde düşüşler olduğunu belirtmişlerdir.

Varolan malzemelerin bulunması, zarar verilmeden elde edilmesiyle atık maddelerin güvenli bir şekilde depolanması pahalıya mal olmaktadır. Bu sebeple atık maddelerin zemin iyileştirilmesinde kullanılması, depolanması gereken atık madde miktarını azalttığı için de daha ekonomiktir ve bu nedenle zemin iyileştirme metotları arasında en sık kullanılan yöntemlerdendir. Yapılan çalışmalar dünya üzerinde milyonlarca ton uçucu kül ve cüruf üretildiğini göstermektedir. Cürufun inşaat sektöründe kullanımına yönelik sınırlı sayıda çalışma olsa da uçucu kül yoğun bir biçimde kullanılmaktadır.

Saeid ve ark. (2012), çalışmalarında kireç ve uçucu külü katkı maddesi olarak kullanmış ve zeminin mekanik özelliklerindeki değişimleri araştırmışlardır. Yapılan farklı araştırmalarda da kireç ve uçucu külün birlikte kullanılmasının ayrı ayrı kullanılmasına göre daha etkili olduğu ortaya koyulmuştur.

Chauhan vd. (2008), yaptıkları çalışmada tek eksenli basınç deneyi sonuçlarını dikkate alarak %70 kum ve %30 uçucu kül karışımının en iyi sonuca sahip olduğunu belirtmişlerdir, bu karışıma %1 oranında polipropilen fiber katkısının tek eksenli basınç dayanımı değerlerini önemli bir ölçüde artırdığını belirtmiştir.

Kızılcılık (2010), yaptığı çalışmada kireç katkısının kil zeminde zemin iyileştirmesindeki etkisini incelemiştir. Yapılan serbest basınç deneylerinde kireç

katkısının kil zeminlerin mukavemetinde önemli ölçüde katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Yıldırım (2002), %2-%3 oranında kireç katkısının zemin iyileşmesine oldukça önemli düzeyde katkısının olduğunu ve zeminin işlenebilirliğini arttırdığını belirtmiştir.

Aysu (2020), yaptığı çalışmada kil zemine cam lifi eklenerek zeminin taşıma gücü, geçirimsizliği ve konsolidasyon özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Cam lifi katkısıyla, yüksek plastisiteli kil zemin dayanımının en yüksek olduğu katkı oranının %0.75 olduğunda meydana geldiği görülmüştür. Bu değerden sonraki katkı oranlarında mukavemet değerinde azalma olduğu ortaya konulmuştur.

Yılmaz ve Sevcen (2010), yaptıkları çalışmada kil zemine uçucu kül ve polipropilen lif katkısının zeminin dayanımına etkisini araştırmışlardır. En yüksek serbest basınç mukavemeti %10 uçucu kül ve %1.0 polipropilen lif eklenmesinde elde edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında; mermer tozu, yüksek fırın cürufu ve polipropilen lif katkısının düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesindeki rolü incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında kil zeminlerin elek analizi ve hidrometre deneyi ile zeminlere ait dane çapı dağılımları belirlenmiştir. Kıvam limit deneyleri ile likit limit ve plastik limit su muhtevaları ve zemin sınıfları belirlenmiştir. Çalışmaların devamında kil zeminlerin ağırlıkça %0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında mermer tozu; % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında yüksek fırın cürufu ve % 0, % 0.1, % 0.5, % 1, % 1.5 oranlarında polipropilen fiber lif eklenerek standart proktor deneyleri yapılmıştır. Bütün bu karışımların optimum su muhtevaları ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevalarında hazırlanan numuneler üzerinde 7 ve 28 gün kür sonunda serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan katkı malzemelerinin kil zeminlerin mukavemet değerlerinde meydana getirdiği değişimler gözlemlenmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Coşan (2016), bu çalışmada yüksek plastisiteli kil zemine amorf silika, kireç ve volkanik tüfünün belirli yüzdelerde katarak zeminin özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Çalışmalarda kullanılan kil zemin, Muğla-Fethiye sınırlarında yapılan Eşen barajları şantiyesinden temin edilmiştir. Kilin elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Çalışmaların devamında kil-volkanik tüf karışımı, kil- amorf silika karışımları ve kil içerisine % 5 kireç oranı sabit tutularak, % 2, % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 oranlarında birbirinden bağımsız olarak amorf silika ve volkanik tüf katılarak standart proktor, serbest basınç ve şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde sonuç olarak, deneylerde kullanılan katkı malzemelerinin zeminin mukavemet değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir.

Şentürk (2019), bu çalışmada yüksek fırın cürufunun (YFC), kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışma kapsamında GeoPlas firmasından elde edilen bentonit kiline, Kardemir-Karabük Demir-Çelik Fabrikası'ndan temin edilen yüksek fırın cürufu katılarak mukavemet özellikleri araştırılmıştır. Bentonit kiline ağırlıkça % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında yüksek fırın cürufu eklenerek çeşitli deneyler yapılmıştır. Çalışma kapsamında 1, 7, 14, 28 gün kür sonrası kıvam limiti deneyleri (likit limit, plastik limit), standart proktor deneyi, direkt kesme kutusu deneyi, şişme deneyi ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarında; kullanılan yüksek fırın cürufunun optimum su muhtevasını ( $w_{opt}$ ) azalttığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığını ( $\gamma_{kmaks}$ ) artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 28 günlük kür süresi sonucunda serbest basınç dayanımı değerlerinin arttığı ve en yüksek serbest basınç dayanımının % 5 yüksek fırın cürufu katkılı numunelerde olduğu görülmüştür.

Aysu (2020), bu çalışmada cam lifi katkısının yüksek plastisiteli kil zeminde kullanılmasının mukavemet, konsolidasyon ve permeabiliteye etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kilin zemin sınıfının belirlenmesi amacıyla kıvam limit deneyleri (likit limit ve plastik limit deneyleri) yapılmıştır. Likit limit belirlenmesinde Casagrande yöntemi ve koni penetrasyon yöntemi kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kilin zemin sınıfı CH (yüksek plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir. Çalışmaların devamında kil zemine ağırlıkça % 0, % 0.25, % 0.50, % 0.75, % 1.0, %

1.25, % 1.50 oranlarında cam lifinin homojen karıştırılması sonrası standart proktor kalıbında kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneyleriyle karışımların optimum su muhtevaları ( $w_{opt}$ ) ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ( $\gamma_{kmaks}$ ) belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan ve optimum su muhtevasında sıkıştırılıp 5 gün suda bekletilerek suya doymuş hale getirilen zemin numuneleri üzerinde belirtilen her iki durum için de serbest basınç deneyi, kesme kutusu deneyi, permeabilite deneyi ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında cam lifi katkısının kil zeminlerde mukavemeti artırdığı görülmüştür. En yüksek serbest basınç dayanımının ise % 0.75 oranında cam lifi katkısı olan numunelerde olduğu belirtilmiştir.

Bizne (2016), bu çalışmada atık alüminyum şeritlerin kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini incelemiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan kil Irak-Kerkük şehrinde bulunan Shoraw Bölgesi'nden temin edilmiştir. Aynı şekilde çalışmada kullanılan atık alüminyum metaller de bu bölgeden temin edilmiştir. Kullanılan kilin zemin sınıfını belirlemek amacıyla kıvam limit deneyleri (likit limit ve plastik limit deneyleri) yapılmıştır. Kilin zemin sınıfı CL (düşük plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir. Katkı malzemesi olarak kullanılan alüminyum metaller 5 mm genişliğinde kesilerek kullanılmıştır. Metal şeritler zemine ağırlığının % 2, %4, %6, %8, %10'u oranında karıştırılarak standart proktor kalıbında kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneyleri sonucu karışımların optimum su muhtevaları ( $w_{opt}$ ) ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ( $\gamma_{kmaks}$ ) belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında hazırlanan karışımlar 4 gün suda bekletilmiş daha sonra bu numuneler üzerinde CBR (Kaliforniya taşıma oranı) deneyi ve şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. CBR deneyleri sonucunda en iyi katkı oranının % 6 olduğu belirlenmiştir. Şişme deneyleri sonucunda ise serbest şişme yüzdesinin % 10 katkılı numunelerde % 4.3'ten 1.8'e düştüğü gözlemlenmiştir.

Öztürk (2019), bu çalışmada atık karbon karasının, yüksek plastisiteli killerde zemin özelliklerine yaptığı etkileri incelemiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kil zemin, Erzurum İli Oltu İlçesi'nden temin edilmiştir. Atık madde olarak kullanılan karbon karası ise Erzincan ilinde üretim gerçekleştiren Prokom Madencilik firmasından temin edilmiştir. Kilin özgül ağırlığını belirlemek amacıyla özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Ayrıca tane çapı dağılımını belirlemek için hidrometre deneyi yapılmıştır.

Kilin zemin sınıfını belirlemek amacıyla kıvam limit deneyleri olan likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır ve kilin zemin sınıfı CH (yüksek plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılacak karbon karası oranı zeminin ağırlıkça % 0, % 1, % 3 ve % 5'i olarak belirlenmiştir. Karışımların kompaksiyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla standart proktor deneyleri ve modifiye proktor deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon işlemleri sonucunda her iki deney için de karışımların optimum su muhtevaları ( $w_{opt}$ ) ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ( $\gamma_{kmaks}$ ) belirlenmiştir. Optimum su muhtevalarında hazırlanan numuneler üzerinde 0, 5 ve 10 çevirim donma-çözülme deneyleri ve düşen seviyeli permeabilite deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda karbon karası miktarı arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlığının ( $\gamma_{kmaks}$ ) arttığı ve en düşük permeabilite katsayısının % 1 oranında karbon karası katkılı numunelerde görüldüğü gözlemlenmiştir.

Küçükosmanoğlu (2019), bu çalışmada bazalt fiberin kil zeminlerdeki şişme değerlerinin değişimine katkısını incelemiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kil zemin Düzce ili sınırları içerisinde temin edilmiştir. Kilin zemin sınıfını belirlemek amacıyla kıvam limiti(likit limit, plastik limit) deneyleri, hidrometre deneyleri yapılmıştır. Daha sonra kompaksiyon deneyleri yapılarak kompaksiyon özellikleri belirlenmiştir. Kompaksiyon deneyleri standart proktor kalıbında ve modifiye proktor kalıbında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan bazalt fiber uzunlukları 6 mm, 12 mm ve 24 mm olarak, katkı oranları ise ağırlıkça % 0.05, % 0.10, % 0.15, % 0.20, % 1.0, % 1.5, % 2.0 olarak kullanılmıştır. Kompaksiyon işlemleri sonucunda karışımların optimum su muhtevaları ( $w_{opt}$ ) ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ( $\gamma_{kmaks}$ ) belirlenmiştir. Hazırlanan karışım numuneleri 4 gün suda bekletilerek CBR deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kilin ve bazalt fiberin mikro yapısını incelemek amacıyla Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 6 mm ve 24 mm uzunluğundaki bazalt fiberin % 2.0 oranında kullanıldığı numunelerde şişme değerlerinin en yüksek değerler olduğu görülmüştür. CBR deneyi sonucunda da 6 mm uzunluğunda ve % 0.20 oranında bazalt fiber kullanımında en yüksek değerlere ulaşıldığı görülmüştür. Tüm bu sonuçlar ışığında bazalt fiberin zemin iyileştirilmesinde alternatif malzeme olarak kullanılabilirliği sonucu ortaya konulmuştur.

Kahiyah (2020), bu çalışmada biyopolimer katkısının kil zeminin geoteknik özelliklerinde gerçekleştirdiği değişimleri incelemiştir. Çalışma kapsamında dört farklı

biyopolimer malzeme, katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kilin zemin sınıfının belirlenmesi amacıyla likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Kıvam limit deneylerinden sonra kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyleri standart proktor kalıbında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kilin ağırlıkça % 1, % 2, % 3'ü oranlarında biyopolimer malzemeler kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 1, 7, 14 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Kür sonrası numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu tez çalışması sonucunda kil zeminlerde biyopolimer kullanımının zemin mukavemet özelliklerinde iyileştirme meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

Kalıpcılar (2015), bu tez çalışmasında çimento kullanılarak stabilize edilmiş kil zeminin serbest basınç dayanımı, klor-iyon geçirgenliği, donma-çözülme ve şişme değerlerini incelemiştir. Çalışma kapsamında, puzolanik çimento, portland çimento ve sülfata dayanıklı çimento olmak üzere üç çeşit çimento kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimento oranı % 5, % 10, % 15 olarak belirlenmiştir. Kompaksiyon işleminden sonra hazırlanan numuneler üzerinde sülfat etkisinin meydana getirdiği sonuçları gözlemek amacıyla magnezyum ve sodyum etkisine maruz bırakılmıştır. Hazırlanan numuneler 1 ,7 , 28 ve 90 gün süreyle küre bırakılmıştır. Kür sonrası dayanım ve permeabilite değerleri incelenmiştir. Numunelerin tek boyutlu şişme deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kil zeminde çimento katkısının ve kür sürelerinin artması sonucu dayanımda iyileşmenin meydana geldiği ve geçirimsizliğin azaldığı gözlemlenmiştir.

Doru (2014), bu çalışmada çimento ile iyileştirilmiş zeminde belirli oranlarda uçucu külün çimento yerine kullanılmasıyla zeminin geoteknik özelliklerindeki meydana gelen değişimi incelemiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kil Şanlıurfa ilinin Harran bölgesinden temin edilmiştir. Deneylerde CEM I 42.5N tipli portland çimentosu ve F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül Sugözü Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Zemin özelliklerini belirlemek için pipet yöntemi, Atterberg kıvam limit deneyleri yapılmıştır. Karışımlarda çimento miktarı azaltılarak çimento yerine % 10, % 30, % 50 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün süreyle küre bırakılmıştır. Numuneler üzerinde serbest basınç deneyi, yarmada çekme deneyi, kılcal su geçirimsizliği deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda uçucu kül oranı arttıkça yarmada çekme ve serbest basınç dayanımlarının düştüğü kılcal su

geçirimsizliğinde artışların olduğu görülmüştür. En etkili uçucu kül oranının % 10 olduğu gözlemlenmiştir.

Bagherinia (2019), bu çalışmada düşük plastisiteli kil zeminin, biyopolimer ve bazik kimyasal maddeler kullanılarak derin karıştırma yöntemiyle iyileştirilmesini amaçlamıştır. Çalışmalar kapsamında yapılan ön çalışmalar sonucunda sodyum aljinat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit maddelerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılan kil, özel bir firma aracılığıyla temin edilmiştir. Kilin plastik limit, likit limit, optimum su muhtevası, kompaksiyon ve hidrolik iletkenlik deneyleri sırasıyla yapılarak zemine ait geoteknik özellikler belirlenmiştir. Çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada kile sodyum aljinat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit maddeleri eklenerek likit limit su muhtevasında karıştırılmış ve hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre  $q_u$ -kür süreleri-katkı oranları arasındaki ilişkiler gözlemlenmiştir. Katkı oranının artışıyla  $q_u$  değerlerinin artışı gözlemlenmiştir. İkinci aşamada 30 mm çapında her katkı maddesinin oranına göre kolonlar yapılmış ve kür sürelerinin sonunda kayma mukavemeti, pH, elektriksel iletkenlik, su muhtevası değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlara istinaden oluşturulan kolonların maksimum etki çapları belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise silindirik tankta birli, üçlü ve yedili kolon grupları hazırlanmış ve yükleme-boşluk suyu basıncı ilişkisi incelenmiştir.

Rikhtehgar (2016), bu çalışmada kil zeminlerde nanoteknolojik malzemelerin ve nanoteknolojik özelliğe sahip olan polimer katkıların zemin iyileştirmesine katkı ve etkilerini incelemiştir. Çalışmada kullanılan kil İstanbul İli Çiftalan bölgesinden temin edilmiştir. Zemin mekaniği laboratuvarında kil zeminin kıvam limit deneyleri ve hidrometre deneyi yapılmıştır. Katkı malzemeleri kil zemine belirli oranlarda karıştırılıp minyatür Harward kompaksiyon aletiyle kompaksiyon işlemleri gerçekleştirilmiş karışımların optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler 1, 7 ve 28 gün süreyle küre tabi tutulmuştur. Numuneler üzerinde serbest basınç deneyi, konsolidasyon, ıslak CBR, permeabilite deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde farklı yüzdelerdeki nano malzeme ve nanopolimer katkılarının kil zeminin mukavemet değerlerinde iyileştirme meydana yaptığı ortaya konulmuştur.

Diallo (2019), bu çalışmada çeşitli atık malzemeler kullanılarak zeminin mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlamıştır. Deneylerde kullanılan kil zemin Bursa Uludağ Üniversitesi kampüsündeki bir inşaat sahasından elde edilmiştir. Zemin mekaniği laboratuvarında zemin özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi, hidrometre deneyi, likit limit, plastik limit, özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kireç, uçucu kül ve inşaat atığı olmak üzere üç çeşit katkı malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşenlerinin belirlenmesi amacıyla XFR metodu kullanılmıştır. Karışımların optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları standart proktor kalıbında kompaksiyon işlemi yapılarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan katkı malzemelerinin oranı kilin ağırlıkça % 2 oranında kireç sabit tutularak % 5, % 10, % 15, % 20, % 25, % 30 oranlarında da inşaat molozu ve uçucu kül ayrı ayrı karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 3, 7 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Kür sonunda numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri, şişme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde serbest basınç dayanımında artış ve şişme değerlerinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Kahraman (2020), bu çalışmada kil zeminlerde kalsiyum karbit atığı kullanılmasıyla kilin geoteknik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Deney malzemeleri olarak bentonit, kireç, uçucu kül ve kalsiyum karbit atıkları kullanılmıştır. Kil zeminin kıvam limit deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneylerinde % 5, % 10 ve % 15 oranlarında katkı malzemeleri kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 1, 7, 14 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri, şişme deneyleri ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde, karışımlarda kullanılan katkı maddesi oranları arttıkça optimum su muhtevası değerinin arttığı ve genel olarak maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Kullanılan katkı malzemelerinin serbest basınç dayanımında, kayma mukavemetinde ve şişme değerlerinde iyileşme yaptığı gözlemlenmiştir.

Coşkun (2015), tarafından yapılan bu çalışma ile katkı malzemelerinin kullanılmasıyla kil zeminin mukavemet özelliklerinin iyileştirilebilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kil zemin Nevşehir ili Avanos ilçesinden temin edilmiştir. Kıvam limit deneyleriyle kil zeminin zemin sınıfı belirlenmiştir. Kil zemine ağırlıkça %0, %5, %10 ve %15 oranında çimento, mermer tozu, kireç ve uçucu kül karıştırılarak standart proktor kalıbında kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan numuneler üzerinde konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda kireç ve çimentonun kil zemin iyileştirmede ciddi katkısı olduğu ancak mermer tozu ve uçucu külün önemli bir katkısının bulunmadığı gözlemlenmiştir.

Soğancı (2004), bu çalışmada yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerin kireç ile stabilizasyonu sonrası donma-çözülme dayanımlarını incelemiştir. Deneylerde kullanılan kil zemin Aksaray (Ortaköy Bölgesi) ve Konya'dan (Doğanhisar Bölgesi) temin edilmiştir. Kile ait özelliklerin belirlenmesi amacıyla hidrometre deneyi, likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Standart proktor kalıbında kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler 1, 3, 7, 21 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Kür sonunda serbest basınç deneyleri, kesme kutusu deneyi ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerde serbest basınç dayanımının 28. gün kür sonunda artış gösterdiği görülmüştür. Ancak donma-çözülme sonrası her iki tip için serbest basınç dayanımlarında % 10 ile % 15 oranında azalma gözlemlenmiştir.

Başpınar (2020), bu çalışmada kireç ile stabilizasyonu gerçekleştirilen düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerin gecikmiş kompaksiyon sonrası dayanımlarını araştırmıştır. Kil zemine ait geoteknik özelliklerin belirlenmesi amacıyla hidrometre deneyi, kıvam limit deneyleri(plastik limit ve likit limit deneyleri) yapılmıştır. Zeminlerin sınıfı CL(düşük plastisiteli) ve CH(yüksek plastisiteli) olarak belirlenmiştir. Kil zemine %0, %3, %6, % 9, % 12 ve % 15 oranlarında kireç karıştırılarak hemen sonra ve 7 gün sonra olmak üzere standart proktor kalıbında kompaksiyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Karışımların optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevalarında sıkıştırılarak hazırlanan deney numuneleri 7 ve 28 gün küre bırakılmıştır ve kür sonunda serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda CH sınıf kilde % 9 oranında kireç katkılı numunelerde serbest basınç dayanımı 28 gün kür sonunda en yüksek değerlere ulaşmıştır. CH sınıf kilde gecikmiş kompaksiyon değerleri, hemen sonra kompaksiyon değerlerinden daha düşük çıkmıştır. CL sınıf kilde ise 28 gün kür sonunda gecikmiş kompaksiyon numunelerinin serbest basınç dayanımları, hemen sonra kompaksiyon numunelerinin dayanımında fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Açaz (2011), bu çalışma ile kil zeminlerde magnezyum klorür ( $MgCl_2$ ) solüsyonunun kullanılmasıyla zeminin dayanım, şişme ve dispersibiliteye etkilerini incelemiştir. Deneylede kullanılan kil zemin Afyon ilinden temin edilmiştir. Kil zemine ait özelliklerin belirlenmesi amacıyla elek analizi, likit limit deneyi, plastik limit deneyi ve özgül ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kilin zemin sınıfı CH olarak belirlenmiştir. Kile ağırlıkça % 0, % 3, % 5, % 7, % 9, % 11 ve % 13 oranlarında magnezyum klorür solüsyonu karıştırılarak standart proktor kalıbında kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karışımların optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler üzerinde üç eksenli basınç deneyi ve şişme deneyleri yapılmıştır. XRD ve SEM analizleri ile numunelerin mikro yapısı incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda % 7 oranında  $MgCl_2$  katkısında üç eksenli basınç dayanım değerleri ve şişme değerleri en olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yorulmaz (2018), bu çalışmada mermer ile stabilize edilmiş kil zeminin, donma-çözülme ve kür süresine bağlı olarak mukavemet değerlerindeki değişimi gözlemlemiştir. Çalışmalar kapsamında bentonit ve kaolin killeri kullanılmıştır. Killerin özelliklerini belirlemek üzere özgül ağırlık deneyi, plastik limit ve likit limit deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneylerinde kile % 5, % 10, % 20, % 30 ve % 50 oranlarında kalsitlik ve dolomitik mermer tozları karıştırılmıştır. Standart proktor deneyi sonucunda karışımların optimum su muhtevaları belirlenmiştir. Hazırlanan numunelere 7, 28 ve 56 günlük kür ve donma-çözülme sonrası CBR deneyleri yapılmıştır. Deneyle sonucunda kür süresinin artmasıyla dayanımın da arttığı görülmüştür.

Gücek (2011), bu çalışmada kil zeminlerin mermer tozu ve uçucu kül ile stabilize edilebilirliği araştırılmıştır. Deneylede kullanılan kil zemin Afyon Kocatepe Üniversitesi Kampüsü'nden temin edilmiştir. Kil zeminin sınıfı, kıvam limit deneyleri sonrasında CH olarak belirlenmiştir. Çalışmalarda % 5, % 10, % 15 oranlarında mermer tozu ve % 10, % 20, % 30 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Belirlenen optimum su muhtevalarında hazırlanan karışım numuneleri 1, 7, 28 ve 56 gün küre bırakılmıştır. Kür sonrası numuneler üzerinde eksenel basınç deneyi, donma-çözülme, şişme deneyleri ve CBR deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyle sonucunda mermer tozunun

ve uçucu külün zemin stabilizasyonunda etkili olduğu görülmüştür. En etkili karışım oranının % 10 mermer tozu + % 20 uçucu kül olduğu belirtilmiştir.

Kaçmaz (2019), bu çalışmasında uçucu kül ve mermer tozu kullanımının zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmalarda kullanılan kil zemin Afyon Belediyesi'nden temin edilmiştir. Elek analizleri sonucu zemin sınıfı SW(iyi derecelendirilmiş kum) olarak belirlenmiştir. Standart proktor deneylerinde kullanılan katkı malzemelerinin oranı % 5, % 10, % 15, % 20 olarak belirlenmiştir. Kompaksiyon deneyleriyle karışımları optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Tek eksenli deneyler sonucunda mukavemet artışları gözlemlenmiştir.

Duman (2020), bu çalışmasında Midyat taşı atıklarının düşük plastisiteli kil zeminlerde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kil Bayburt ili sınırlarından temin edilmiştir. Kıvam limitlerini belirlemek amacıyla koni penetrasyon deneyi ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında kil zemine % 0 ve % 6 oranında kireç katkısına ilaveten % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranında Midyat taşı atıkları katılmıştır. Karışımların standart proktor deneyleri ile kompaksiyon özellikleri belirlenmiştir. Hazırlanan karışım numuneleri üzerinde serbest basınç deneyleri ve durabilite deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Midyat taşının kil zeminlerde stabilizasyon maddesi olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Çetinkaya (2012), bu çalışmada uçucu kül ve polipropilen lifi katkısının zeminin geoteknik özelliklerinde meydana getirdiği etkileri araştırmıştır. Kil zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi, hidrometre deneyi, kıvam limiti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon özelliklerini belirlemek amacıyla kil-uçucu kül karışımına % 0.5, % 1.0, % 1.5, % 2.0 polipropilen lifi katkısıyla standart proktor deneyi yapılmış ve karışımların optimum su muhtevası, maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyi ve CBR deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak uçucu kül ve polipropilen fiber katkısının kil zeminlerin dayanım değerlerinde artış meydana getirdiği görülmüştür. En etkili oranın % 1.0 oranında polipropilen fiber katkısıyla meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Taşçı (2011), bu çalışmasıyla silis dumanı ve kireç katkısının kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneylede, Afyon kiline % 3 oranında kireç katkısı sabit tutulup, % 1, % 3, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında silis dumanı karıştırılmıştır. Kilin özelliklerini belirlemek üzere elek analizi, özgül ağırlık deneyi, kıvam limit deneyleri ve kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Mikro yapıdaki değişimleri gözlemek amacıyla XRD ve SEM deneyleri yapılmıştır. Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler üzerinde şişme deneyleri, üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler neticesinde kil zemine % 3 kireç ve % 10 silis dumanı katkısının şişme ve üç eksenli dayanım değerlerinde en olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ünver (2015), bu çalışma kapsamında düşük plastisiteli kil zeminlerde, uçucu kül katkısının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneyler kapsamında kullanılan kil Afyon ilinden temin edilmiştir. Uçucu kül malzemesi Soma ve Çatalağzı Termik Santrallerinden elde edilmiştir. Deneylede kile ağırlıkça % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında uçucu kül karıştırılmıştır. Standart proktor deneyleriyle karışımların optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevası düzeyinde hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri, şişme deneyleri ve dispersibilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak katkı yüzdesinin artışıyla şişme değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Soma uçucu külünün % 20 oranına kadar serbest basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir. Çatalağzı uçucu külünde beklenen artış gözlemlenmemiştir.

Al-Kakı (2016), bu tez çalışması kapsamında atık soda cam şişelerinin zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kil Irak'ın Süleymaniye Bölgesi'nden temin edilmiştir. Kile ait özelliklerin belirlenmesi amacıyla kıvam limit deneyleri, özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Kilin zemin sınıfı CL (düşük plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir. Kile ağırlıkça % 3, % 6, % 9, % 12 oranında cam tozu katılarak kompaksiyon özellikleri belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde CBR, serbest basınç deneyleri ve şişme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak kür süresi arttıkça mukavemet değerlerinde iyileşme ve artış gözlemlenmiştir.

Vural (2012), bu çalışmada kil zeminin çeşitli katkı malzemeleriyle stabilizasyonu sonrası şişme ve dispersibilite özellikleri üzerindeki etkileri incelemiştir. Çalışmalarda kullanılan kil zemin Afyon ve Şanlıurfa bölgelerinden elde edilmiştir. Kil zemine ait özellikleri tayin etmek için elek analizi, kıvam limit deneyleri, özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Kil zeminlerin zemin sınıfları CL ve CH olarak belirlenmiştir. Katkı malzemesi olarak zeolit ve portland çimentosu kullanılmıştır. Kil zemine ağırlıkça % 0 ve % 3 oranında çimento sabit tutularak % 1, % 3, % 6, % 10, % 15, % 20 oranlarında zeolit eklenerek standart proktor deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde şişme deneyleri, dağılma deneyi, iğne deliği deneyi ve serbest basınç deneyi yapılmıştır. Mikro yapıyı analiz etmek amacıyla XRD deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, kür süresinde bağlı olarak dayanım parametrelerinde artışlar gözlemlenmiştir.

Erkan (2007), bu çalışmada kireç katkısının etkisiyle kil zeminlerin mukavemet değerlerindeki iyileşmeyi araştırmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kil zemin Konya Organize Sanayi Bölgesi'nden 30\*30\*30 boyutlarında örselenmeden alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde çeşitli çaplarda açılan delikler sönmemiş kireç boyunca küre bırakılmıştır. Kür sonucunda serbest basınç deneyi ve konsolidasyon deneyleri için numuneler alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda zemin mukavemet değerlerinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Bilge (2011), bu çalışmada kil zeminlerin yüksek fırın cürufu(YFC) ile iyileştirilebilirliği araştırılmıştır. Kilin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla hidrometre deneyi, plastik limit, likit limit deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kil zemine % 5, % 10, % 15 oranında YFC, zeolit, kireç, uçucu kül katılarak karışımların kompaksiyon özellikleri belirlenmiştir. Hazırlanan karışım numuneleri günlük, 7 ve 28 gün küre bırakılmıştır ve kür süresi sonunda serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek basınç dayanımı % 100 kil + % 15 YFC + % 15 zeolit kombinasyonunda olduğu gözlemlenmiştir.

Demir (2019), bu çalışmada silis dumanı ve mermer atıklarının kireç ile birlikte kullanımının yüksek plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilir olmasını araştırmıştır. Kile ait özellikler koni penetrasyon deneyi(likit limit deneyi) ve plastik limit deneyleriyle belirlenmiştir. Deneylerde kile ağırlıkça % 0 ve % 6 kireç ve

% 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında silis dumanı ve mermer tozları katılmıştır. Kompaksiyon özelliklerini belirlemek için standart proktor deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde ıslanma-kuruma periyodu deneyi, serbest basınç deneyi, donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda silis dumanı ve kireç karışımının dayanım değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmüştür. Mermer tozu katkısının ise durabilite özelliklerinde oldukça etkin katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Çetin (2011), bu çalışmasıyla yüksek plastisiteli kil zeminlerde uçucu kül, kopolimer ve polipropilen fiber katkı maddelerinin kullanılmasıyla zemin mukavemet değerlerini iyileştirilmesini amaçlamıştır. Kilin kıvam limit deneyleri yapılmıştır. Doğal kile ağırlıkça % 5, % 10, % 15 oranlarında uçucu kül, % 0.25, %0.50, % 0.75, % 1.0 oranında polipropilen lif, %0.50, % 0.75, % 1.0, % 1.25, % 1.50 oranlarında kopolimer malzemeleri katılarak Harvard kompaksiyon kabıyla sıkıştırılmıştır. Karışımlara ait  $w_{opt}$  ve  $\gamma_{kmaks}$  değerleri belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak uçucu kül, kopolimer ve polipropilen lif katkısıyla birlikte serbest basınç dayanımında artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Öntürk (2011), bu çalışma kapsamında uçucu kül, polisaj ve kireç malzemelerinin zemin iyileştirmesindeki katkılarını araştırmıştır. Çalışmalarda kullanılan kaolin kilin özelliklerini belirlemek için hidrometre deneyi, Atterberg limit deneyleri, elek analizi yapılmıştır. Deneylerde kile % 15 oranında kireç ve uçucu kül sabit tutularak % 10, % 15, % 20 oranlarında polisaj katılmıştır. Kompaksiyon deneyleriyle karışımların optimum su muhtevanları ve maksimum kuru birim ağırlıkları belirlenmiştir. Hazırlanan karışımlar 1, 7, 14, 28, 56 gün küre bırakılmıştır. Kür süresi sonunda numuneler üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek CBR dayanımları % 55 kaolin kili + % 15 kireç + % 15 uçucu kül + % 15 polisaj kombinasyonunda gerçekleşmiştir.

Görgün vd. (2015), yaptıkları çalışmada mermer tozunun geoteknik mühendisliğinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda yüksek plastisiteli (CH) kil zemine % 10 ve % 20 oranında mermer tozu katılmıştır. Karışımların kompaksiyon deneyleri, serbest basınç deneyleri ve SEM analizleri yapılmıştır. 0 ve 7 günlük kür süresi sonucunda mermer tozunun kil zeminin

dayanımında artış meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Mermer tozunun geoteknik mühendisliğinde geri dönüşümde kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Küçük (2021), yaptığı çalışma ile polipropilen fiberin kil zeminlerdeki drenajsız kayma direncine etkisini incelemiştir. Çalışmada 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm ve 50 mm uzunluğunda; %0,5, %1, %1,5 ve %2'si oranlarında polipropilen fiber kullanılmıştır. Numuneler üzerinde SEM analizleri ve serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda polipropilen fiber katkısının kil zeminin drenajsız kayma direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Maksimum direncin % 2 oranında ve 30 mm uzunluğundaki fiber katkısında olduğu görülmüştür.

Alpyürür vd. (2018), atık gaz betonun yüzeysel zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada düşük plastisiteli, yüksek plastisiteli ve kum zeminlerin öğütülmüş gaz beton atığı katkısı ile geoteknik özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Katkisiz zeminlere %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında öğütülmüş gaz beton atığı karıştırılmıştır. Numuneler üzerinde CBR, serbest basınç deneyi, kesme kutusu deneyi ve şişme deneyleri yapılmıştır. Öğütülmüş gaz beton katkısının, kil zeminlerde dayanımın artırdığı, şişmeyi azalttığı belirtilmiştir. Kum zeminde ise kayma mukavemeti açısının arttığı belirlenmiştir.

Şahbaz vd. (2020), çimento ve polipropilen lif kullanarak düşük plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilebilirliğini araştırmışlardır. Kil zemine elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık ve kıvam limit deneyleri yapılarak zemin özellikleri belirlenmiştir. Zemine %5, %10 oranlarında çimento ve % 0.5, % 1.0 ve % 1.5 oranlarında polipropilen lif katkısı eklenmiştir. Karışımların optimum su içerikleri ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyi, CBR ve şişme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda çimento ve polipropilen liflerin düşük plastisiteli kil zeminlerde zemin iyileştirmesinde birlikte kullanılabilir oldukları gözlemlenmiştir.

Bilgen vd. (2012), çelikhane cürufunun kil zeminlerde zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliğini ve kireç ile uyumunu incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda belirli orandaki çelikhane cürufu ve kirecin birlikte kullanılması sonucu kil zeminin

serbest basınç dayanımının önemli ölçüde arttığı ve birim deformasyonlarında önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

Zorluer vd. (2003), yaptıkları bu çalışma ile kil zeminlerin mermer tozu ile iyileştirilmesini incelemiştir. Kil zemine % 0, 1, 3, 5, 7 oranlarında mermer tozu katılmıştır. Numuneler, standart proktor enjinesinde sıkıştırılmış ve ödometre deney cihazında şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Oran olarak % 5 mermer tozu katkısında en etkili değerler elde edildiği gözlemlenmiş ve mermerin zemin iyileştirmede etkili olduğu görülmüştür.

Okucu ve Gündüz (2019), bu çalışmada yüksek fırın cürufunun kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında bentonit kiline % 5, % 10, % 15 oranında yüksek fırın cürufu ve bunlara ek olarak bu oranlara % 10 kireç ilave ederek karışımlar hazırlamıştır. Bu katkılı karışımlar üzerinde hidrometre deneyi, özgül ağırlık, kıvam limit , kompaksiyon deneyleri ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek dayanım değerleri % 100 kil-% 15 YFC katkılı numunelerde elde edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kil Zemin

Çalışmalarda iki çeşit kil zemin kullanılmıştır. Yeşil renkte olan kil zemin Nevşehir İli Ürgüp İlçesi'ne bağlı Sarıhıdır Köyü mevkinde arazi yüzeyinden alınmıştır. Zemin numuneleri 20-30 kg'lık plastik torbalara koyularak paketlenmiştir. Çalışmalarda kullanılan kırmızı renkteki ikinci tip kil zemin numuneleri de yine Nevşehir İli Avanos İlçesi'nde faaliyet gösteren çömlek yapım firmalarından doğal halde temin edilip plastik torbalarda paketlenmiştir. Paketlenen kil zeminler Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'na getirilmiştir.



Şekil 3.1. Laboratuvara getirilen kil zeminlerin etüvde kurutulması

Doğal su muhtevalarında bulunan kil zemin numuneleri laboratuvarında bulunan metal tepsilere koyularak 105 °C sıcaklığa ayarlanan etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Zeminler numunelerinden kırmızı renkteki kil numune Zemin-A, yeşil renkteki zemin numunesi ise Zemin-B olarak adlandırılmıştır. Kurutulan zemin numuneleri öğütme makinesi ile öğütülerek küçük taneler haline getirilmiştir. Zeminlere ait özelliklerin belirlenmesi amacıyla elek analizi, hidrometre deneyi, Casagrande kıvam limit deneyleri (likit limit ve plastik limit), özgül ağırlık deneyi, kompaksiyon deneyleri yapılmıştır.



Şekil 3.2. Zemin-A öğütülmüş hali



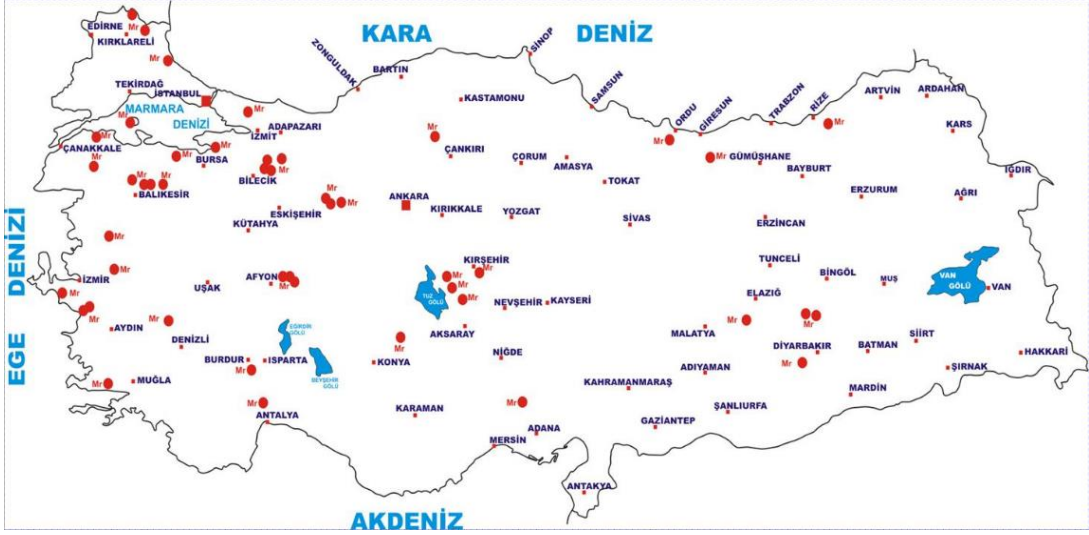
Şekil 3.3. Zemin-B öğütülmüş hali

### 3.1.2. Mermer Tozu

Mermerin bilimsel olarak tanımı; fiziki ve kimyasal niteliklerini değişimi sırasında kazanan ve bu değişimin izlerini bulunduran, Kalker ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) gibi karbonat alaşımı, ısı ve basınç altında fiziki ve kimyasal değişime uğrayarak tekrar tekrar kristalleşmesi sonucu ortaya çıkan kayalardır. Ticari tanımı ise; ticari kullanıma uygun yasalarla bilinen boyutlarda blok verebilen, parçalarının parlatılabilir veya temas yüzeyinin işlenebilir olduğu ve taş nitelikleri olarak kaplama taşı normlarına uygun olan bütün taştır (Çitoğlu ve Bayraktar, 2018).

Atık mermer tozları, mermer işletim tesislerinde blokların kesilmesi sonucunda oluşmaktadır ve tane boyları çoğunlukla 300 mikron altındadır. Çökeltme havuzlarında biriken mermer tozları, atık sahalarına alınmakta ve büyük bir çoğunluğu ise atık olarak kalmakta ve çevre sorunlarına sebebiyet vermektedir (Zorluer ve Usta, 2003).

Mermer tesislerinde işlenen mermerlerin yaklaşık % 30'u üretim atığı olarak çıktığı belirtilmiştir (Ünal ve Kibici, 2001). Ülkemizdeki 2.2 milyon ton mermer işlenmesinden 660 bin ton atık mermer oluştuğu düşünüldüğünde bu atıkların değerlendirilmesi ekonomik yönden önemli kazanımlar sağlayacaktır (Ceylan vd., 2001).



Şekil 3.4. Türkiye mermer yatakları haritası (<https://www.mta.gov.tr>)



Şekil 3.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan mermer tozu

Deneysel çalışmalarda kullanılan mermer tozu ticari faaliyetlerde bulunan bir firmadan temin edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan mermer tozları Şekil 3.5’ te verilmiştir. Deneylerde kullanılan mermer tozlarının yapısında bulunan bileşen ve bileşen yüzdeleri firmadan alınan veriler doğrultusunda Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Mermerin yapısında bulunan kimyasal bileşenler

KİMYASAL BİLEŞENLER	BİLEŞEN YÜZDELERİ (%)
CaO	54.250

SiO <sub>2</sub>	0.880
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.100
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.200
MgO	0.430
CO <sub>2</sub>	44.140
CaCO <sub>3</sub>	98.250

### 3.1.3. Yüksek Fırın Cürufu(YFC)

Yüksek fırın cürufu, ham demir üretiminde çok yüksek sıcaklıklardaki fırınlarda, demire göre daha hafif bir malzeme olmasından kaynaklı demirin üst kısmında kalarak oluşan atık üründür (Tokyay ve Erdoğan, 2009).

Yüksek fırın cürufu, demir-çelik üretimi sırasında elde edilen endüstriyel bir yan üründür. Demir-çelik üretim tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan ürünlerin büyük bir kısmı yüksek fırın cürufu ve çelikhane cürufu tarafından oluşmaktadır. Bu tesislerde her bir tonluk demir-çelik üretimi sırasında yaklaşık 400 kg civarında cüruf oluşmaktadır. Meydana gelen bu 400 kg'lık cürufun yaklaşık olarak 250-300 kg kadarı yüksek fırın cürufu, 100-150 kg civarı ise çelikhane cürufundan oluşmaktadır (Suk ve ark., 2006).

Yüksek fırın cürufunun oluştuğu sıcaklık yaklaşık olarak 1400 ile 1600 °C değerlerindedir (Tokyay ve Erdoğan, 2009). 1 ton sıcak metalden yaklaşık 200-600 kg cüruf elde edilmektedir (Reuter ve Ark., 2004).

1774 yılından beri yüksek fırın cüruflarının bağlayıcı özelliğe sahip olduğu bilinmektedir. Yüksek fırın cürufu, ilk kez Almanya' da 1892 yılında kullanılmıştır. 1896 yılında ise ABD' de çimento yapımında katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufunun beton üretiminde kullanılması ise 1950'li yıllar sonrasındır (Ünal ve Güçlüer, 2016).

Türkiye'de üretim sonucu katı, sıvı ve gaz halde birçok atık madde yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek fırın cürufları, fazla üretim ve tekrar kullanım

olanağı açısından bu yan ürünler arasında en uygun olanlardan bir tanesidir (Baycık, 2003).



**Şekil 3.6.** Deneysel çalışmalarda kullanılan yüksek fırın cürufu

Demir cevherleri içerisinde Hematit ( $Fe_2O_3$ ), Magnetit ( $Fe_3O_4$ ), Limonit ( $Fe_3O_4 \cdot nH_2O$ ) ve Siderit ( $FeCO_3$ ) gibi çeşitli bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenlerden ayrı olarak az miktarlarda silis, alümin, kükürt, fosfor, mangan gibi maddeler de demir cevherlerinin bünyelerinde bulunmaktadır (Doğulu, 1998).

Yüksek fırın cürufu çimentolar, daha az klinker içerdiklerinden dolayı daha az  $CO_2$  ve daha az zararlı gaz emisyonu sağlamaktadırlar. Bununla beraber klinker oranının azalması enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Bu yüzden dolayı öğütülmüş haldeki yüksek fırın cürufuları hem ekonomik olarak hemde ekolojik olarak önemli yer tutmaktadırlar (Engin, 2015).

Bu çalışma kapsamında kullanılan yüksek fırın cürufu Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunan ve OYAK Maden-Metalürji bünyesinde faaliyet gösteren İsdemir Demir-Çelik Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan yüksek fırın cürufu Şekil 3.6' da verilmiştir. Firmadan alınan veriler doğrultusunda yüksek fırın cürufunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2' de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Yüksek fırın cürufunun kimyasal kompozisyonları (www.isdemir.com.tr)

Kimyasal Bileşim	Ortalama(%)	Aralık(%)	Tane İriliği Dağılımı	Aralık
------------------	-------------	-----------	-----------------------	--------

CaO	34.4	30-40	+ 6.35 mm	% 1 (max.)
MgO	6.8	4-10	-6.35, +3.15 mm	% 2 (max.)
SiO <sub>2</sub>	42.0	38-48	-3.15, +1.60 mm	% 16-19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.2	8-14	-1.60, +1.00 mm	% 33-37
S	0.6	1.5 (max.)	-1.00, +0.40 mm	% 35-40
MnO	1.1	2.5 (max.)	-0.40, +0.15 mm	% 3-6
FeO	0.1	1.0 (max.)	-0.15 mm	% 6 (max.)
K <sub>2</sub> O	0.9	2.0 (max.)	Rutubet	% 7-20
TiO <sub>2</sub>	0.7	1.5 (max.)	Yığılm Yoğunluğu(t/m <sup>3</sup> )	1-1.3

### 3.1.4. Polipropilen Fiber

Polipropilen lif insanlık tarihi kadar eski olan bir yapı malzemesi olmakla beraber, saman ve hayvan kılları kullanımının günümüze uyarlanmış halidir. Sıva, harç, beton uygulamalarında çok fazla kullanılmaktadır. Kullanımının yaygınlaşmasıyla polipropilen lifin hem iyileştirme çalışmalarında kullanılması hem de polipropilen lif üzerine yapılan bilimsel çalışmalar hızla artış göstermektedir (Çetinkaya, 2012).

Polipropilen lifler hem tekil hem hamur şeklinde bulunabilirler. Uzunlukları ise 3-50 mm arasında değişkenlik göstermektedir (Shah, 1995).



Şekil 3. 7. Deneysel çalışmalarda kullanılan polipropilen lifler

Polipropilen fiberler; çürüme yapmaz, paslanmaz ve oldukça dayanıklıdır. Ayrıca beton, sıva, harç içinde küçük donatı görevi üstlenerek çatlakların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalar sonucunda da fiber katkısının beton ve zeminin mukavemet değerlerini artırdığı ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında kullanılan polipropilen fiberler Şekil 3.7’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan polipropilen fiberin teknik özellikleri Çizelge 3.3 ‘ te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Polipropilen fiberin teknik özellikleri

<b>Kimyasal Yapı</b>	% 100 polipropilen
<b>Ambalaj</b>	0.6 kg’lık kağıt torbalarda
<b>Görünüm-Renk</b>	Beyaz ve kabartmalı düz fiber lifler
<b>Raf Ömrü</b>	Üretim tarihinden itibaren 24 ay (Açılmamış paket)
<b>Depolama Koşulları</b>	5- 30 °C sıcaklık aralığında depolanmalıdır
<b>Yoğunluk</b>	0.91 g/cm <sup>3</sup>
<b>Uzunluk</b>	12 mm
<b>Çap</b>	32 µm
<b>Erime Noktası</b>	170 °C
<b>Çekme Dayanımı</b>	430 Mpa
<b>Gerilimde Elastisite Modülü</b>	6 GPa
<b>Termal İletkenlik</b>	Düşük
<b>Elektriksel İletkenlik</b>	Düşük
<b>Asit Direnci</b>	Yüksek

### 3.2 Yöntem

#### 3.2.1. Elek Analizi ve Hidrometre Deneyi

Kil zeminlere ait tane çapı dağılımını belirlemek üzere elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. En üstte 4 no’lu (4.75mm) elek, en altta 200 no’lu (0.075mm) elek olacak şekilde sıralanmıştır. Yıkamalı analiz ile eleme işlemi yapılmıştır. 200 no’lu elekten geçen numuneler için hidrometre deneyi yapılmıştır. Deneyler ASTM D422 deney standartına uygun gerçekleştirilmiştir.

Hidrometre yöntemi, içerisinde ayrıştırıcı madde karıştırılmış ve süspansiyon halde bulunan zemin-su karışımının belirli bir zaman anındaki yoğunluğunun belirlenmesi için kullanılan yöntemdir (Özdemir, 2006). 200 no’lu elekten geçen zeminden belirli bir miktar alınır. 1000 ml’ lik bir silindir kap içerisinde süspansiyon

hazırlanır. Üzerinde tam sayılar yazılı hidrometre adı verilen alet ile belirli zamanlarda ölçüm yapılır (Uzuner, 2007).



**Şekil 3.8.** Hidrometre deneyi için hazırlanan 1000 ml'lik süspansiyonlar

Bu çalışmada iki zemin tipi (Zemin A ve Zemin B) için tane çapı dağılımını belirlemek amacıyla hidrometre deneyi yapılmıştır. Her madde için aynı işlemler tekrarlanarak bütün malzemelerin granülometri eğrisi çizilmiştir. Deney için başlangıçta menisküs düzeltilmesi yapılmıştır. Daha sonra 200 no'lu elekten geçen malzemelerden yaklaşık 50 g alınmıştır. Süspansiyonda tanelerin birbirine yapışıp topaklanmasını önlemek amacıyla ayrıştırıcı madde olarak 5 g sodyum hekzametafosfat malzemelerin üzerine eklenmiştir. Malzeme-sodyum hekzametafosfat karışımına 1000 ml su eklenerek tanelerin iyice ayrışmasını sağlamak için yüksek devirli karıştırıcıda karıştırılmıştır. Deney süre tutularak başlatılmış ve belirli aralıklarla (0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 240, 1440. dk) hidrometre okumaları kaydedilmiştir. Deneylerde 152H tipi hidrometre kullanılmıştır. Ortamın sıcaklık değişimleri de dikkate alınarak sıcaklıklarda aynı şekilde ölçülüp kaydedilmiştir. Sıcaklık değerlerindeki değişimler süspansiyon yoğunluğunu değiştireceği için dispersiyon (ayrıştırıcı) düzeltmeleri de yapılmıştır.



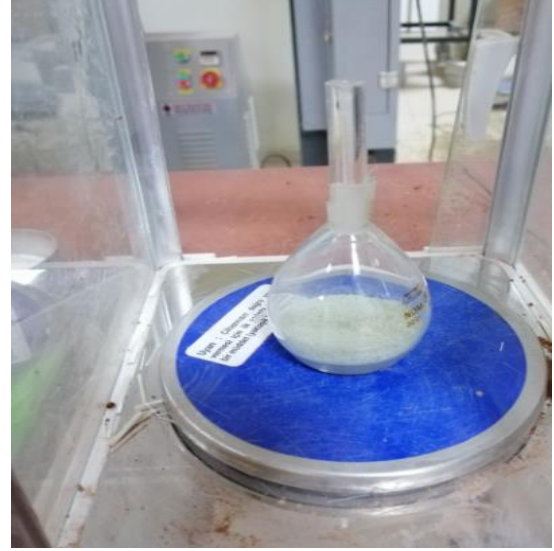
**Şekil 3.9. (a) Hidrometre aleti (b) Yüksek devirli karıştırıcı  
(c) Ayrıştırıcı kimyasal madde(Soydum heksametafosfat)**

### 3.2.2. Özgül Ağırlık (Piknometre) Deneyi

Tane yoğunluğunun ( $\rho_s$ ) belirlenmesi için iri taneli zeminlerde 1 l'lik kavanoz biçiminde olan cam kaplar kullanılmaktadır. İnce taneli zeminlerde ise 50-100 ml' lik piknometre adı verilen cam şişeler kullanılmaktadır (Uzuner, 2007).



Şekil 3.10. Numunenin hazırlanması



Şekil 3.11. Numunenin tartılması

Deneyde 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş zeminden 40 no'lu elekten geçen kısmı kullanılmaktadır. Deney için öncelikle boş piknometre kabı, içi ve dışı tamamen kuru olmak kaydıyla 0.01 hassasiyetli terazide tartılır ve boş kabın ağırlığı (M1) kaydedilir. Daha sonra kabın içine kuru numuneden bir miktar koyularak boş kap-kuru numune ağırlığı (M2) kaydedilir. Kabın içine tamamen su koyulup kil-su çözeltisi oluşturulup içindeki hava vakumlandıktan sonra boş kap-kuru numune-su ağırlığı (M3) değeri belirlenir. Deneyin son adımı olarak piknometre kabının içindeki çözelti tamamen boşaltılarak yerine tamamen su koyularak (M4) değeri kaydedilir. Tane yoğunluğu hesaplamaları denklemdeki gibi yapılmıştır. Deneyler ait kodlar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

$$\rho_s = \frac{(M2 - M1)}{\left[ \frac{(M4 - M1) - (M3 - M2)}{\rho_{su}} \right]} \quad (3.1)$$

M1: Boş piknometre kabının ağırlığı

M2: Boş piknometre kabı + kuru numune ağırlığı

M3: Boş piknometre kabı + kuru numune ağırlığı + su ağırlığı

M4: Boş piknometre kabı ağırlığı + su ağırlığı

$\rho_s$  = Tane yoğunluğu

$\rho_{su}$  = Su yoğunluğu

**Çizelge 3.4.** Piknometre deneyi kodları

<b>Numunue İsmi</b>	<b>Piknometre Deneyi Kodları</b>
<b>Zemin A</b>	APD1
	APD2
	APD3
<b>Zemin B</b>	BPD1
	BPD2
	BPD3
<b>Mermer Tozu</b>	MPD1
	MPD2
	MPD3
<b>Yüksek Fırın Cürufu</b>	YPD1
	YPD2
	YPD3

### 3.2.3. Kıvam Limitleri Tayini

İnce taneli zeminlerde, zemin içerisindeki farklı su oranlarında zeminlerin farklı fiziksel özelliklerle göstermesi kıvam olarak adlandırılmaktadır. İnce taneli zeminlerdeki bu durumları belirleyen sınır muhtevaları Atterberg(kıvam) deneylerinden elde edilmektedir (Kumbasar ve Kip, 1999). Bu sınır değerleri likit limit, plastik limit ve rötre limit kavramları olarak adlandırılmaktadır.

Bu kavramlar şöyle tanımlanmaktadır:

**Likit limit:** Plastik ve likit durumları birbirinden ayıran sınır su içeriğine denilmektedir. Başka ifade etmek gerekirse, zeminin kendi ağırlığı altında akabildiği en düşük su içeriği olarak ifade edilmektedir (Özdemir, 2006).

**Plastik limit:** Zeminin plastik bir malzeme halinden yarı plastik bir malzeme durumuna geçtiği andaki su içeriği plastik limit olarak ifade edilmektedir (Özdemir, 2006).

**Rötre limit:** Zemine plastik şekil vermenin bittiği andaki bulunan su içeriği olarak ifade edilmektedir (Özdemir, 2006).

**Plastisite indisi(PI):** Likit limit(LL) değerinden, plastik limit(PL) değerinin çıkarılmasıyla bulunur.

### 3.2.3.1. Likit Limit Deneyi

Likit limit tayini için iki çeşit yöntem vardır. Bunlardan birincisi Casagrande yöntemi, ikincisi ise koni penetrasyon yöntemidir. Bu tez çalışması kapsamında Casagrande deneyi yöntemi kullanılarak likit limit tayinleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler ASTM D4318 deney standartlarına göre yapılmıştır.

Deney için kuru zemin taneleri 40 no' lu elekten elenmiştir. Elekten geçen zeminden bir miktar alınmış ve bir miktar başlangıç için su katılarak spatula yardımıyla su homojen dağılacak şekilde karıştırılmıştır. Karıştırılan zemin, metalden yapılan yarım küre şeklindeki tasın içine spatula yardımıyla yerleştirilmiştir ve numunenin üst yüzeyi metal bir cetvel yardımıyla tesviyelenmiştir. Bu işlemden sonra standart yarıık açma bıçağı ile tasın tam ortasından bir yarıık açılmıştır. Ardından deney aleti üzerindeki kol çevirilerek, metal kabın 10 mm' den düşüşü sağlanmıştır. Yarıığın kapandığı ana kadar çevirilmiştir ve yarıık kapandığı andaki numerik ekrandan kaç vuruç yapıldığı kaydedilmiştir. Daha sonra tasın içindeki numuneden bir miktar numune alınarak kaba koyulmuş ve kap+zemin kütlesi tartılarak etüve koyulmuştur. Aynı işlemler zemine artan miktarlarda su ilave ederek 5 defa tekrar edilmiştir. Etüvde kurutulan zemin numunelerinin su muhtevaları belirlenmiştir. Yatayda vuruş sayısı (N-log), düşeyde su muhtevası (w) olan eksen takımında hesaplanan noktalar işaretlenmiştir. İşaretlenen noktalara en uygun lineer bir doğru çizilmiştir. Grafikten N=25 vuruşa denk gelen su muhtevası, likit limit değeri olarak belirlenmiştir. Likit limit deneylerine ait deney kodları Çizelge 3.5' te verilmiştir.



(a)



(b)



Şekil 3.12. (a)-(b)-(c)-(d): Casagrande Deneyi ile likit limitin belirlenmesi

Çizelge 3.5. Likit limit deneyi kodları

Numune İsmi	Deney Kodları				
<b>Zemin A</b>	ALL1	ALL2	ALL3	ALL4	ALL5
<b>Zemin B</b>	BLL1	BLL2	BLL3	BLL4	BLL5

### 3.2.3.2. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit değerlerini belirlemek için zemin 40 no' lu elekten elenmiştir. Elenen kuru zeminden bir miktar alınmıştır. Alınan zemine bir miktar su katılıp yoğrulmuştur. Yoğrulan zeminden bir parça kopartılarak, yüzeyi temiz bir cam üzerinde avuç içi ayası ile yuvarlanmıştır. Yuvarlanarak çubuklar haline getirilen zemin numuneleri 3 mm kalınlığa ulaştığında eğer çubuklar üzerinde kopmalar ve çatlaklar oluştuysa çubuklar metal kapla beraber tartılarak etüve konulmuştur. Zemin çubuklarının 3 mm' den daha ince olduğu durumlarda ise çubuklar toplanıp tekrar yoğrulmuş ve 3 mm'de kopmalar meydana gelene kadar işlemler tekrarlanmıştır. Deneyler ASTM D4318 deney standartlarına göre yapılmıştır. Plastik limit deney kodları Çizelge 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.13. (a) - (b) Plastik limit değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 3.6. Plastik limit deneyi kodları

Numune İsmi	Deney Kodları	
Zemin A	APL1	APL2
Zemin B	BPL1	BPL2

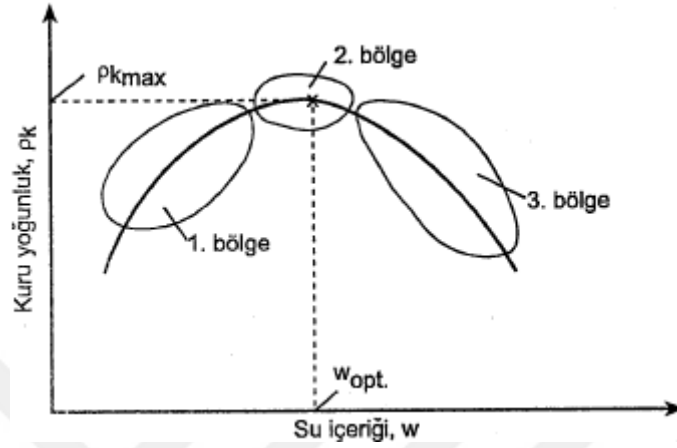
### 3.2.4. Kompaksiyon Deneyi

Zeminlerde kompaksiyon işlemi, zemini mekanik araçlar yardımıyla zorlayarak su hacminde değişim meydana getirmeden boşluklardaki hava hacminin azaltılmasını sağlamaktadır. Böylece zemin taneleri birbirine olabildiğince yakınlaştırılmış olmaktadır. Bu işlem sonucunda zemin mukavemetinde artışlar görülür (Kumbasar ve Kip, 1999).

Kompaksiyon sonucu genel olarak sağlanan yararlar şöyle sıralanabilir:

- 1) Zeminin taşıma gücünde artış görülür.
- 2) Zeminin geçirimsizliği azaltılarak, zeminin daha kararlı bir yapıda olması sağlanabilir.
- 3) Zeminin sabit, hareketli ve dinamik yüklere maruz kalması durumunda, zeminin yapacağı oturma miktarları azaltılmış olur (Uzuner, 2007).

Proktor deneyleri olarak isimlendirilen kompaksiyon deneyleri, 1933 yılında R.R. Proctor tarafından toprak dolmaların yapımı için geliştirilmiştir. Kompaksiyon deneylerinden su muhtevası (w) ve kuru birim hacim ağırlık arasındaki bağıntı elde edilmektedir (Kumbasar ve Kip, 1999).



Şekil 3.14 : Sıkıştırılmış bir zeminde  $\rho_k$ -w ilişkisi (Uzuner, 2007)

$$w = \frac{M_{su}}{M_{kuru}} = \frac{M_{yaş} - M_{kuru}}{M_{kuru}} \quad (3.2)$$

$$\gamma_n = \frac{M_{tüm}}{V_{tüm}} \quad (3.3)$$

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1+w} \quad (3.4)$$

Burada;

w : Su muhtevası

$M_{su}$  : Su ağırlığı

$M_{yaş}$  : Yaş zemin ağırlığı

$M_{kuru}$  : Kuru zemin ağırlığı

$M_{tüm}$  : Tüm ağırlık

$V_{tüm}$  : Tüm hacim

$\gamma_n$  : Doğal birim hacim ağırlık

$\gamma_k$  : Kuru birim hacim ağırlık

### 3.2.4.1. Standart Proktor Deneyi

Kompaksiyon deneylerinde standart proktor deney aleti kullanılmıştır. Deney aleti metal kalıp (mold) ve tokmak olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Metal kabın derinliği yaklaşık 11.5 cm, çapı 10.5 cm, hacmi 944 cm<sup>3</sup> 'tür. Tokmak kısmı ise 2.5 kg, 30.5 cm yüksekliğindedir.



şekil 3.15. (a) Standart proktor kalıbı (b) Kompaksiyon işleminde kullanılan tokmak (2.5 kg)

Kompaksiyon işlemine başlanırken öncelikle boş kalıbın ağırlığı ölçölüp kaydedilmiştir. Daha sonra zemin ve zemin-katkı malzemesi karışımına bir miktar su verilip homojen şekilde karıştırılmıştır. Zemin numuneleri, metal kalıbın içine üç tabaka halinde yerleştirilmiş ve her tabakada tokmak ile 25 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan zemin ve kalıp birlikte tartılıp okunan değer kaydedilmiştir. Sıkıştırılan zemin kalıptan çıkarılmış ve zeminden etüvde kurutulmak üzere belirli bir miktar (60-70 g) alınarak metal kaplara konulmuştur. Aynı işlemler artan su miktarı eklenmesiyle 4-5 defa tekrar edilmiştir. Doğal zeminlerin ve her bir karışım için işlemler yapılmıştır. Her karışımın optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Standart proktor deneyleri ASTM D698 deney standartlarına göre yapılmıştır. Çalışmaya ait deney kodları izelge 3.7' de verilmiştir.



Şekil 3.16. Zemine katkı malzemesinin katılması



Şekil 3.17. Karışımın hazırlanması



Şekil 3.18. Kalıbın yüzeyinin tıraşlanması



Şekil 3.19. Karıştırılan zeminin sıkıştırılması

Çizelge 3.7. Standart proktor deney kodları

Numune İsmi	Katkı Yüzdesi	Deney Kodları
Zemin A	Doğal Kil	ASP0
Zemin A	Doğal Kil + % 5 Mermer Tozu	ASP5MRM
Zemin A	Doğal Kil + % 10 Mermer Tozu	ASP10MRM
Zemin A	Doğal Kil + % 15 Mermer Tozu	ASP15MRM
Zemin A	Doğal Kil + % 20 Mermer Tozu	ASP20MRM
Zemin A	Doğal Kil + % 5 Yüksek Fırın Cürufu	ASP5YFC
Zemin A	Doğal Kil + % 10 Yüksek Fırın Cürufu	ASP10YFC
Zemin A	Doğal Kil + % 15 Yüksek Fırın Cürufu	ASP15YFC
Zemin A	Doğal Kil + % 20 Yüksek Fırın Cürufu	ASP20YFC

<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 0.1 Polipropilen Fiber	ASP01PPF
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 0.5 Polipropilen Fiber	ASP05PPF
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 1.0 Polipropilen Fiber	ASP10PPF
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 1.5 Polipropilen Fiber	ASP15PPF
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil	BSP0
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 5 Mermer Tozu	BSP5MRM
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 10 Mermer Tozu	BSP10MRM
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 15 Mermer Tozu	BSP15MRM
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 20 Mermer Tozu	BSP20MRM
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 5 Yüksek Fırın Cürufu	BSP5YFC
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 10 Yüksek Fırın Cürufu	BSP10YFC
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 15 Yüksek Fırın Cürufu	BSP15YFC
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 20 Yüksek Fırın Cürufu	BSP20YFC
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 0.1 Polipropilen Fiber	BSP01PPF
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 0.5 Polipropilen Fiber	BSP05PPF
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 1.0 Polipropilen Fiber	BSP10PPF
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 1.5 Polipropilen Fiber	BSP15PPF

### 3.2.5. Numunelerin Hazırlanması

Optimum su muhtevaları belirlenen karışımları hazırlamak için kil zemine belirlenen katkı miktarları karıştırılıp standart proktor kalıbında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan zeminden serbest basınç deneyi için silindir numuneler alınmıştır. Numune almak için 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde silindir metal tüpler sıkıştırılan zemine çakılmıştır. Numunelerin bozulmadan alınması için silindir tüplerin iç kısmı gres yağı ile yağlanmıştır. Tüplerin içine alınan zemin numuneleri hidrolik kriko yardımıyla özenle çıkartılmıştır. Çıkartılan numuneler bekletilmeden poşetlenmiş ve dip kısmında 1 - 2 cm yüksekliğinde su bulunan plastik kaplara koyulmuş ve plastik kapların üstü kapatılmıştır. Numuneler 7 ve 28 gün süreyle küre bırakılmıştır. 7. ve 28. günde küreden çıkartılan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.20. Tüplerin gres yağıyla yağlanması



Şekil 3.21. Tüplerin kalıba çakılması



Şekil 3.22. Tüplerin kalıptan çıkartılması



Şekil 3.23. Numunelerin tüpten çıkartılması

### 3.2.6. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi, kohezyonlu zeminlerde uygulanabilen bir deneydir. Örselenmemiş silindirik zemin numunesi herhangi bir yanal basınca tabi olmadan sadece düşey basınç gerilmesine tabi tutulur. Deney düzeneği iki adet plakadan oluşur. Bu plakaların biri sabittir, diğeri ise düşey hareket etmektedir. Zemin numunesi plaka arasına yerleştirilerek yükleme yapılır. Deney düzeneğinde bulunan saatlerden yük ve deformasyon miktarları gözlemlenir (Uzuner, 2007).

Tez çalışması kapsamında yapılan serbest basınç deneyi ASTM D2166 deney standartlarına göre yapılmıştır. 7. ve 28. gün kür sonunda kürden çıkarılan numuneler

serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneye başlamadan önce numunelerin çapı ve boyları kumpas yardımıyla hassas bir şekilde ölçülmüştür.



Şekil 3.24. Numunelerin küre bırakılması



Şekil 3.25. Numunelerin kürden çıkarılması

Deney başlangıcında numuneler iki plaka arasına yerleştirilmiştir. Bu iki plakadan üst kısımda bulunan sabittir, alt kısımdaki plaka dikey olarak yukarı hareket etmektedir. Yükleme hızı 1 mm/dk olarak ayarlanıp deney başlatılmıştır. İki plakanın numuneleri sıkıştırmasıyla beraber aksel boy kısalması ve yük değerleri okunup kaydedilmiştir. Aksel deformasyon miktarlarının ( $\Delta H$ ), ilk boya ( $H_0$ ) bölünmesiyle birim deformasyon değerleri ( $\epsilon$ ) elde edilmiştir. Kırılma anındaki yük değerinin ( $P_{max}$ ), en kesit alanına ( $A_f$ ) bölünmesiyle gerilme değerleri belirlenmiştir. Düşey eksende gerilme, yatay eksende deformasyon değerleri olan eksen takımında gerilme-deformasyon grafikleri çizilmiştir. Grafiğin tepe noktasındaki gerilme değeri, serbest basınç mukavemeti olarak belirlenmiştir. Deneyde zemin numunesinin toplam hacmi, deney başlangıcında ve deney sonunda birbirine eşittir. Eğer numuneler çok yumuşak kil ise ve kırılma görülüyorsa deformasyon miktarı % 20 olduğu andaki gerilme değeri serbest basınç mukavemet değeri olarak alınmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.26. (a)-(b) Serbest basınç deneyinin yapılması



(a)



(b)

Şekil 3.27. (a)-(b) Serbest basınç deneyi sonrası kırılan numunelerin görüntüsü

Hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$q_u = \sigma_1 = \frac{P_{\max}}{A_f} \quad (3.5)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (3.6)$$

$$A_f = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad (3.7)$$

$$\sigma_1 = \frac{P_{\max}}{A_f} \quad (3.8)$$

$$q_u = \sigma_1 \quad (3.9)$$

$$c = \frac{qu}{2} \quad (3.10)$$

Serbest basınç deneyi kodları Çizelge 3.8' de verilmiştir.

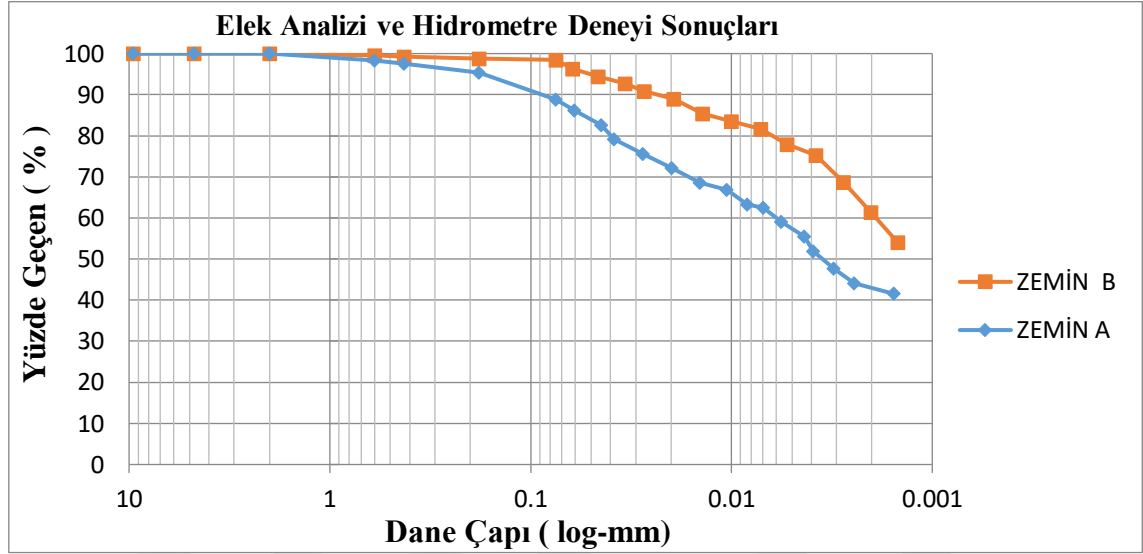
**Çizelge 3.8.** Serbest basınç deneyi kodları

<b>Kil İsmi</b>	<b>Katkı Yüzdesi</b>	<b>Deney Kodları</b>	<b>Kür Süresi (gün)</b>
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil	ASB0	0-3 saat
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 5 Mermer Tozu	ASB5MRM	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 10 Mermer Tozu	ASB10MRM	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 15 Mermer Tozu	ASB15MRM	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 20 Mermer Tozu	ASB20MRM	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 5 Yüksek Fırın Cürufu	ASB5YFC	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 10 Yüksek Fırın Cürufu	ASB10YFC	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 15 Yüksek Fırın Cürufu	ASB15YFC	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 20 Yüksek Fırın Cürufu	ASB20YFC	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 0.1 Polipropilen Fiber	ASB01PPF	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 0.5 Polipropilen Fiber	ASB05PPF	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 1.0 Polipropilen Fiber	ASB10PPF	7 ve 28
<b>Zemin A</b>	Doğal Kil + % 1.5 Polipropilen Fiber	ASB15PPF	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil	BSB0	0-3 saat
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 5 Mermer Tozu	BSB5MRM	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 10 Mermer Tozu	BSB10MRM	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 15 Mermer Tozu	BSB15MRM	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 20 Mermer Tozu	BSB20MRM	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 5 Yüksek Fırın Cürufu	BSB5YFC	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 10 Yüksek Fırın Cürufu	BSB10YFC	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 15 Yüksek Fırın Cürufu	BSB15YFC	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 20 Yüksek Fırın Cürufu	BSB20YFC	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 0.1 Polipropilen Fiber	BSB01PPF	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 0.5 Polipropilen Fiber	BSB05PPF	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 1.0 Polipropilen Fiber	BSB10PPF	7 ve 28
<b>Zemin B</b>	Doğal Kil + % 1.5 Polipropilen Fiber	BSB15PPF	7 ve 28

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Elek Analizi ve Hidrometre Deneyi Sonuçları

Kil zeminlere ait dane çapı dağılımını belirlemek için her iki zemin tipi için de elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ilgili grafik ve değerler Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1. Zemin-A ve Zemin-B için elek analizi ve hidrometre deneyi sonuçları

Çizelge 4.1. Tane çapı dağılımı

Numune	İçerdiği Oran (%)		
	Kum(4.75-0.074mm)	Silt(0.074-0.002mm)	Kil(<0.002mm)
Zemin A	11.25	45.75	43
Zemin B	1.5	38.5	60

### 4.2. Özgül Ağırlık (Piknometre) Deneyi Sonuçları

Deneylerde kullanılacak malzemelerin özgül ağırlıklarını belirlemek üzere, Zemin-A, Zemin-B, mermer tozu ve yüksek fırın cürufu (YFC) için özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Özgül ağırlık deneylerine ait sonuçlar

Numunue İsmi	Piknometre Deney Kodları	Deney Sonuçları (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama (g/cm <sup>3</sup> )
Zemin A	APD1	2.58	2.65
	APD2	2.75	

	APD3	2.64	
<b>Zemin B</b>	BPD1	2.56	2.61
	BPD2	2.61	
	BPD3	2.67	
<b>Mermer Tozu</b>	MPD1	2.81	2.76
	MPD2	2.78	
	MPD3	2.69	
<b>Yüksek Fırın Cürufu</b>	YPD1	2.88	2.87
	YPD2	2.92	
	YPD3	2.81	

#### 4.3. Likit Limit Deneyi Sonuçları

Likit limit deneyleri, Casagrande deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Her bir kil numunesi için 5 adet Casagrande likit limit deneyi yapılmıştır. Yapılan deneylerin kodları ve elde edilen sonuçlar Zemin-A için Çizelge 4.3' de Zemin-B için Çizelge 4.4 de verilmiştir. Ayrıca deneylere ait grafikler Zemin-A için Şekil 4.2' de ve Zemin-B için 4.3' te verilmiştir.

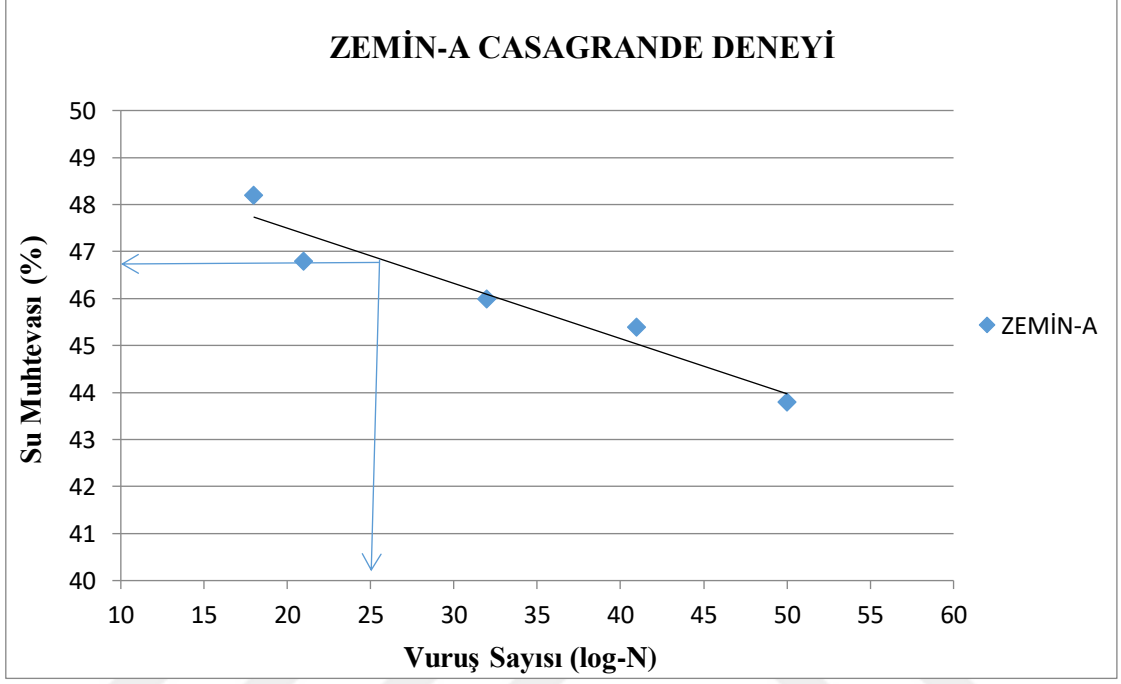
**Çizelge 4.3.** Zemin-A için Casagrande likit limit deneyi sonuçları

<b>Deney Kodları</b>	<b>N (Vuruş Sayısı)</b>	<b>W (%-Su Muhtevası)</b>	<b>W<sub>LL</sub> (%)</b>
<b>ALL1</b>	50	43.8	46.80
<b>ALL2</b>	41	45.4	
<b>ALL3</b>	32	46.0	
<b>ALL4</b>	21	46.8	
<b>ALL5</b>	18	48.2	

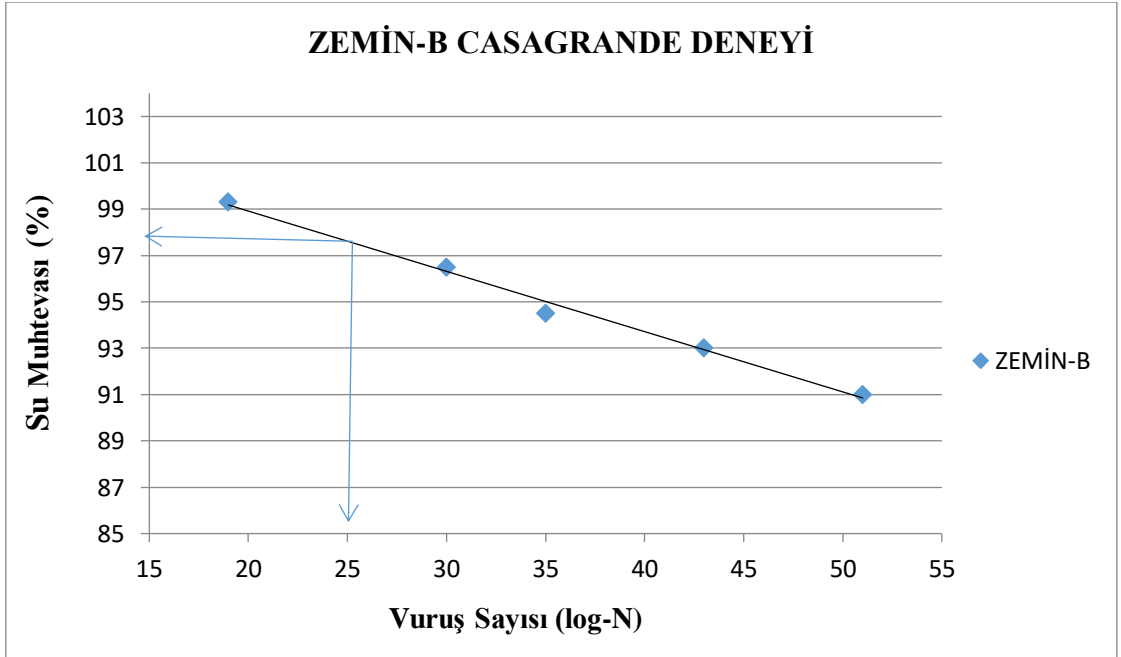
**Çizelge 4.4.** Zemin-B için Casagrande likit limit deneyi sonuçları

<b>Deney Kodları</b>	<b>N (Vuruş Sayısı)</b>	<b>W (%-Su Muhtevası)</b>	<b>W<sub>LL</sub> (%)</b>
<b>BLL1</b>	51	91.0	
<b>BLL2</b>	43	93.0	

<b>BLL3</b>	35	94.5	97.60
<b>BLL4</b>	30	96.5	
<b>BLL5</b>	19	99.3	



Şekil 4.2. Zemin-A için Casagrande likit limit deneyi sonuçları



Şekil 4.3. Zemin-B için Casagrande likit limit deneyi sonuçları

#### 4.4. Plastik Limit Deneyi Sonuçları

Deneylerde kullanılan kil zeminlere ait plastik limit değerlerini belirlemek amacıyla plastik limit deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her kil numunesi için ikişer adet plastik limit deneyleri yapılmıştır. Bulunan sonuçların ortalaması alınarak plastik limit değerleri belirlenmiştir. Deney kodları ve deney sonuçları Zemin-A için Çizelge 4.5'te ve Zemin-B için Çizelge 4.6' te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Zemin-A için plastik likit limit deneyi sonuçları

Deney Kodları	Su Muhtevası (%)	W <sub>PL</sub> (%)
APL1	23.3	23.8
APL2	24.2	

Çizelge 4.6. Zemin-B için plastik limit deneyi sonuçları

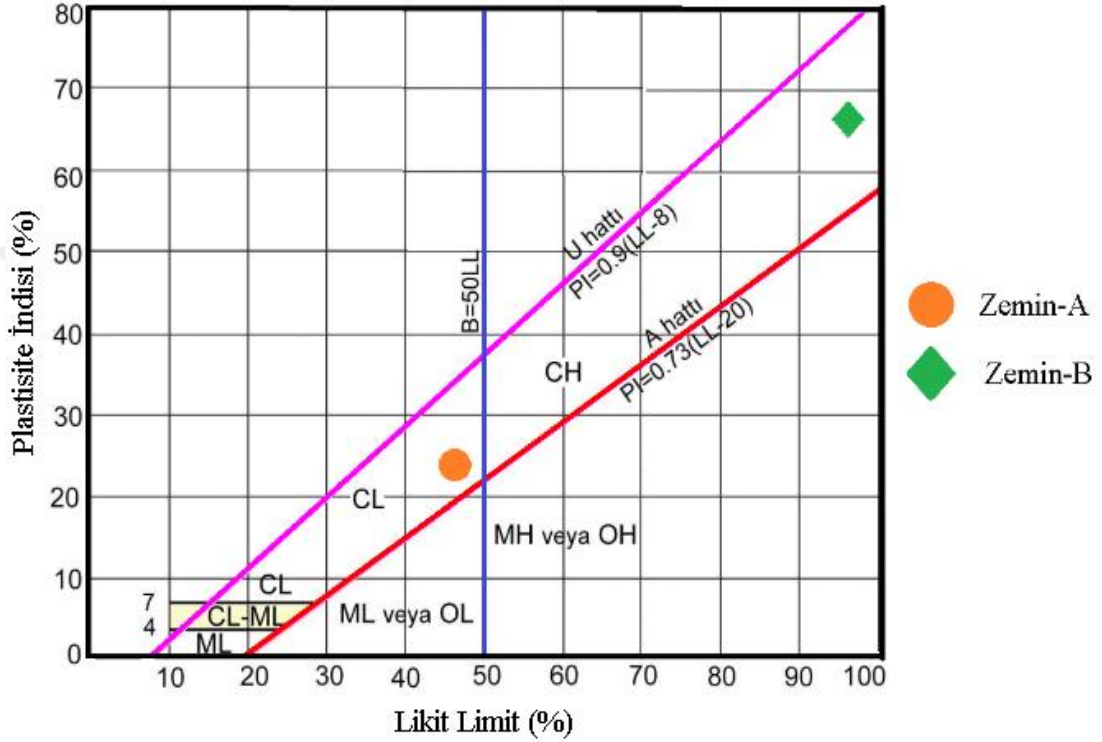
Deney Kodları	Su Muhtevası (%)	W <sub>PL</sub> (%)
BPL1	31.51	31.2
BPL2	31.05	

#### 4.5. Zeminlerin Plastisite Kartındaki Yerlerinin Belirlenmesi

Kil zeminlere ait zemin sınıfını belirlemek için likit limit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneyler sonucunda her bir kil numunesinin plastisite indisi belirlenmiştir. Zeminlere ait plastisite indisi (PI) değerleri Çizelge 4.7'da ve zeminlerin plastisite kartındaki yerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre USCS sınıflandırma sistemi içinde zemin sınıfları Zemin-A için CL, Zemin-B için ise CH olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Zeminlerin plastisite indisi değerlerinin belirlenmesi

Zemin İsmi	Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndisi (PI=LL-PL)	Zemin Sınıfı
Zemin-A	46.80	23.80	23	CL
Zemin-B	97.60	31.20	66.40	CH



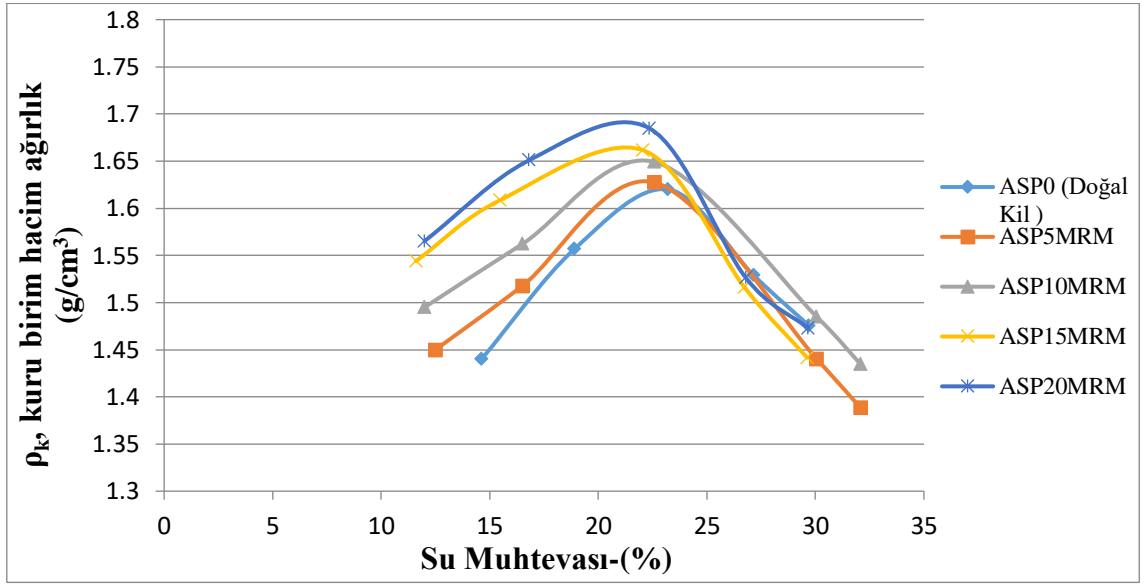
Şekil 4.4. Zeminlerin plastisite kartındaki yerlerinin belirlenmesi

#### 4.6. Standart Proktor Deneyi Sonuçları

Doğal zeminlerin ve zemin-katkı maddesi karışımlarının kompaksiyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla standart proktor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zemin-A ve Zemin-B 'ye zeminin ağırlıkça % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında yüksek firın cürufu; % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında mermer tozu ve % 0, % 0.1, % 0.5, % 1.0, % 1.5 oranlarında polipropilen lif karıştırılmıştır. Zemin-A, Zemin-B ve katkı maddeli karışımların hepsinin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ( $\rho_{kmax}$ ) ve optimum su muhtevaları ( $w_{opt}$ ) belirlenmiştir. Deneylere ait çizelge ve şekiller aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 4.8:** Zemin-A ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon özellikleri

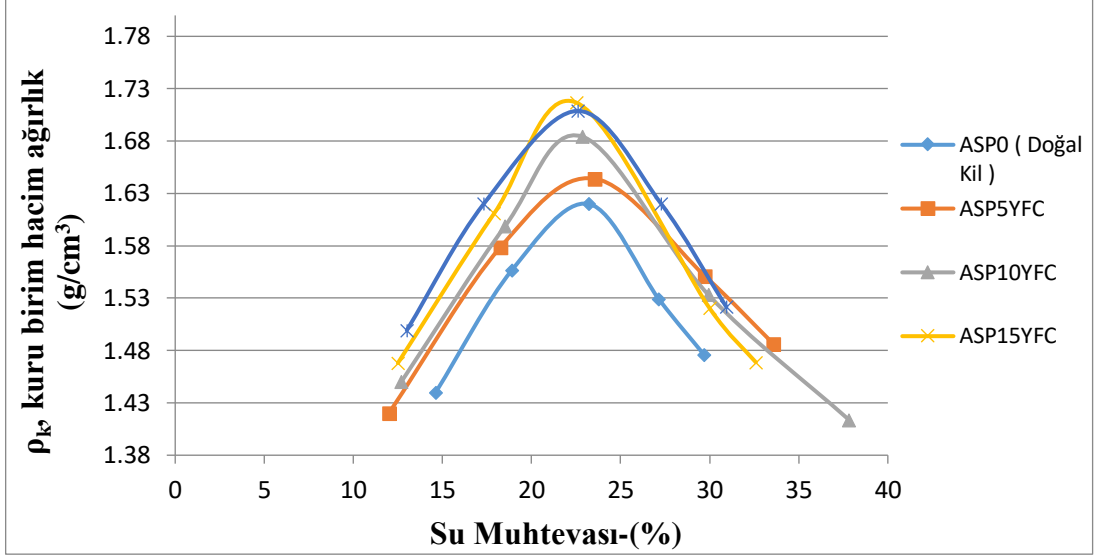
Zemin İsmi	Katkı Malzemesi	Deney Kodları	$\rho_{kmaks}(g/cm^3)$	$w_{opt} (%)$
Zemin-A	Doğal Kil ( % 0 )	ASP0	1.620	23.0
Zemin-A	% 5 Mermer	ASP5MRM	1.640	22.5
Zemin-A	% 10 Mermer	ASP10MRM	1.650	21.5
Zemin-A	% 15 Mermer	ASP15MRM	1.665	21.2
Zemin-A	% 20 Mermer	ASP20MRM	1.693	21.0



**Şekil 4.5.** Zemin-A ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon eğrileri

**Çizelge 4.9.** Zemin-A ve YFC karışımlarının kompaksiyon özellikleri

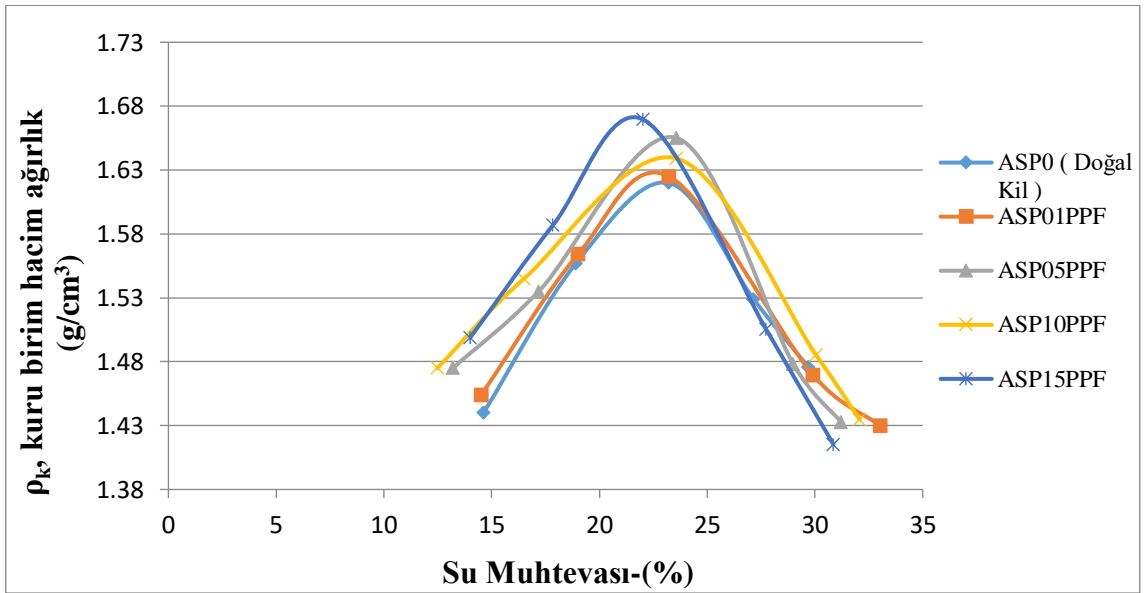
Zemin İsmi	Katkı Malzemesi	Deney Kodları	$\rho_{kmaks}(g/cm^3)$	$w_{opt} (%)$
Zemin-A	Doğal Kil ( % 0 )	ASP0	1.620	23.0
Zemin-A	% 5 YFC	ASP5YFC	1.645	22.9
Zemin-A	% 10 YFC	ASP10YFC	1.685	22.0
Zemin-A	% 15 YFC	ASP15YFC	1.723	21.9
Zemin-A	% 20 YFC	ASP20YFC	1.708	21.5



Şekil 4.6: Zemin-A ve YFC karışımlarının kompaksiyon eğrileri

Çizelge 4.10. Zemin-A ve polipropilen lif karışımlarının kompaksiyon özellikleri

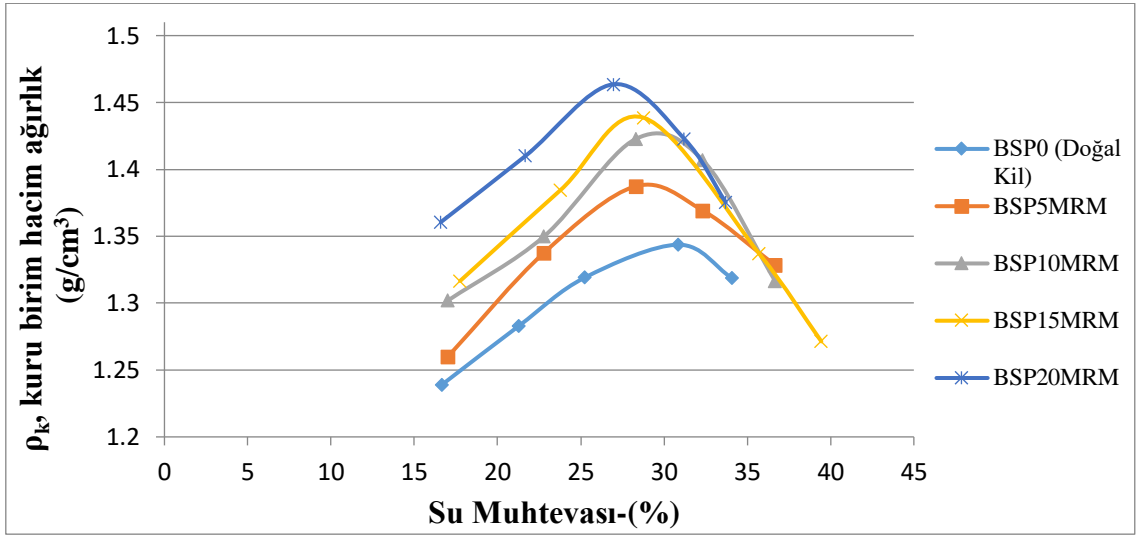
Zemin İsmi	Katkı Malzemesi	Deney Kodları	ρ <sub>kmaks</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	w <sub>opt</sub> (%)
Zemin-A	Doğal Kil ( % 0 )	ASP0	1.620	23.0
Zemin-A	% 0.1 Polipropilen Lif	ASP01PPF	1.630	22.5
Zemin-A	% 0.5 Polipropilen Lif	ASP05PPF	1.655	23.0
Zemin-A	% 1.0 Polipropilen Lif	ASP10PPF	1.645	22.7
Zemin-A	% 1.5 Polipropilen Lif	ASP15PPF	1.675	21.5



Şekil 4.7. Zemin-A ve polipropilen fiber karışımlarının kompaksiyon eğrileri

Çizelge 4.11. Zemin-B ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon özellikleri

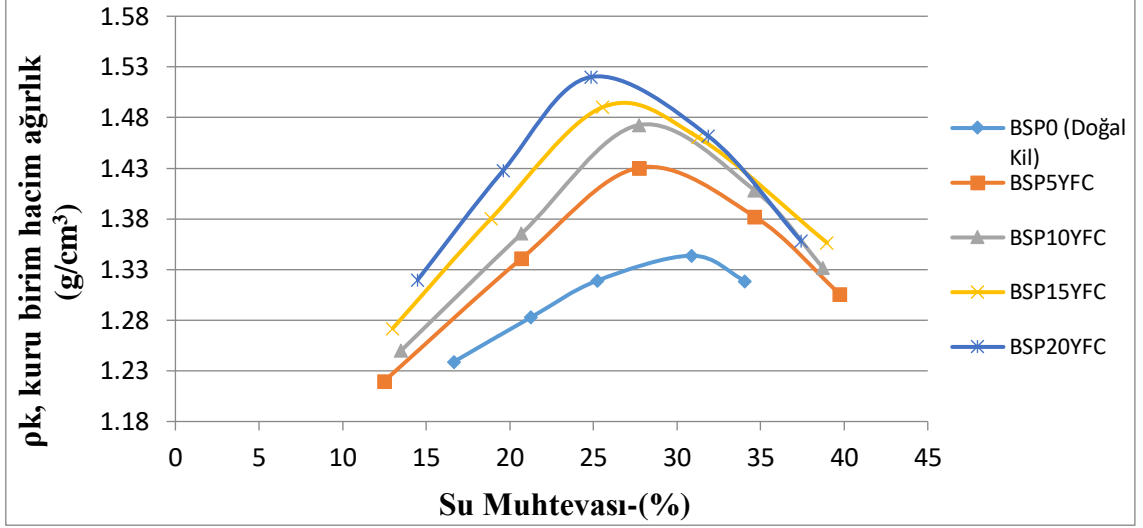
Zemin İsmi	Katkı Malzemesi	Deney Kodları	$\rho_{kmaks}(g/cm^3)$	$w_{opt} (%)$
Zemin-B	Doğal Kil ( % 0 )	BSP0	1.348	31.0
Zemin-B	% 5 Mermer	BSP5MRM	1.391	29.5
Zemin-B	% 10 Mermer	BSP10MRM	1.425	28.9
Zemin-B	% 15 Mermer	BSP15MRM	1.440	27.9
Zemin-B	% 20 Mermer	BSP20MRM	1.465	26.3



Şekil 4.8: Zemin-B ve mermer tozu karışımlarının kompaksiyon eğrileri

Çizelge 4.12. Zemin-B ve YFC karışımlarının kompaksiyon özellikleri

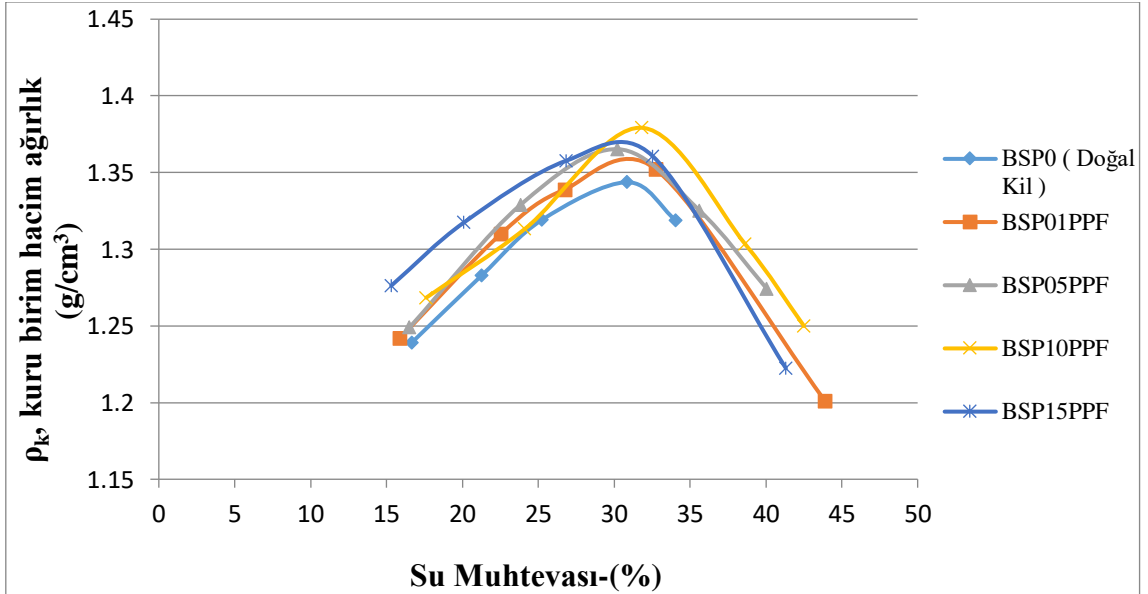
Zemin İsmi	Katkı Malzemesi	Deney Kodları	$\rho_{kmaks}(g/cm^3)$	$w_{opt} (%)$
Zemin-B	Doğal Kil ( % 0 )	BSP0	1.348	31.0
Zemin-B	% 5 YFC	BSP5YFC	1.435	28.5
Zemin-B	% 10 YFC	BSP10YFC	1.480	28.2
Zemin-B	% 15 YFC	BSP15YFC	1.495	26.5
Zemin-B	% 20 YFC	BSP20YFC	1.525	25.4



Şekil 4.9. Zemin-B ve YFC karışımlarının kompaksiyon eğrileri

Çizelge 4.13. Zemin-B ve polipropilen lif karışımlarının kompaksiyon özellikleri

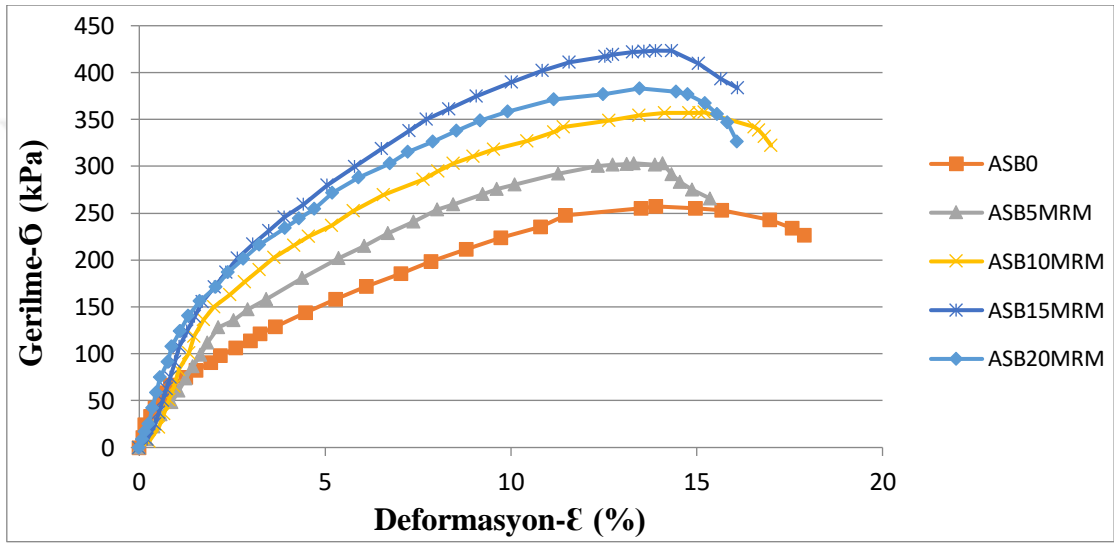
Zemin İsmi	Katkı Malzemesi	Deney Kodları	$\rho_{kmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$w_{opt}$ (%)
Zemin-B	Doğal Kil ( % 0 )	BSP0	1.348	31.0
Zemin-B	% 0.1	BSP01PPF	1.360	30.9
Zemin-B	% 0.5	BSP05PPF	1.365	30.0
Zemin-B	% 1.0	BSP10PPF	1.380	31.0
Zemin-B	% 1.5	BSP15PPF	1.370	30.4



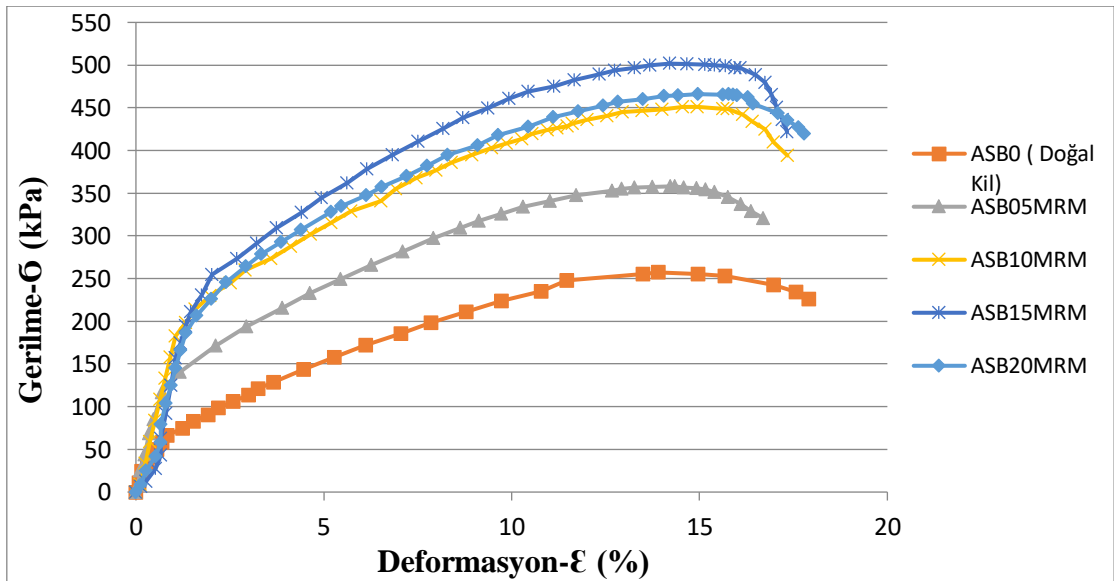
Şekil 4.10. Zemin-B ve polipropilen fiber karışımlarının kompaksiyon eğrileri

#### 4.7. Serbest Basınç Deneyi Sonuçları

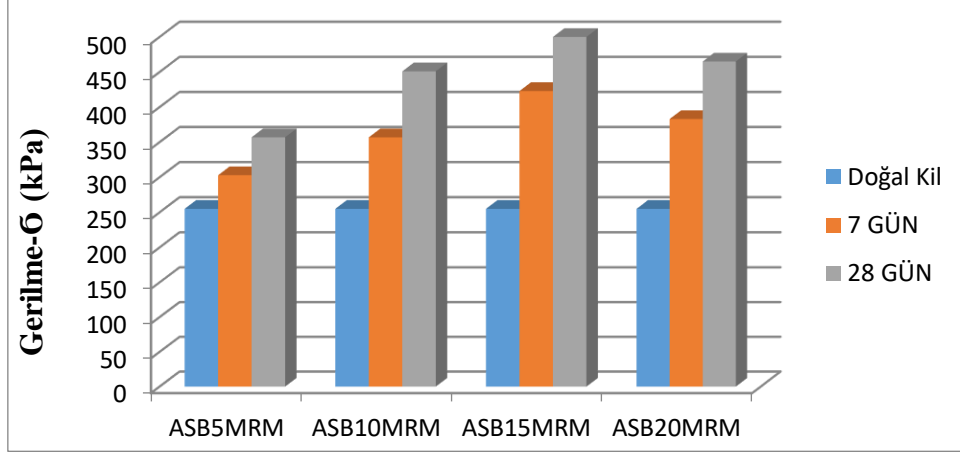
Serbest basınç deneyi kohezyonlu zeminlerde gerçekleştirilebilen bir deneştir. Deneyde sıkıştırılmış numune iki plaka arasında yerleştirilir ve alt plakanın dikey hareketi sonucu numuneye uygulanan yük-deformasyon değerleri kaydedilir. Deney, numune kırılıncaya kadar devam ettirilir. Yumuşak killerde kırılma gözlemlenmiyorsa serbest basınç mukavemet değeri % 20 deformasyon anındaki gerilme değeri olarak belirlenir. Serbest basınç deneylerine ait sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



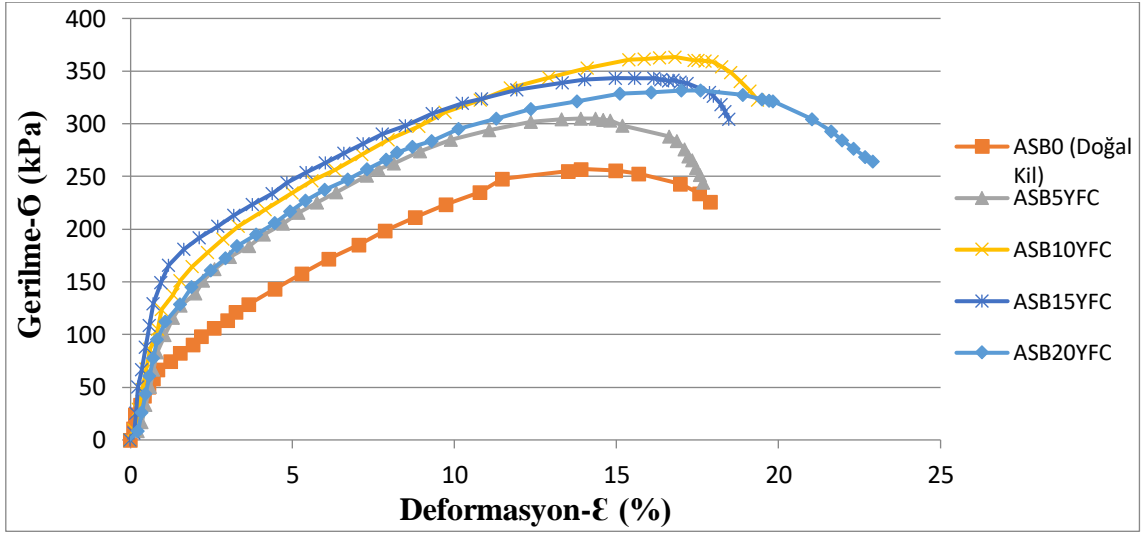
Şekil 4.11. Zemin-A ve mermer tozu katkılı numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



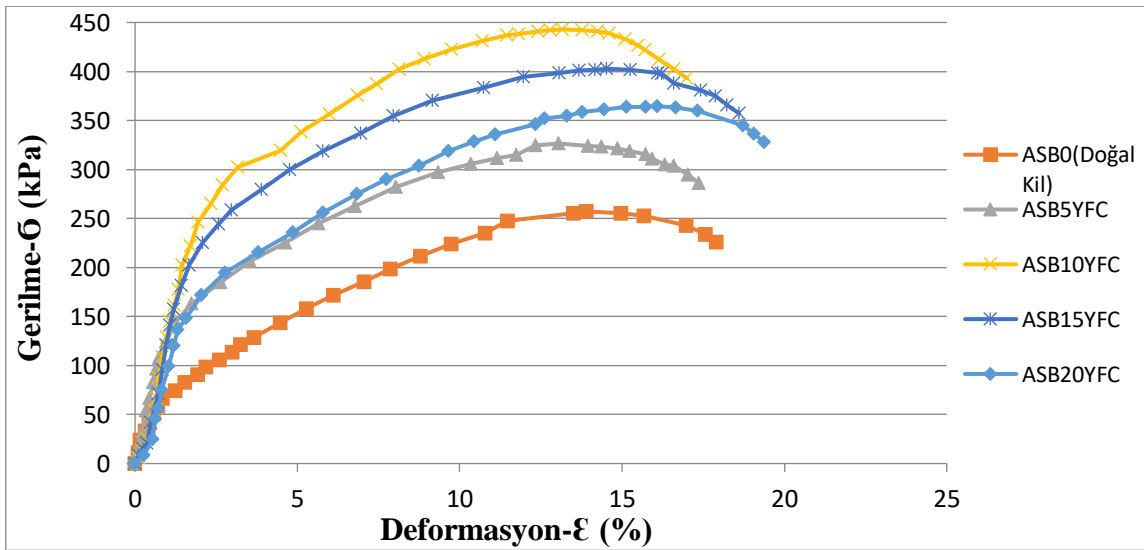
Şekil 4.12. Zemin-A ve mermer tozu katkılı numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



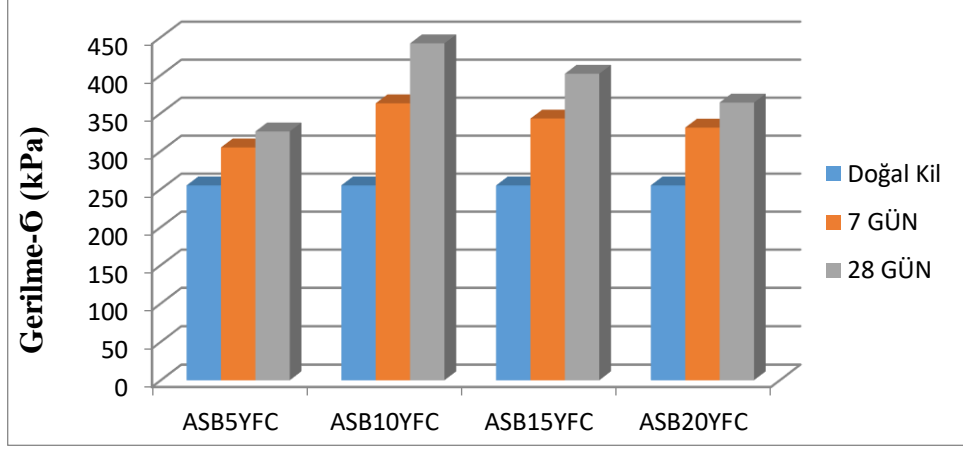
Şekil 4.13. Zemin-A ve mermer tozu katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları



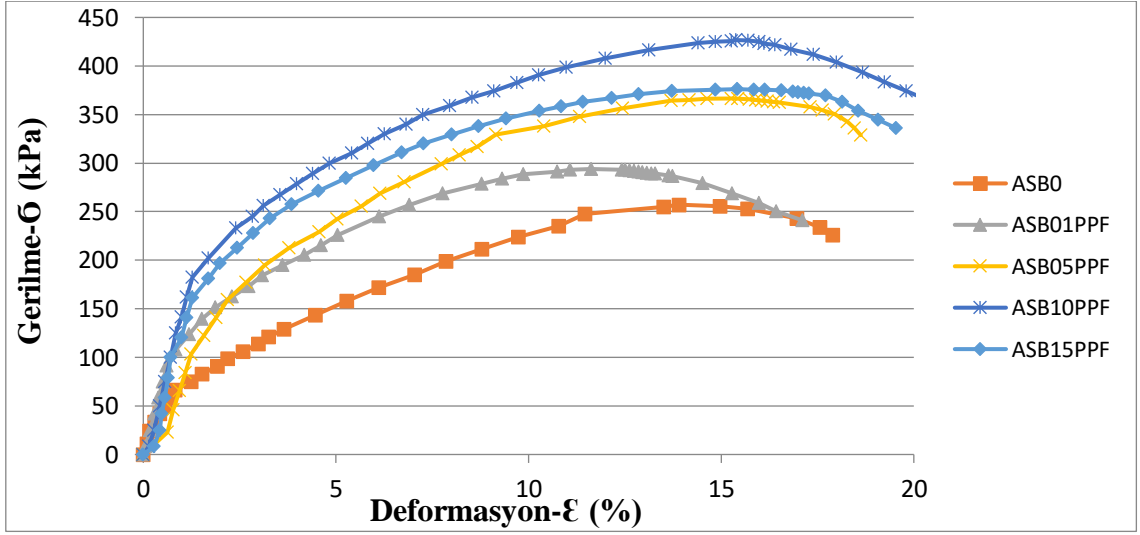
Şekil 4.14. Zemin-A ve YFC katkılı numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



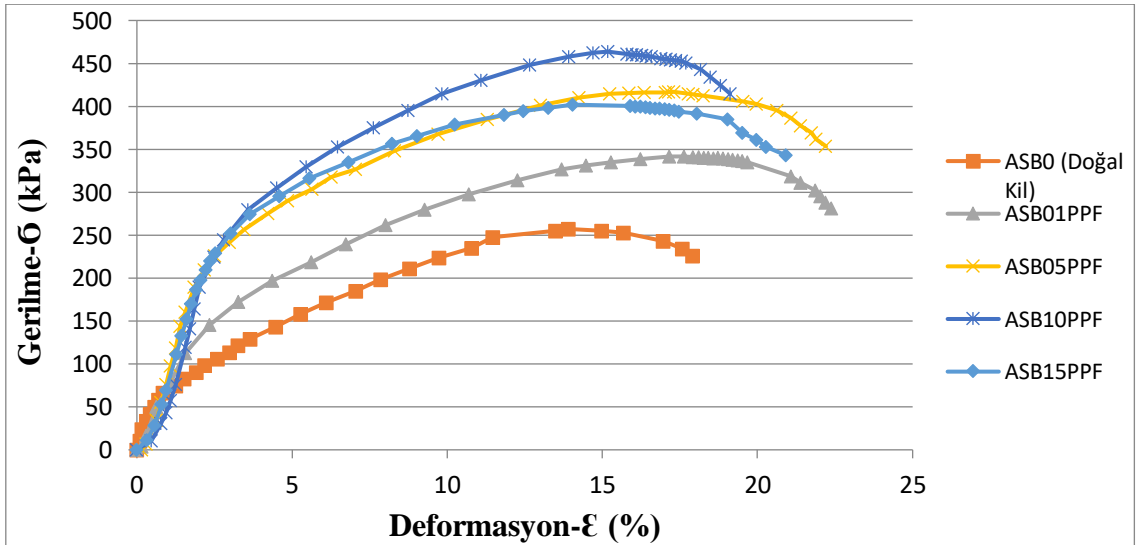
Şekil 4.15. Zemin-A ve YFC katkılı numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



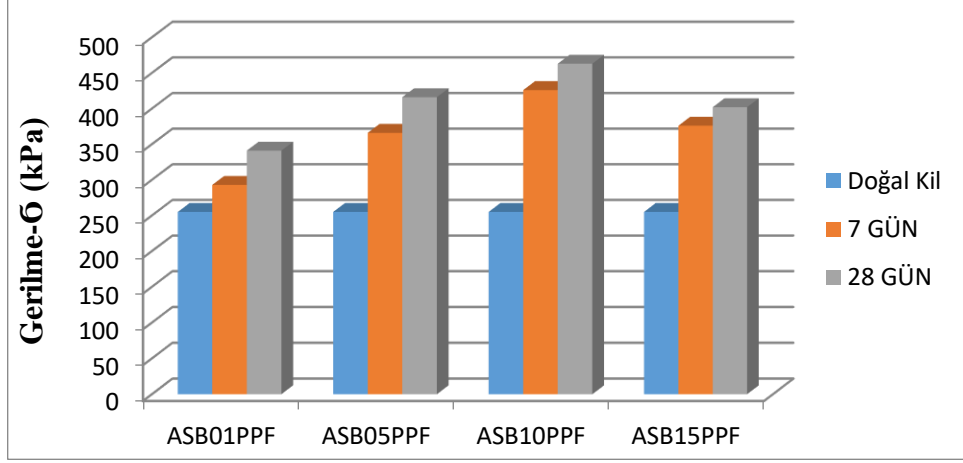
Şekil 4.16. Zemin-A ve YFC katkıli numunelerin serbest basınç dayanımları



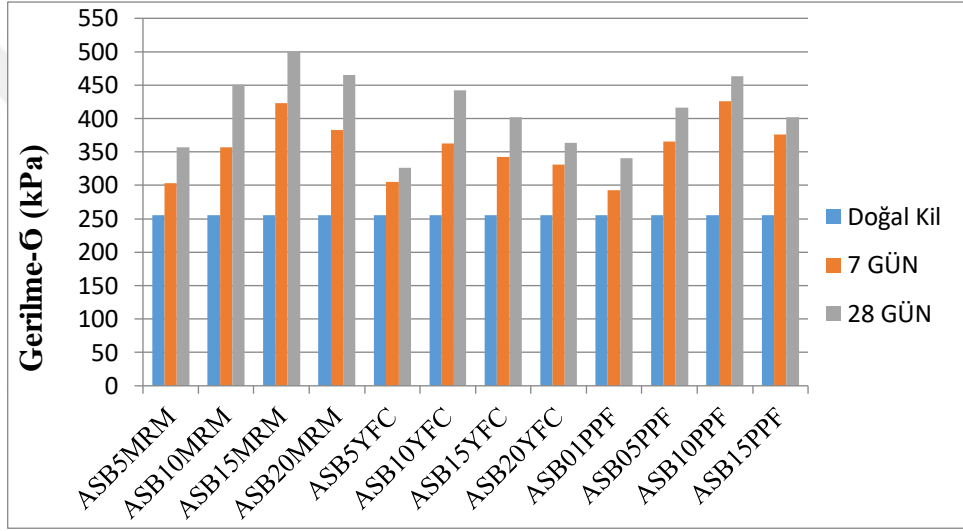
Şekil 4.17. Zemin-A ve PPF katkıli numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



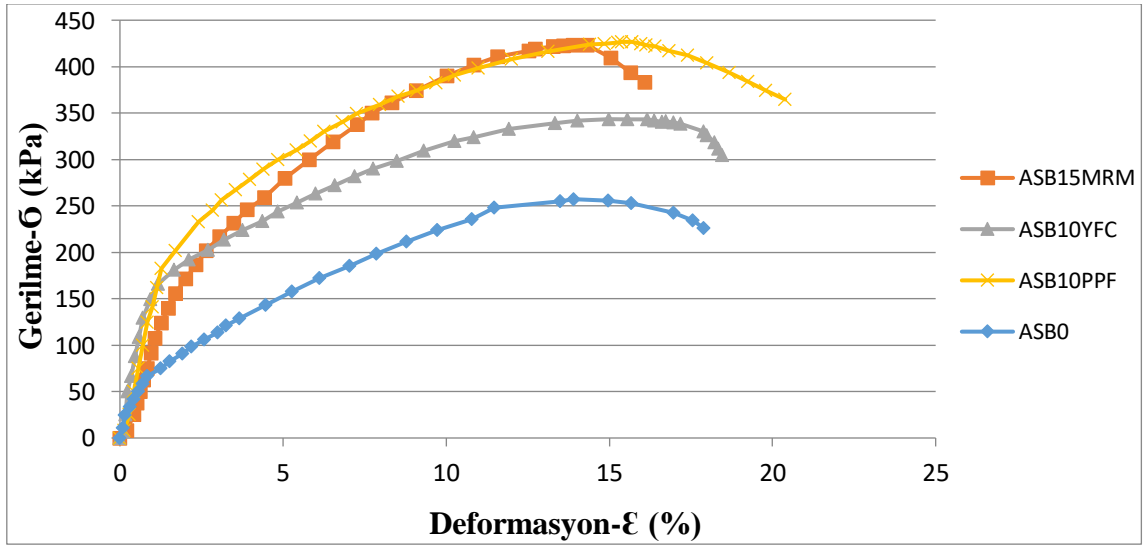
Şekil 4.18. Zemin-A ve PPF katkıli numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



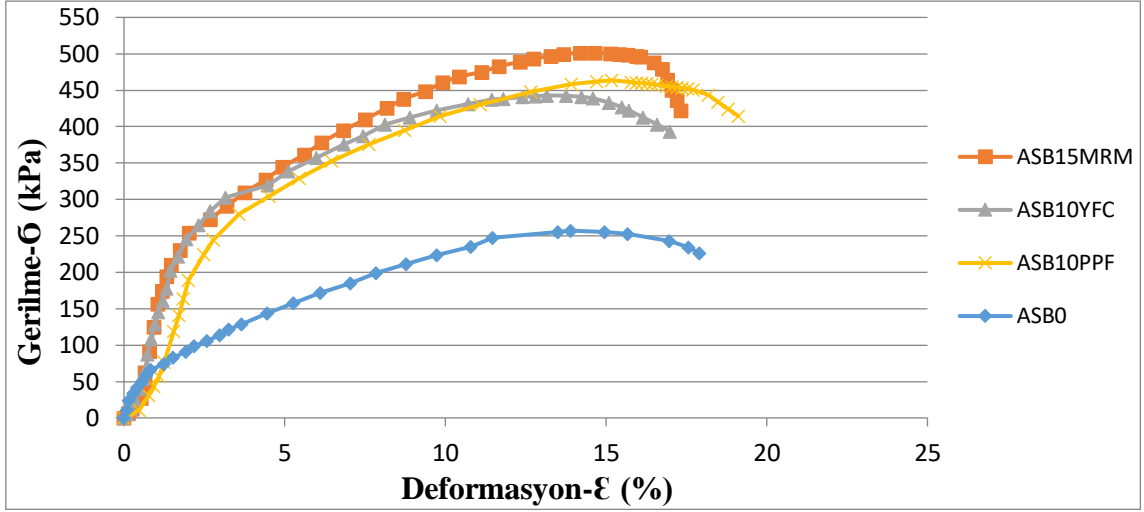
Şekil 4.19. Zemin-A ve PPF katkıli numunelerin serbest basınç dayanımları



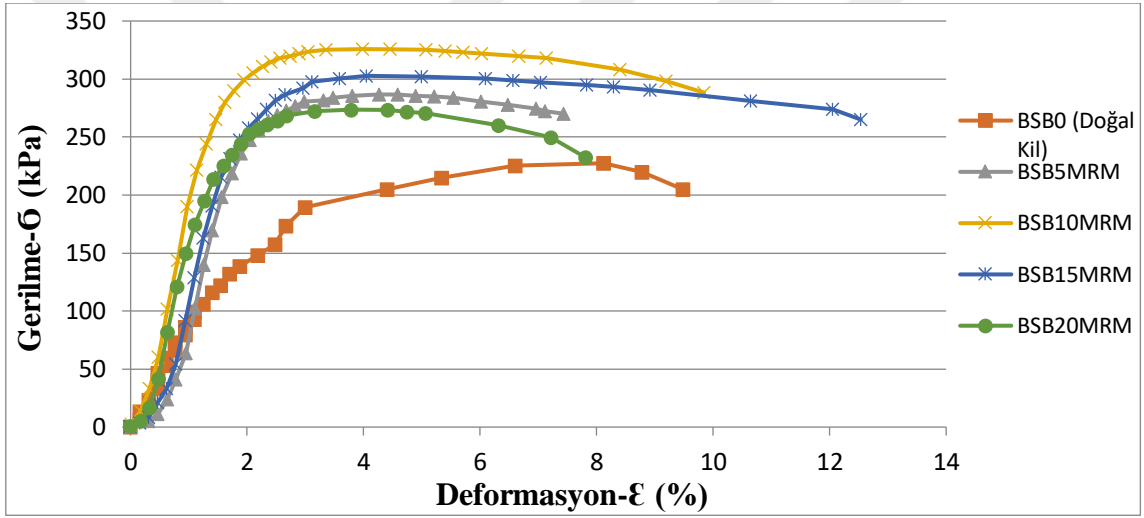
Şekil 4.20. Zemin-A ve katkıli numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması



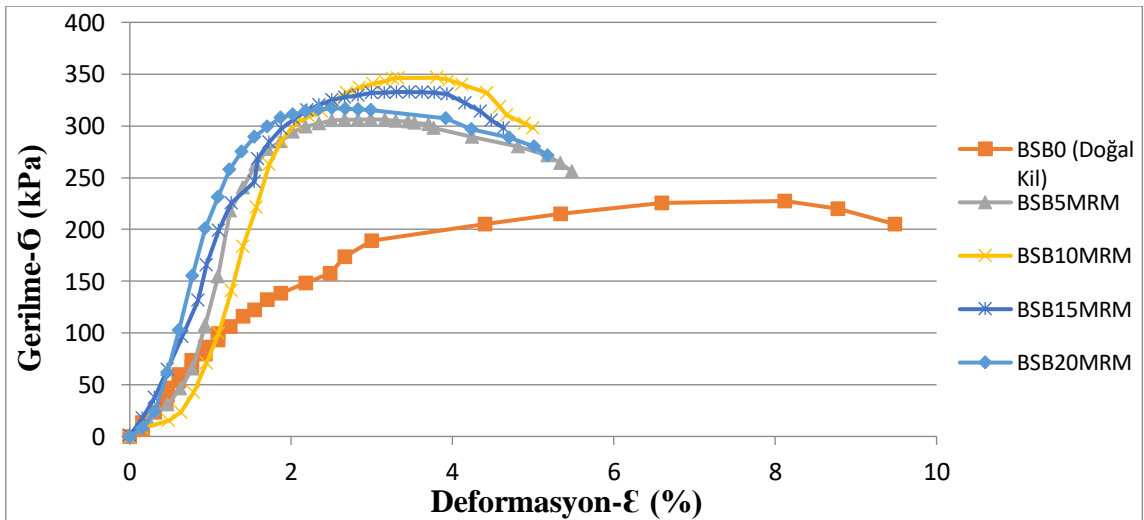
Şekil 4.21. 7 gün kür sonrası Zemin A için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması



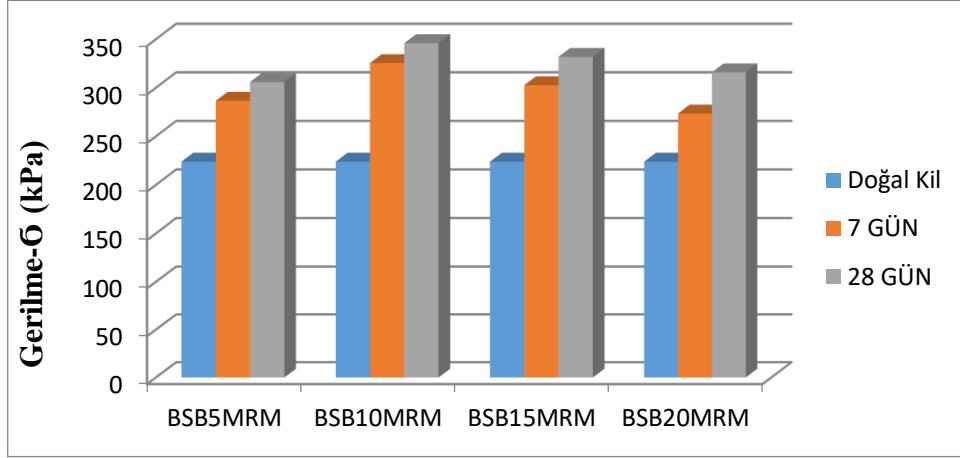
Şekil 4.22. 28 gün kür sonrası Zemin A için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması



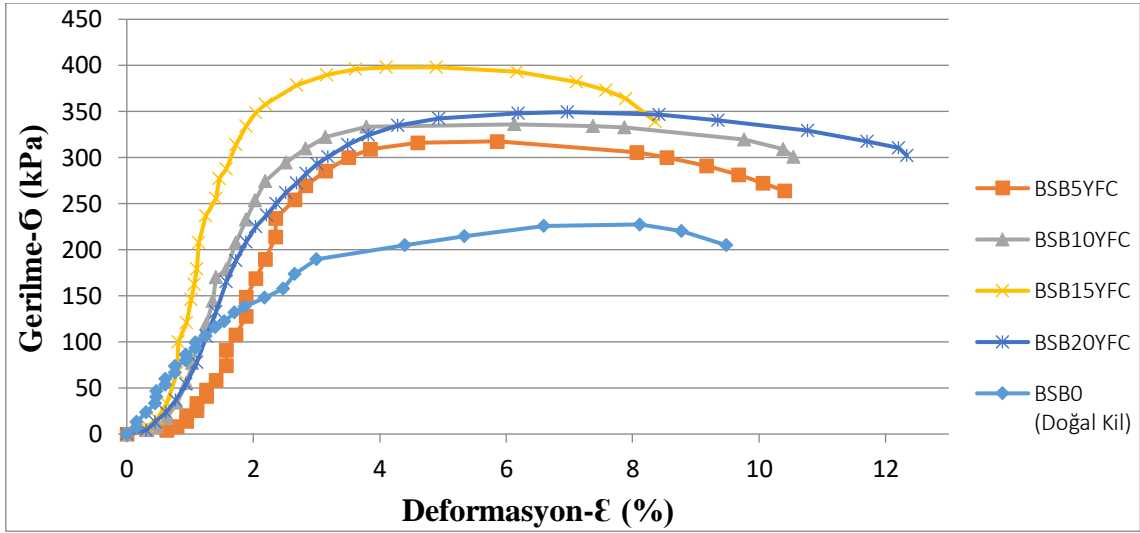
Şekil 4.23. Zemin-B ve mermer tozu katkıli numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



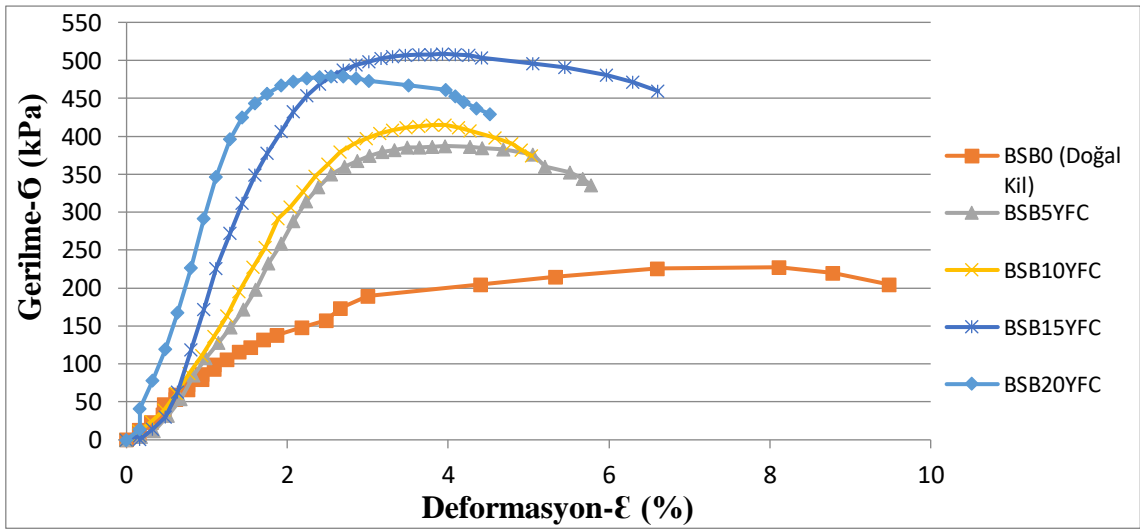
Şekil 4.24. Zemin-B ve mermer tozu katkıli numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



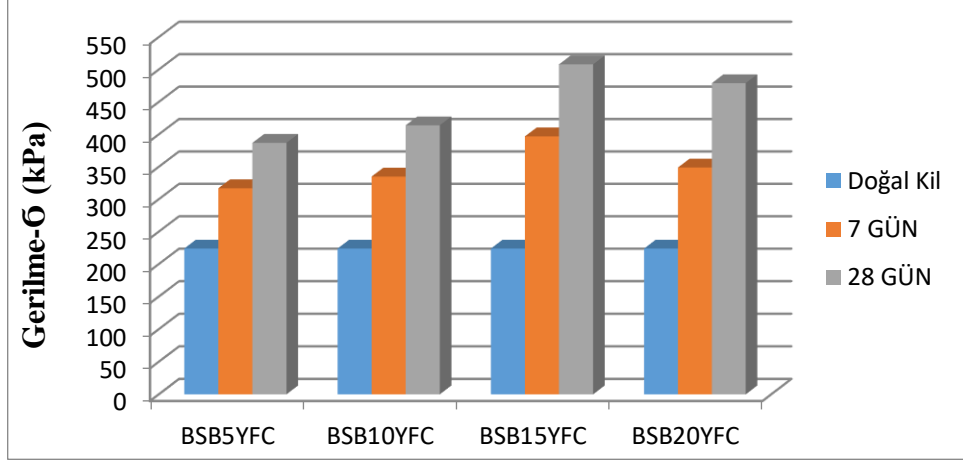
Şekil 4.25. Zemin-B ve mermer tozu katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları



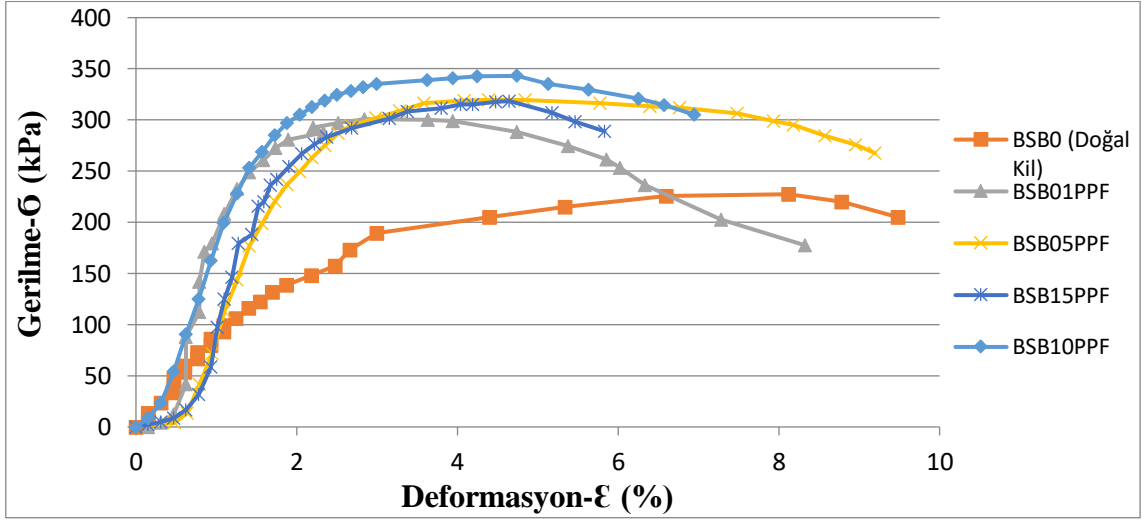
Şekil 4.26. Zemin-B ve YFC katkılı numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



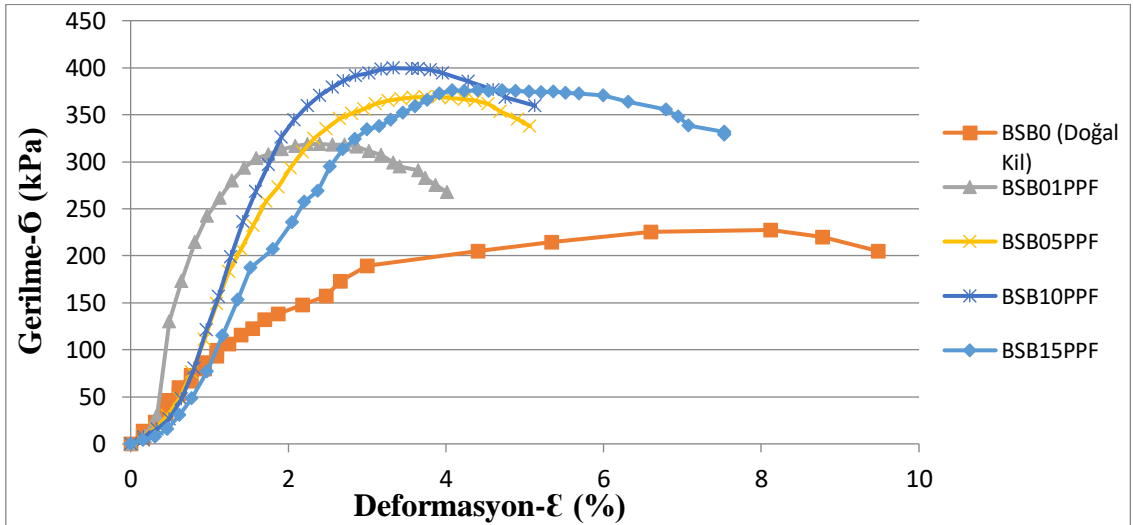
Şekil 4.27. Zemin-B ve YFC katkılı numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



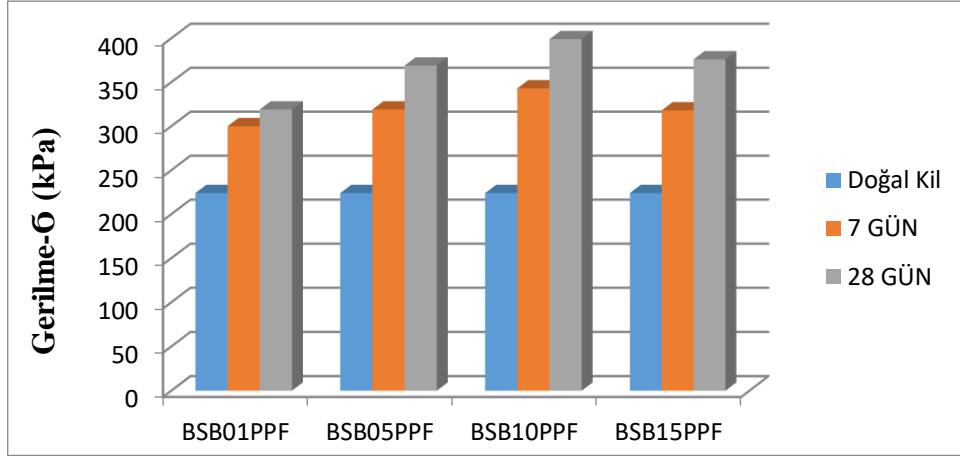
Şekil 4.28. Zemin-B ve YFC katkıli numunelerin serbest basınç dayanımları



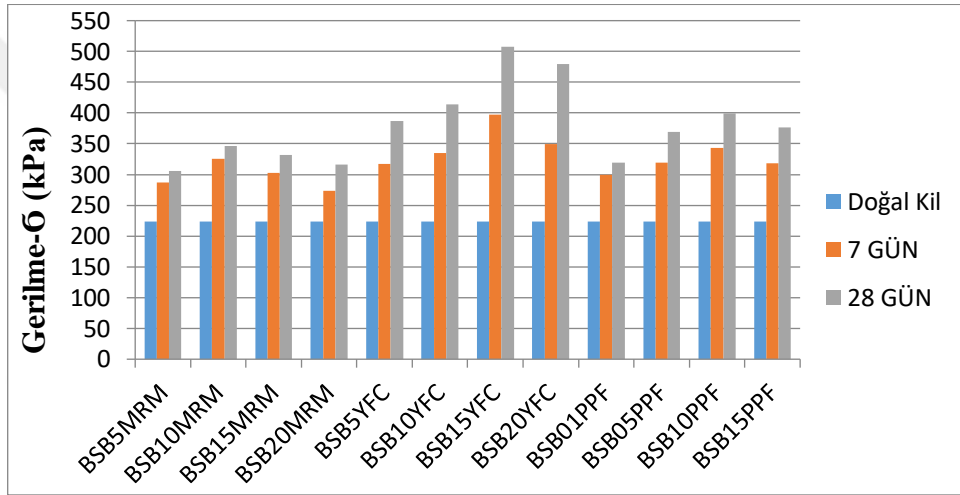
Şekil 4.29. Zemin-B ve PPF katkıli numunelerin 7. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



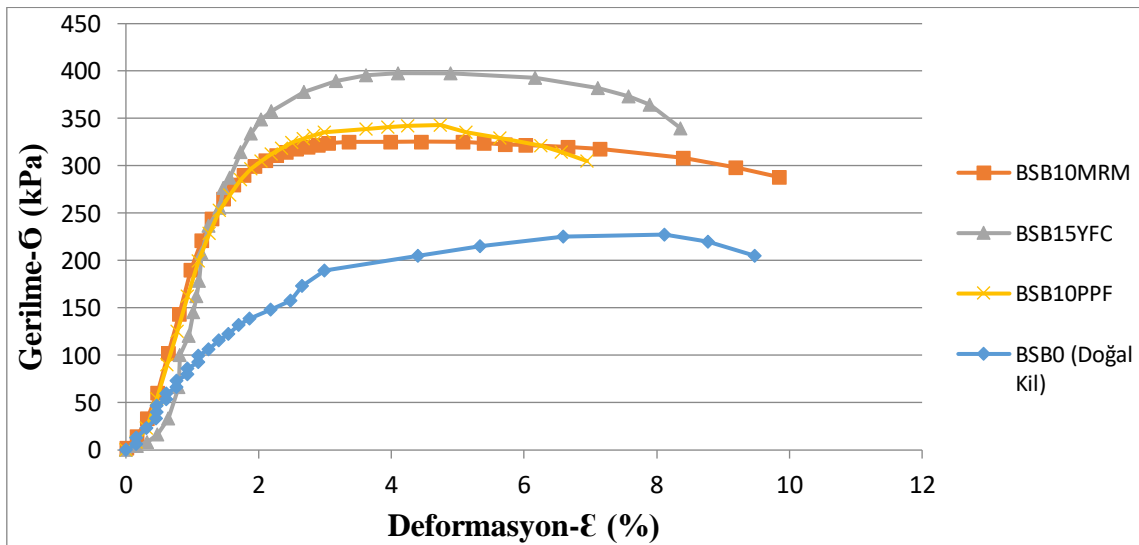
Şekil 4.30. Zemin-B ve PPF katkıli numunelerin 28. gün kür serbest basınç deneyi grafikleri



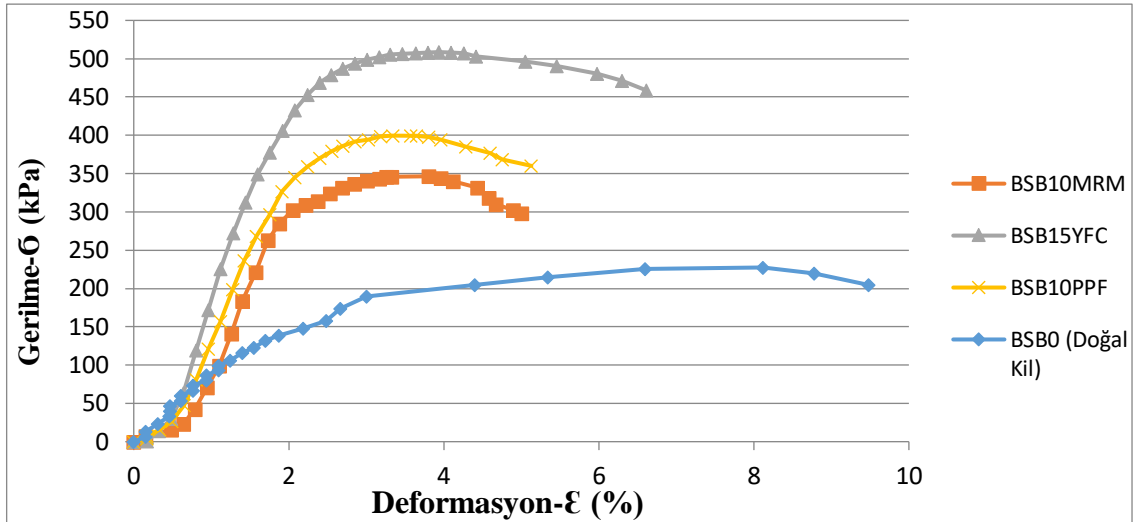
Şekil 4.31. Zemin-B ve YFC katkıli numunelerin serbest basınç dayanımları



Şekil 4.32. Zemin-B ve katkıli numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.33. 7 gün kür sonrası Zemin B için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.34. 28 gün kür sonrası Zemin B için en yüksek dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.14. Zemin-A ve katkıli numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Karışım Oranları	Deney Kodları	0-3 Saat (kPa)	7 Günlük Dayanım (kPa)	28 Günlük Dayanım (kPa)
Doğal Kil (Zemin-A)	ASB0	255	-	-
% 5 Mermer tozu	ASB5MRM	-	303	357
% 10 Mermer tozu	ASB10MRM	-	357	451
% 15 Mermer tozu	ASB15MRM	-	423	500
% 20 Mermer tozu	ASB20MRM	-	383	465
% 5 Yüksek Fırın Cürufu	ASB5YFC	-	305	326
% 10 Yüksek Fırın Cürufu	ASB10YFC	-	363	442
% 15 Yüksek Fırın Cürufu	ASB15YFC	-	343	402
% 20 Yüksek Fırın Cürufu	ASB20YFC	-	331	364
% 0.1 Polipropilen Fiber	ASB01PPF	-	293	341
% 0.5 Polipropilen Fiber	ASB05PPF	-	366	416
% 1.0 Polipropilen Fiber	ASB10PPF	-	426	463
% 1.5 Polipropilen Fiber	ASB15PPF	-	376	402

**Çizelge 4.15.** Zemin-B ve katkıli numunelerin dayanım değerlerinin karşılaştırılması

<b>Karışım Oranları</b>	<b>Deney Kodları</b>	<b>0-3 Saat (kPa)</b>	<b>7 Günlük Dayanım (kPa)</b>	<b>28 Günlük Dayanım (kPa)</b>
Doğal Kil (Zemin-B)	BSB0	224	-	-
% 5 Mermer tozu	BSB5MRM	-	286	306
% 10 Mermer tozu	BSB10MRM	-	325	346
% 15 Mermer tozu	BSB15MRM	-	302	332
% 20 Mermer tozu	BSB20MRM	-	273	316
% 5 Yüksek Fırın Cürufu	BSB5YFC	-	317	387
% 10 Yüksek Fırın Cürufu	BSB10YFC	-	335	414
% 15 Yüksek Fırın Cürufu	BSB15YFC	-	397	508
% 20 Yüksek Fırın Cürufu	BSB20YFC	-	349	479
% 0.1 Polipropilen Fiber	BSB01PPF	-	300	319
% 0.5 Polipropilen Fiber	BSB05PPF	-	319	369
% 1.0 Polipropilen Fiber	BSB10PPF	-	343	399
% 1.5 Polipropilen Fiber	BSB15PPF	-	318	376

Literatürdeki mermer tozu kullanılarak yapılan diğer çalışmalara bakıldığında bazı araştırma sonuçlarının birbirinden farklılık gösterdiği görülmüştür. Gücek (2011), yaptığı çalışmada kil zemininde uçucu kül ve mermer tozu kullanılarak zemin iyileştirmesindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışma sonucuna göre % 20 uçucu kül + % 10 mermer tozu katkısının en uygun karışım oranı olduğunu belirtmiştir. Kaçmaz (2019), çalışmasında kil zeminin % 15 mermer tozu - % 30 uçucu kül karışımında en yüksek serbest basınç dayanımına ulaşıldığını belirtmiştir. Demir (2019), yaptığı çalışmada kil zemine % 10 oranına kadar mermer tozu katılmasının dayanımı artırdığı bu orandan sonraki oranlarda dayanımın düştüğünü belirtmiştir. Görgün ve Ural (2015) yaptıkları çalışmada mermer atığının geoteknik mühendisliğinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda kil zemine % 20 mermer tozu atığı karıştırılmasıyla en yüksek serbest basınç dayanımına ulaşıldığı görülmüştür. Yarbaşı (2018) çalışmasında kil zemine % 5 mermer tozu katılmasıyla en yüksek dayanıma ulaşıldığını ve artan oranlarda ise dayanımın düştüğünü

gözlemlemiştir. Bu tez çalışması sonuçları ve literatürdeki çalışmalar arasında optimum katkı oranında benzerlikler ve farklılıklar olduğu görülmektedir. Zemin-A için % 15 mermer tozu katkısıyla 28 gün kür sonunda en yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Ancak Zemin-B için % 10 oranında mermer tozu katkısı sonucunda en yüksek dayanım değerine ulaşılmıştır.

Yüksek fırın cürunun zemin stabilizasyonunda kullanılması ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Şentürk (2019), yaptığı çalışmada bentonit kiline yüksek fırın cürufu katılmasıyla zeminin geoteknik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Doğal kile %5 oranında yüksek fırın cürufu katkısıyla, dayanımın doğal kilin yaklaşık 6 katına çıktığını belirtmiştir. Okucu ve Gündüz (2019), yaptıkları çalışmada en yüksek dayanımın % 100 Kil - %15 YFC karışımında olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma sonucunda Zemin-B için yüksek fırın cürufu katkısıyla en etkili sonuçların % 15 oranındaki katkı miktarında elde edildiği görülmektedir. Bu sonucun literatür ile benzer olduğu görülmektedir. Zemin-A için ise % 10 yüksek fırın cürufu katkısında en yüksek dayanıma ulaşıldığı belirlenmiştir. Bu sonuçla beraber Zemin-A için literatürden farklı sonuç ortaya çıktığı söylenebilir.

Literatürde lif katkısının kil dayanımına etkisini incelemek amacıyla çeşitli çalışmalar mevcuttur. Çetinkaya (2012), yaptığı çalışmada kil zemine uçucu kül ve farklı oranlarda fiber katarak dayanımdaki artışları gözlemlemiştir. En yüksek dayanıma % 1.0 oranındaki fiber katkısıyla ulaşıldığını belirtmiştir. Çetin (2011), gerçekleştirdiği bu çalışmada çeşitli liflerin kullanılmasıyla kil zeminin iyileştirilmesindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan serbest basınç deneyi sonuçlarına göre zemin – kopolimer fiber karışımı numunelerde en etkili oranın % 1.0 olduğunu gözlemlemiştir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan deney sonuçları da incelendiğinde Zemin-A ve Zemin-B için polipropilen fiber katkısının % 1.0 oranında en etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçların literatürdeki çalışmalar ile benzerlik gösterdiği görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Kıvam limit deneylerinin sonucu olarak, Zemin-A likit limit değeri % 46.80, plastik limit su muhtevası ise % 23.80 ve zemin sınıfı CL (düşük plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir. Zemin-B için ise likit limit değeri % 97.60, plastik limit değeri % 31.20 olarak ve zemin sınıfı da CH (yüksek plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir.
- Özgül ağırlık deneyleri sonucunda; Zemin-A, Zemin-B, mermer tozu ve yüksek fırın cürufu için özgül ağırlıklar sırasıyla; 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 2.61 g/cm<sup>3</sup>, 2.76 g/cm<sup>3</sup> ve 2.87 g/cm<sup>3</sup> değerleri belirlenmiştir.
- Zemin-A ve mermer tozu karışımli numunelerin standart proktor deneylerinde, mermer tozu oranı arttıkça optimum su muhtevasının azaldığı ve kuru birim hacim ağırlıkların arttığı görülmüştür. Doğal kil - % 20 mermer tozu karışımında kuru birim hacim ağırlık 1.693 g/cm<sup>3</sup> değerini alarak en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Zemin-B ve mermer tozu karışımli numuneler için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlık değeri doğal kil - % 20 mermer tozu karışımında 1.465 g/cm<sup>3</sup> değerini alarak maksimum değere ulaşmıştır.
- Yüksek fırın cürufu katkıli numunelerin kompaksiyon grafikleri incelendiğinde, katkı oranının artmasıyla kuru birim hacim ağırlıklarda da artışlar görülmüştür. Zemin-A için % 15 YFC katkısı ile kuru birim hacim ağırlık değeri 1.723 g/cm<sup>3</sup> 'e çıkarak maksimum değere ulaşmıştır. Zemin-B için ise en yüksek kuru birim hacim ağırlık 1.525 g/cm<sup>3</sup> değerini alarak % 20 YFC katkıli numunede gerçekleşmiştir. Ayrıca yüksek fırın cürufu oranının artışı ile optimum su muhtevalarında da düşüşler meydana gelmiştir.
- Polipropilen fiber katkısı her iki zemin için bir miktar kuru birim hacim ağırlıklarda artışlar meydana getirmiştir. Zemin-A ile % 1.5 polipropilen fiber karışımında kuru birim hacim ağırlık 1.675 g/cm<sup>3</sup> değerini alarak en yüksek değere ulaşmıştır. Zemin-B ve polipropilen fiber karışımında ise en yüksek kuru

birim hacim ağırlık değeri % 1.0 oranındaki katkıda 1.380 g/cm<sup>3</sup> değerini almıştır.

- Zemin-A (CL) ve mermer tozu katkılı numunelerde en yüksek dayanım, doğal kil - % 15 mermer tozu tozu (ASB15MRM) karışımında görülmüştür. 7 gün kür sonrası yaklaşık % 65 artış ve 28 gün kür sonrası % 96 oranında artış görülmüştür. Zemin-B (CH) ve mermer tozu katkılı numunelerde ise farklı oranda artış miktarı görülmüştür. Zemin-B için en yüksek dayanımlar doğal kil - % 10 mermer tozu (BSB10MRM) karışımında görülmüştür. 7 gün kür sonunda yaklaşık % 45 ve 28 gün kür sonucunda % 54 oranında artış gözlemlenmiştir.
- Zemin-A ve YFC katkılı numunelerin dayanımında optimum oranın doğal kil - % 10 YFC katkılı numunelerde (ASB10YFC) olduğu gözlemlenmiştir. 7 gün kür sonunda doğal kile göre dayanımın yaklaşık olarak % 42 oranında artış gösterdiği görülmüş ve 28 gün kür sonunda ise % 73 'lük bir artış oranıyla en yüksek dayanıma ulaştığı gözlemlenmiştir. Zemin-B ve YFC katkılı numunelerde ise farklı oranda artışlar görülmüştür. En yüksek dayanıma doğal kil - % 15 YFC (BSB15YFC) katkılı numunelerde ulaşılmıştır. Zemin-B ve % 15 YFC katkılı numunelerde 7 gün kür sonrası serbest basınç dayanımı doğal kile göre % 77 oranında bir artış gerçekleştirmiş ve 28 gün kür sonrası artış oranı % 126 olmuştur. Dayanımlardaki artış miktarında kür süresinin de oldukça etkili olduğu görülmektedir.
- Polipropilen fiber katkılı numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç deneyi sonuçlarına göre her iki zemin tipi (Zemin-A ve Zemin-B) için kilin ağırlıkça % 1.0 oranında polipropilen fiber (PPF) katkısında en yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Zemin-A (ASB10PPF) için % 1.0 fiber katkısının 7 gün kür sonunda dayanımı doğal kile göre % 67 oranında artırdığı bu değer 28 gün kür sonunda % 81 'e ulaştığı görülmüştür. Yine Zemin-B (BSB10PPF) için % 1.0 polipropilen fiber katkısıyla 7 gün kür sonunda dayanımın doğal kile göre % 53 oranında bir artış sergilediği, 28 gün kür sonunda ise bu oranın % 78 'e ulaştığı belirlenmiştir.

- Zemin-A (CL) için mermer tozunun katkısının, yüksek fırın cürufu ve polipropilen fiber katkısına göre daha etkili sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür. Aynı şekilde Zemin-B (CH) için ise yüksek fırın cürufu katkısının, mermer tozu ve polipropilen fiber katkılarına karşı daha etkili olduğu ve daha yüksek dayanım değerleri elde edildiğini söylemek mümkündür.

Verilen sonuçlara göre düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerde yüksek fırın cürufu, mermer tozu ve polipropilen fiberlerin hepsinin de zemin iyileştirmede katkısı olduğu görülmüştür. Ancak optimum katkı miktarının değişik özellikteki killerde farklı olabileceği gözlemlenmiştir. Kür süresinin, dayanımın artmasında oldukça önemli bir etken olduğu görülmüştür.

İleride yapılacak olan çalışmalarda, yüksek fırın cürufu, mermer tozu ve polipropilen fiberlerin ikili veya üçlü karışım kombinasyonlarında, farklı katkı oranı ve kür sürelerinde çalışmaların daha detaylı yapılması önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

**Açaz, A.**, 2011, Magnezyum Klorür Solüsyonunun Problemlili Kil Zeminin Şişme, Dispersibilite Ve Dayanım Karakteristiklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*,Eskişehir.

**Al-Kakı, A. K.**, 2016, Clay Soil Stabilization With Waste Soda Lime Glass Powder, M.Sc. Thesis, *University Of Gaziantep*, Gaziantep.

**Alpyürür M., Ş., A.**, 2018, Yüzeysel Zemin İyileştirmesinde Yeni Bir Malzeme Olarak Atık Gazbeton Kullanımı, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9(2): 168-178 (2018).

**Aysu, Ş.**, 2020, Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerde Cam Lifi Katkısının Zeminin Mukavemet, Permeabilite Ve Konsolidasyon Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü* , Konya.

**Bagherinia, M.**, 2019, Derin Karıştırma Yöntemi İle Düşükplastisiteli Kil Zeminin Biyopolimer Ve Bazik Kimyasallar Kullanılarak İyileştirilmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

**Başpınar, A.**, 2020, Kireç İle Stabilize Edilmiş Yüksek Ve Düşük Plastisiteli Kil Zeminlerin Dayanımı Üzerinde Uzun Süreli Gecikmiş Kompaksiyonun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

**Baycık, S.**, Granüle Yüksek Fırın Cürufalarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İtü Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2003.

**Bizne, M., O., A.**, 2016, Stabilization Of Expansive Soil By Using Beverage Can Strips, Ms. Thesis, *University Of Gaziantep*, Gaziantep.

**Bilge, T.**, 2011, Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Kil Zeminlerin Stabilizasyonuna Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.

**Bilgen G., K., A., Ç., Ö., F.**, 2012, Düşük Plastisiteli Bir Kilde Katkı Olarak Çelikhane Curufunun Kullanılması ve Kireç ile Etkileşimi, *Karaelmas Science and Engineering Journal* 2 (2), 30-38, 2012.

**Ceylan, H., Saraç, S.,Özkahraman, H. T.**, 2001, Mermer Toz Atıklarının Derz Dolgu Malzemesi (Fuga) Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs 2001* ,Afyon.

**Chauhan, M.S., Mittal, S., Mohanty, B.** 2008. *Performance Evaluation Of Silty Sand Subgrade Reinforced With Fly Ash And Fibre. Geotextiles And Geomembranes.* 26, 429–435.

**Coşan, F., Ş.**, 2016, Amorf Silika, Volkanik Tuf Ve Kireç Kullanılarak İyileştirilmiş Yüksek Plastisiteli Kilin Mühendislik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

**Coşkun, Y.**, 2015, Katkı Malzemeleri İle Zemin İyileştirilmesinin Üç Eksenli Basınç Deneyleri Kullanılarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aksaray.

**Çetin, A., Y.**, 2011, Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler İle Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

**Çetinkaya, M.**, 2012, Polipropilen Liflerin Uçucu Kül Zemin Karışımlarında Geoteknik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

**Çimen, Ö., Keskin, S.N., Şimşek, S., Kalay, E.**, 2010, Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Mühendislik Özelliklerine Pomza ve Mermer Tozunun Etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, İstanbul, 855-862.

**Çitoğlu, S. G., Bayraktar, O. Y.**, 2018, Atık Mermer Tozu ve İnşaat Sektöründeki Kullanımı İle İlgili Çalışmalar, *2nd International Symposium on Inovative Approaches in Scientific Studies*, 1323-1330.

**Demir, E.**, 2019, Yüksek Plastisiteli Kil Stabilizasyonunda Silis Dumanı Ve Mermer Atıklarının Kireçle Beraber Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Bayburt .

**Diallo, M., L.**, 2019, Atık Malzeme Kullanımı İle Kil Zeminlerin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.

**Doğulu, S.**, 1998. Effect of Fineness of Ground Granulated Blast-Furnace Slags on Their Cementitious Properties. Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara.

**Doru, M., H.**, 2014, Çimento Stabilize Zemin İyileştirmelerinde Uçucu Kül Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.

**Duman, V.**, 2020, Midyat Taşı Atıklarının Düşük Plastisiteli Kil Zemin Stabilizasyonunda Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Bayburt .

**Engin, Y.**, 2015, Yüksek fırın cürufu el kitabı, *betonvecimento.com*

**Erkan, İ. H.**, 2007, Yumuşak Killi Zeminlerin Kireç Kolonlarıyla Mukavemet Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

**Gücek, S.**, 2011, Mermer Tozu Ve Uçucu Külün Kül Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.

- Görgün B., Ural N., 2015, Mermer Atığının Geoteknik Mühendisliğinde Kullanılması, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2015'), 129-132.**
- Kaçmaz, U., D., 2019, Mermer Tozu Ve Uçucu Külün Zemin İyileştirmede Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.**
- Kahyah, M., T., M., A., 2020, Investigation Of Engineering Properties Of Clayey Soils Improved With Biopolymers, Msc Thesis, Çukurova University, Adana.**
- Kahraman, S., 2020, Kalsiyum Karbit Atığı İle Kil Zeminlerin İyileştirilmesi Ve Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.**
- Kalıpcılar, İ., 2015, Çimento İle Stabilize Edilen Kil Zeminin Sodyum Ve Magnezyum Sülfatlı Çözeltiler Etkisinde Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir**
- Kızılcılık, M., M., 2010, Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Kireç İle Stabilizasyonu, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.**
- Kumbasar V., Kip F., 1999, Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.**
- Küçük F., 2021, Yüksek Performanslı Polipropilen Fiber Katkısının Kil Zeminin Drenajsız Kayma Direncine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.**
- Küçükosmanoğlu, M., 2019, Bazalt Fiberin Zemin İyileştirilmesinde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.**
- Okucu A., Gündüz T. B., 2019, Kil Zeminin Yüksek Fırın Cürufu ile Stabilizasyonunun Araştırılması, Uluslararası 8. Geoteknik Sempozyumu, 528-533.**
- Öntürk, K., 2011, Zemin İyileştirmesinde Polisaaj, Kireç Ve Uçucu Külün Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.**
- Özaydın, K., 2012, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi.**
- Özdemir, A., 2006, Zemin Mekaniği ve Zemin Mühendisliğine Giriş, Konya.**
- Öztürk, A., T., 2019, Atık Karbon Karasının Yüksek Plastisiteli Kil Zeminin Bazı Geoteknik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.**
- Reuter M., Xiao Y., Boin U. Recycling And Environmental Issues Of Metallurgical Slags And Salt Fluxes. VII. International Conference On Molten Slags, Fluxes And Salts, 349-356 P. 2004.**
- Rikhtehgar, A., Y., 2016, Investigation Into The Effects Of Nano-Materials And Nano-Polymers On Clays, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, İstanbul.**

**Saeid.** A., Amin, C., and Hamid. N.A 2012. Review on The Lime and Fly ash Application in Soil Stabilization. *IJBEEES*, 1(3): 124–126.

**Shah,** B., 1995, Fiber-Reinforced Composites, *American Concrete Institute, Detroit U.S.A.*

**Soğancı,** A., S., 2004, Tekrarlı Donma Ve Çözülmenin Kireç İle Stabilize Edilmiş Zeminlerin Mukavemet Ve Permeabilitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.*

**Suk,** M., Jo, S., Kim S., Lee, K., Park, J., 2006, X-Ray Observation Of Phosphorus Vaporization From Steelmaking Slag And Suppression Method Of Phosphorus Reversion In Liquid Iron, *Metallurgical And Materials Transactions B*, Vol. 37b, No. 1, Pp. 99-107.

**Şahbaz** İ., Ünsever Y., S., 2020, Çimento Ve Polipropilen Lif Kullanarak Düşük Plastisiteli Kil Zeminlerin İyileştirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 3,1409-1419 (2020).*

**Şentürk,** İ., 2019, Zemin İyileştirilmesinde Cürüfların Kullanılabilirliği Ve Performansının Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.*

**Taşcı,** G., 2011, Problemlili Kil Zeminin Geoteknik Özelliklerinesilis Dumanı Ve Kireç Katkısının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.*

**Tokyay,** M., Erdoğan, K., 2009. Cürüflar Ve Cürüflu Çimentolar. Tçmb, Ar-Ge Raporu, 8. Baskı, Ankara..

**Url-1**< [https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b\\_h/mermer.jpg](https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/mermer.jpg)

**Url-2**< [https://www.isdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Yassi\\_Urun\\_Katalogu\\_2020\\_subat-2922.pdf](https://www.isdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Yassi_Urun_Katalogu_2020_subat-2922.pdf)

**Uzuner,** B., A., 2007, Çözümlü Problemlere Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon.

**Ünal** O., Güçlüer, K., 2016, Gazbeton Üretiminde Yüksek Fırın Cürufu Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, 218-221.

**Ünal** O., Kibici, Y., 2001, Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs,Afyon, 317-325.*

**Ünver,** E., 2015, Problemlili Kil Zeminlerin Uçucu Kül İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.*

**Vural, P.**, 2012, Şişme Ve Dispersif Karakteristikteki Kil Zeminlerin Mühendislik Özelliklerine Çimento Ve Zeolitin (Doğal Puzolan) Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

**Yarbaşı, N.**, 2018, Mermer Tozu ve Atık Lastik ile İyileştirilen Düşük Plastisiteli Killi Zeminlerin Dayanım Özellikleri, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2018, 4(2):162-170.

**Yıldırım, S.**, 2002, Zemin İncelemesi Ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 466s.

**Yılmaz, Y.**, Sevecan, Ü., 2010, PoliPropilen Fiber Ve Uçucu Kül Katkılı Ankara Kilinin Bazı Geoteknik Özelliklerinin Araştırılması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, 133-142.

**Yorulmaz, A.**, 2018, Mermer Toz Atıkları İle Stabilize Edilmiş Kil Zemin Mukavemetinin, Donma-Çözülme Etkisi Ve Zamana Bağlı Olarak Değişiminin Cbr (California Taşıma Oranı) Deneyleri İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde.

**Zorluer İ.**, Usta, M., 2003, Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, *Türkiye İv Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı 18-19 Aralık*, 305-311.