



**KALSİYUM KARBİT ATIĞI İLE KİL ZEMİNLERİN
İYİLEŞTİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRMALI
ANALİZİ**

Selman KAHRAMAN

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İnan KESKİN**

**KALSİYUM KARBİT ATIĞI İLE KİL ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ
VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

SELMAN KAHRAMAN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak hazırlanmıştır.**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İnan KESKİN**

**KARABÜK
Haziran 2020**

Selman KAHRAMAN tarafından hazırlanan “KALSİYUM KARBİT ATIĞI İLE KİL ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İnan KESKİN

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. .../.../....

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. İlker TEKİN (KBU)

.....

Üye : Doç. Dr. İnan KESKİN (KBU)

.....

Üye : Doç. Dr. Ali ATEŞ (BAİBU)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Selman KAHRAMAN

ÖZET

Yüksek Lisan Tezi

KALSİYUM KARBİT ATIĞI İLE KİL ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Selman KAHRAMAN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İnan KESKİN

MAYIS 2020, 74 sayfa

Bu tez kapsamında zayıf ve şişebilen zeminlerin şişme ve dayanım parametrelerinin asetilen sanayi üretiminden geriye kalan kalsiyum karbit atığı ile iyileştirilebilirliğinin kireç ve uçucu kül ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Tokat Karben A.Ş' den temin edilen Bentonit ve 40 Nolu elek altına geçen dere kumu %75-%25 bentonit/kum karışımı olacak şekilde karıştırılmış ve deneyler için ham numune elde edilmiştir. Bentonit/kum karışımlarına ağırlığının kütlece %5, %10, %15 oranlarında kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül katılarak her bir karışımın optimum su içeriklerinde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 1, 7, 14, 21 ve 28 günlük kürlenmeye bırakılarak her kür gününde çeşitli deneyler uygulanmıştır. Deneylerin aynı su içeriği ve sıkışıklıkla yapılması oldukça önemli bir unsur olduğundan başta saf numune olmak tüm karışımlar için hazırlanan numuneler bu hassasiyete uyularak deneylere hazırlanmıştır. Tüm katkı maddeleri için belirlenen karışım oranlarındaki numunelere her kür gününde serbest basınç deneyi, kesme

kutusu deneyi ve şişme basıncı deneyleri yapılmış ve bu katkıların zemin iyileştirme performansları kür süreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kalsiyum karbit atığının ham numunenin serbest basınç dayanımı, kohezyonu, içsel sürtünmesi açısı ve şişme basıncı değerini çok ciddi manada iyileştirdiği saptanmıştır. Çalışmada kullanılan diğer katkıları ile birlikte değerlendirildiğinde kalsiyum karbit atığının kabul edilebilir sınırlarda olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılan katkı malzemelerinin; her bir karışım oranından 7. ve 30.günde numuneler alınarak X ışını kırınımı (XRD) yapılarak numunelerin mineralojik yapıları incelenip katkıların karışımın mineralojik yapısına etkisi incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kalsiyum karbit atığı, zemin iyileştirme, kireç, uçucu kül, zemin dayanımı, şişme.

Bilim Kodu : 91105

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

HEALING AND COMPARATIVE ANALYSIS OF CLAY SOILS WITH CALCIUM CARBIDE WASTE

Selman KAHRAMAN

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. İnan KESKİN**

May 2020, 74 pages

In this thesis, it is aimed to compare the swelling and strength parameters of weak and swellable soils with calcium carbide waste remaining from acetylene industry production with lime and fly ash. For this purpose, Bentonite obtained from Tokat Karben A.Ş. and the stream sand under the No. 40 sieve were mixed to be a 75% -25% bentonite / sand mixture and a raw sample was obtained for the experiments. Samples were prepared in optimum water contents of each mixture by adding 5%, 10%, 15% by weight of calcium carbide waste, lime and fly ash. The prepared samples were left to cure for 1, 7, 14, 21 and 28 days, and various experiments were carried out on each curing day. Since the experiments are carried out with the same water content and congestion, it is very important that the samples prepared for all mixtures, primarily pure samples, have been prepared for the experiments in accordance with this sensitivity. Unconfined compression test, shear box test and swelling pressure tests were carried out on the samples in the mixing ratios determined for all additives and the soil

improvement performances of these additives were evaluated by considering the curing times. As a result of the experiments, it was determined that calcium carbide waste improved the unconfined compression test, cohesion, internal friction angle and swelling pressure value of the raw sample very seriously. It was observed that other additives used in the study also improved the same level of pure sample. In addition, the additives used; By taking samples from each mixing ratio on the 7th and 30th days, X-ray diffraction (XRD) was performed to examine the microstructures of the samples and the effects of additives on the microstructure of the mixture.

Key words : Calcium carbide waste, soil improvement, lime, fly ash, strength of soil, swelling.

Science Code : 91105

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İnan KESKİN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Laboratuvar deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencileri Ata Bektaş TÜRK, Ahmet NECİM, Hilal ESER ve Nurullah TATAR'a teşekkür ederim.

XRD analizlerinin çekimde yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mustafa MUŞTU'ya teşekkür ederim.

XRD analizlerinin yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli Doç. Dr. İlker TEKİN hocama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
BÖLÜM 3	11
MATERYAL VE METOD	11
3.1. MATERYAL.....	12
3.1.1. Bentonit	12
3.1.2. Kum.....	13
3.1.3. Uçucu Kül	14
3.1.4. Kireç.....	15
3.1.5. Kalsiyum Karbit Atığı.....	17
3.2. METOD.....	20
3.2.1. Numune Hazırlama	20
3.2.1. Tanımlama Deneyleri	22
3.2.1.1. Likit Limit Deneyi.....	22
3.2.1.2. Plastik Limit Deneyi	22

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.3. Standart Proctor Deneyi	23
3.2.1.4. Serbest Basınç Deneyi.....	24
3.2.1.5. Kesme Kutusu Deneyi.....	27
3.2.1.6. Şişme Basıncı Deneyi	28
BÖLÜM 4	32
BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	32
4.1.1. Kıvam Limit Değerleri	32
4.1.2. Standart Proktor Deneyi Değerleri	35
4.1.3. Serbest Basınç Deneyi Değerleri	38
4.1.4. Kesme Kutusu Deneyi Değerleri	42
4.1.5. Şişme Basıncı Deneyi Değerleri	49
4.2. MİNERALojİK ANALİZ SONUÇLARI	59
BÖLÜM 5	66
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Magnezyum klorür katkılı zemin şişme sonuçları.	4
Şekil 2.2. Kalsiyum karbür katkılı serbest basınç sonuçları.....	6
Şekil 2.5. Serbest basınç deney sonuçları. (a) Bazalt lifsiz, (b) Bazalt lifli.	7
Şekil 2.3. Mermer tozu katkılı kil zemin serbest basınç dayanım sonuçları	7
Şekil 2.4. Atık lastik katkılı kil zemin serbest basınç sonuçları.....	8
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan bentonit.....	13
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan uçucu kül	15
Şekil 3.3. Kirecin farklı zemin sınıflarındaki etkisi.....	16
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan kireç	17
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan kalsiyum karbit atığı.....	19
Şekil 3.6. Kalsiyum karbit atığının xrd görüntüsü	20
Şekil 3.7. Çalışma akış diyagramı	22
Şekil 3.8. Kompaksiyon deney ekipmanları.....	23
Şekil 3.9. Standart proctor deneyi şematik görüntüsü.....	24
Şekil 3.10. Serbest basınç deneyi şematik görüntüsü	25
Şekil 3.11. Serbest basınç deney ekipmanı	26
Şekil 3.12. Numune çıkarıcı.....	26
Şekil 3.13. Kesme kutusu deney ekipmanı	28
Şekil 3.14. Şişme basıncı deney düzeneği	29
Şekil 3.15. Şişme basıncı deney seti	30
Şekil 3.16. Şişme potansiyeli sınıflandırma kartı	31
Şekil 4.1. Katkı malzemelerinin likit limit değerine etkisi.....	33
Şekil 4.2. Katkı malzemelerinin plastik limit değerine etkisi	34
Şekil 4.3. Katkı malzemelerinin plastisite indisine etkisi	34
Şekil 4.4. Bentonit/Kum kompaksiyon sonucu	35
Şekil 4.5. KKAK kompaksiyon sonucu	36
Şekil 4.6. UKK kompaksiyon sonucu	37
Şekil 4.7. KK kompaksiyon sonucu	37

Sayfa

Şekil 4.8. KKAK oranı ve kür süresinin serbest basınç dayanımına etkisi.....	39
Şekil 4.9. KK oranı ve kür süresinin serbest basınç dayanımına etkisi.....	40
Şekil 4.10. UKK oranı ve kür süresinin serbest basınç dayanımına etkisi	40
Şekil 4.11. Kür süresince karışım oranlarının maksimum serbest basınç dayanımın değerleri	41
Şekil 4.12. KKAK oranı ve kür süresince kohezyona etkisi.....	43
Şekil 4.13. KK oranı ve kür süresince kohezyona etkisi.....	43
Şekil 4.14. UKK ve kür süresince kohezyona etkisi	44
Şekil 4.15. Kür süresince karışım oranlarının maksimum kohezyon değeri.....	45
Şekil 4.16. KKAK oranı ve kür süresince içsel sürtünme açısına etkisi.....	46
Şekil 4.17. KK oranı ve kür süresince içsel sürtünme açısına etkisi.....	47
Şekil 4.18. UKK oranı ve kür süresince içsel sürtünme açısına etkisi.....	47
Şekil 4.19. Kür sürecince karışım oranlarının maksimum içsel sürtünme açısı değeri.....	48
Şekil 4.20. Bentonit/Kum şişme basıncı değeri	49
Şekil 4.21. Bentonitin şişme basıncı değeri	50
Şekil 4.22. %5 KKAK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	51
Şekil 4.23. %10 KKAK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	51
Şekil 4.24. %15 KKAK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	52
Şekil 4.25. %5 KK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	53
Şekil 4.26. %10 KK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	53
Şekil 4.27. %15 KK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	54
Şekil 4.28. %5 UKK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	55
Şekil 4.29. %10 UKK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	55
Şekil 4.30. %15 UKK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi	56
Şekil 4.31. Tüm karışım oranlarının şişme basıncına etkisi.....	57
Şekil 4.32. %5 Katkı oranlarının şişme basıncı karşılaştırması.....	57
Şekil 4.33. %10 Katkı miktarlarının şişme basıncı karşılaştırması.....	58
Şekil 4.34. %15 Katkı miktarlarının şişme basıncı karşılaştırması.....	58
Şekil 4.35. Bentonit/Kum karışımının xrd görüntüsü	60
Şekil 4.36. Kalsiyum karbit atığı katkısının kürlenme sürecindeki xrd görüntüleri ..	63
Şekil 4.37. Kireç katkısının kürlenme sürecindeki xrd görüntüleri	64
Şekil 4.38. Uçucu kül katkısının kürlenme sürecindeki xrd görüntüleri.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri	13
Çizelge 3.2. Uçucu kül kimyasal içeriği	15
Çizelge 3.3. Kireç kimyasal özellikleri	17
Çizelge 3.4. Kalsiyum karbit atığının kimyasal içeriği.....	19
Çizelge 3.5. Yapılan deneysel çalışmalar	21
Çizelge 3.6. Serbest Basınç Deneyinde Yapılan Deney Sayıları	25
Çizelge 3.7. Serbest basınç deneyinde yapılan deney sayıları	27
Çizelge 3.8. Şişme basıncı deneyinde yapılan deneylerin sayısı	29
Çizelge 3.9. Plastisite indisine göre şişme potansiyeli tahmini	30
Çizelge 4.1. Bentonit ve bentonit/kum karışımının kıvam limit değerleri.....	33
Çizelge 4.2. Katkı malzemelerinin plastisite indisine etkisi	35
Çizelge 4.3. Karışımların optimum su içeriği değerleri.....	38
Çizelge 4.4. 28 gün kürlenme süresi sonundaki serbest basınç dayanımındaki iyileştirme faktörü	42
Çizelge 4.5. 28 gün kürlenme süresi sonundaki kohezyon değerinin iyileştirme faktörü	45
Çizelge 4.6. Çizelge 4.4. 28 gün kürlenme süresi sonundaki içsel sürtünme açısı değerinin iyileştirme faktörü	48
Çizelge 4.7. Çizelge 4.4. 28 gün kürlenme süresi sonundaki şişme basıncı değerinin iyileştirme faktörü	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

SiO ₂	: silisyum dioksit veya silika
Al ₂ O ₃	: alüminyum oksit
Fe ₂ O ₃	: demir (III) oksit veya ferrik oksit
CaO	: kalsiyum oksit
MgO	: magnezyum oksit
K ₂ O	: potasyum oksit
SO ₃	: sülfür oksit
Na ₂ O	: sodyum oksit
CaCO ₃	: kalsiyum karbonat
CO ₂	: karbondioksit
CaC ₂	: kalsiyum karbür
C ₂ H ₂	: asetilen
CSH	: kalsiyum silika hidrat
CAH	: kalsiyum alüminat
CH	: kalsiyum hidrat
Cl	: klor
W _L	: likit limit
W _P	: plastik limit
IP	: plastite indisi
W _{opt}	: optimum su içeriği
γ _{kmax}	: maksimum kuru birim hacim ağırlık
kN	: kilonewton
m	: metre
m ³	: metreküp
w	: su içeriği

- °C : santigrat derece
Ø : içsel sürtünme açısı
C : kohezyon
Qu : serbest basınç dayanımı
Sn : saniye
D : çap
% : yüzde
° (der) : derece

KISALTMALAR

- ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
TS : Türk Standardı
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
KKAK : Kalsiyum Karbit Atığı Katkısı
KK : Kireç Katkısı
UKK : Uçucu Kül Katkısı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir mühendislik projesinin inşa edileceği temel zemin her zaman proje gereksinimlerini karşılayacak nitelikte olmayabilmektedir. Bu durumda zemini istenilen mühendislik özelliklere sahip hale getirmek gerekmektedir. Bu kapsamda yapılacak çalışmalar uzun yıllardan beri geoteknik mühendisliğinin inceleme konuları olmuş ve hakkında birçok akademik çalışma oluşturulmuştur. Bu çalışma konusu, yalnızca ülkemizde değil dünyada da yapı zemin teknolojisinin gelişmesiyle farklı bakış açıları temelinde değerlendirilip yeni yöntem ve malzemeler zaman içerisinde geliştirilecektir.

Zemin iyileştirme, zemini uygun bir yöntem ile iyileştirip üzerindeki yapıları oturma ve dayanım açılarından sorun olmadan taşıyabilecek yöntemlerin tamamını kapsamaktadır. Literatürde birçok araştırmacı tarafından bu kapsamda farklı atık malzemeler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Zeminlerin katkı malzemeleri ile iyileştirilmesi diğer iyileştirme yöntemlerine göre nispeten daha ekonomik olması ne yaygın olarak kullanılmaktadır. Zemin ıslah çalışmalarında yaygın olarak kireç, cüruf, uçucu kül, çimento gibi katkı maddelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bu malzemelere ek olarak zemin stabilizasyonunda; köpük beton, talaş, ağaç kabuğu, çakıl taşı, endüstriyel atıklar, yonga, deniz kabuğu, atık pirinç kabuğu külü, yanmış yağ atığı, volkanik kül, mermer tozu, atık lastik gibi maddeler de yer almaktadır. [1, 2, 3, 4, 5].

Endüstriyel atık maddelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesi son yılların önemli bir araştırma konusu olmuştur. İnşaat sektöründe kullanılabilirliği olan endüstriyel atıkların sadece hammadde olarak kullanılmasının yanı sıra çeşitli mühendislik uygulamalarına da ekonomik çözüm olanağı sağlamaktadır.

Ayrıca bu atık maddelerin yapı alanında ihtiyacı karşılaması, depolama ya da geri dönüşümden kaynaklanan çevre kirliliği ve ek maliyetler azalım sağlamasında kazanımlar oluşmuştur. Fabrikalardan çıkan atıkların günden güne artmasıyla nedeniyle bu atıkların değerlendirilmesinin hem çevre hem de mühendislik açısından değerli bir kazanım olacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında asetilen üretiminden geriye kalan kalsiyum karbit atığının zayıf ve şişebilen zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi ve zemin iyileştirmede kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca bu kapsamda kalsiyum karbit atığının zemin iyileştirme performansının bu amaç için sıklıkla kullanılan ve literatürde oldukça fazla incelenen uçucu kül ve kireç ile performanslarının karşılaştırılması da amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kalsiyum karbit atığı asetilen sanayinde üretilen atık bir madde olup geri kazanımı yok denecek kadar azdır. Çalışma ile geri kazanımı olmayan bu malzemenin inşaat sektöründe kullanımının yaygınlaşması ekonomik açıdan büyük bir kazanım olacaktır.

Bu tez kapsamında bu konuyla ilgili olarak deneyler yaparak başta kalsiyum karbit atığı olmak üzere kireç ve uçucu külün zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi irdelenmiş olacaktır. Deneysel çalışmalara detayları metod bölümünde verilen karışım numunelerin standart proctor deneyleri yapılarak, su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi ile başlanılmıştır. Bu çalışmada zemin özelliklerinin aynı tutulması maksadıyla %75-%25 bentonit-kum karışımı kullanılmıştır. İlk olarak katkı malzemelerinin kıvam limitlerine olan etkisi irdelenmiştir. Bahsi geçen zemin karışımına kütlece artan oranlarda kalsiyum karbit atığı, uçucu kül ve kireç katkıları eklenerek optimum su muhtevasında karışımlar hazırlanmış ve kürlemeye bırakılmıştır. Hazırlanan numunelere 1, 7, 14, 21, 28. gün kür sürelerinde şişme basınç deneyi, serbest basınç deneyi ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda serbest basınç dayanımı, şişme basıncı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin gelişimi gözlemlenmiştir. Kür süresinin etkisini görmek amacıyla x-ışın kırınımı (XRD) yöntemi uygulanmıştır. Başta saf numune olmak üzere her bir karışım numunesinin 7. ve 30. günlerden numuneler alınarak XRD yöntemine tabi tutulmuş ve değerlendirmesi yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zeminler üzerlerine inşa olunan yapıların temelleri altında taşıyıcı bir tabaka olarak veya inşaat malzemesi olarak inşaat projelerinde karşımıza çıkmaktadır. Proje alanında bulunan zeminler her zaman istenilen zemin koşullarına sahip olmayabilmektedir. Bu durumda zemini istenilen özelliklere getirmek için mühendislik uygulamaları gerekmektedir. Bu bağlamda zeminlerde ortaya çıkan dayanım, şişme, erozyon, oturma vb. problemlerin iyileştirilmesi zemin iyileştirme olarak tarif edilmektedir. Bu kapsamda yapılan işler genel olarak iki başlık altında toplanmakta olup, aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir [6].

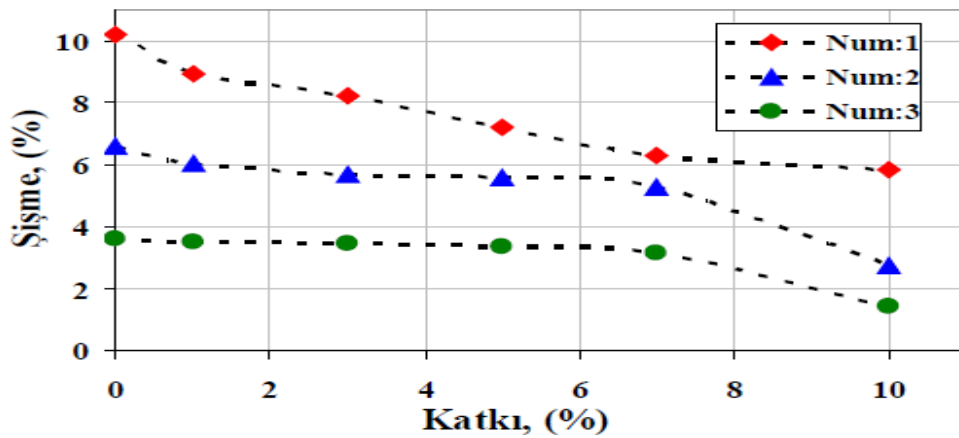
1. Toprak dolgularda kullanılacak zeminlerin malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi yöntemleri.
 - Kompaksiyon yöntemleri
 - Katkı malzemeleri (kireç, çimento, uçucu kül vb.) kullanılması ile zemin özelliklerinin iyileştirilmesi yöntemleri
2. Zeminlerin yerinde iyileştirilmesi ile ilgili yöntemler
 - Mekanik yöntemler
 - Hidrolik yöntemler
 - Fiziko- Kimyasal yöntemler (katkı malzemeleri, enjeksiyon yöntemleri)
 - Hafif malzemelerin kullanımı
 - Donatılı Zemin-çelik kullanımı veya geosentetik yöntemler [6].

Tez çalışmamızda zemin ıslahında yer alan katkı malzemelerine alternatif olabilecek kalsiyum karbit atığı araştırılmıştır. Literatürde bu yöntemler esas alınarak birçok çalışma yer almaktadır. Bu kapsamda;

Ghazavi ve Roustaei'ni 2010 yılında yaptığı çalışmaya göre soğuk iklimlerde meydana gelen donma çözülme döngüsü zeminin geçirgenlik, su içeriği, mukavemeti, kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi zemin özelliklerini etkilemektedir. Araştırmacı donma-çözünme döngüsünün zeminde oluşturduğu negatif etkiyi iyileştirmek amacıyla lif takviyeli polimer katkı kullanmıştır. Çalışma sonucunda lif takviyeli polimer katkısının kil zeminin basınç dayanımını arttırdığını ve donma kabarmasını azalttığını saptamıştır [7].

Gücek'in 2011 yılında yaptığı çalışmasında, şişme ve dağılma özelliği açısından problemlili olan kil zeminleri katkı maddeleri ile iyileştirmesi üzerine araştırma yapmıştır. Endüstriyel atıkların tekrar kazandırılması kapsamında %5, 10, 15 mermer tozu ve %5, 10, 15 uçucu külün kil zeminin şişme ve donma çözülme üzerindeki etkisini incelemiştir. Endüstriyel atıkların zeminlerin dayanımı artırdığı, şişme potansiyeli azalttığını saptamıştır. Deney sonuçlarından elde ettiği bulgularda kil zeminlere %15 mermer tozu ve %20 uçucu kül katıldığında optimum performans gösterdiğini ifade etmiştir [8].

Türköz vd.'nin 2011 yılında yaptığı çalışmasında, kil zeminlerin şişme ve dağılma özelliklerini iyileştirmede magnezyum klorür ($MgCl_2$) katkısının etkisini incelemiştir. $MgCl_2$ katkısı zeminlerin şişme ve dağılma özelliğini önemli derecede iyileştirdiğini Şekil 2.1' de görüldüğü üzere, %7 katkı oranından sonra etkin bir iyileştirme sağladığını ifade etmiştir [9].



Şekil 2.1. Magnezyum klorür katkılı zemin şişme sonuçları [9].

Horpibulsuk ve Kampala 2013 yılında yaptığı çalışmaya göre silt ve kil zeminlere kalsiyum karbür ilave ederek zemin üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kalsiyum karbürün, zeminlerin optimum su muhtevasında artış, plastisite indisinde ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında azalış meydana geldiğini belirtmişlerdir [10].

Horpibulsuk vd.'nin 2013 yılında yaptığı çalışmaya göre silt ve kil zemin birimine kalsiyum karbür ve uçucu kül ilave ederek zemin özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kalsiyum karbür ve uçucu külün zemin ıslahı çalışmalarında alternatif bir ürün olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir [11].

Ghabae 2015 yılında yaptığı çalışmaya göre problemli zeminlerin kireç katkısı ile iyileştirilmesini araştırmıştır. Bentonit numunesine %3,6,9 oranlarında kireç katkısı katarak 7,14,28 gün kür sürelerinde serbest basınç deneyi yapmıştır. Kireç katkısının kür süresince bentonit numunesinin mukavemetini artırdığını saptamıştır [12].

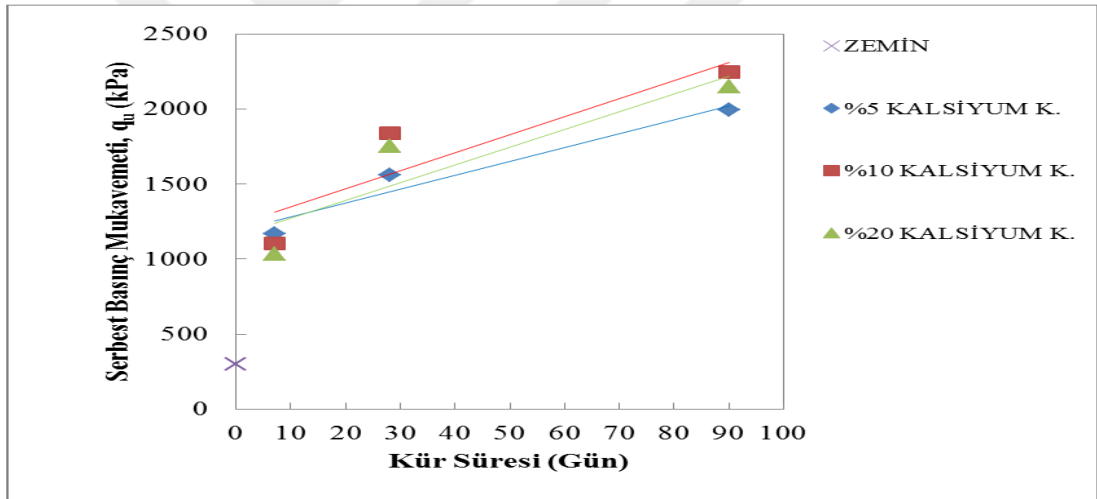
Ünver'in 2015 yılında yaptığı çalışmaya göre şişme ve dağılma özelliği açısından problemli olan kil zeminleri iyileştirmek için katkı maddesi olarak mermer tozu kullanmıştır. Kil zemine %5,10,15,20,25,30 oranlarında mermer tozu ekleyerek zemin numunelerine tek eksenli serbest basınç şişme ve dağılma deneylerine tabi tutmuştur. Deneylerden elde ettiği bulgularda zeminin şişme ve dağılma özelliğinde iyileşmeler gözlemlenmiştir [13].

Alpyürür'ün 2016 yılında yaptığı çalışmaya göre inşaat atığı olan gazbetonun zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Düşük plastisiteli kil, yüksek plastisiteli kil ve kum zeminlerin her birine %5,10,15,20,25 oranlarında gazbeton yıkıntı atığı katarak laboratuvar deneyleri yapmıştır. Numuneler üzerinde serbest basınç, kesme kutusu, Kaliforniya taşıma oranı ve şişme basıncı deneyleri yapmıştır. Gazbeton yıkıntı atığının zeminlerin şişme ve dayanım parametrelerini iyileştirdiğini belirtmiştir [14].

Phetchuay vd.'nin 2016 yılında yaptığı çalışmada kalsiyum karbür ve uçucu külden oluşan bir geopolimer kullanarak denizel killerin mukavemet gelişimlerini ve karbon ayak izi ölçümlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında sıvı alkalin hızlandırıcılar da

kullanarak hızlandırıcı konsantrasyonun, uçucu kül oranı, kalsiyum karbür oranı, başlangıç su içeriği, kür sıcaklığı ve süresinin çeşitli etkenler olduğunu ifade etmişlerdir. Uçucu kül içeriğinin ve hızlandırıcının mukavemeti etkileyen en önemli iki faktör olduğunu belirtmişlerdir [15].

Eskişar ve Altun'un 2017 yılında yaptığı çalışmasında asetilen sanayinde kullanılan kalsiyum karbürün zemin iyileştirme üzerindeki etkisini araştırmıştır. Zemin numunelerine farklı oranlarda kalsiyum karbür ekleyerek kıvam limitlerini belirlemiş ve kompaksiyon deneyleri yapmıştır. Tek eksenli serbest basınç deneyi yaparak zeminin mukavemetindeki artışı Şekil 2.2' de gözlemlemiştir. %10 oranında kalsiyum karbür ilave edildiğine zeminin dayanımının iki kat yükseldiğini saptamıştır. Kalsiyum karbürün zemin iyileştirmede alternatif bir malzeme olacağını ifade etmiştir [16].

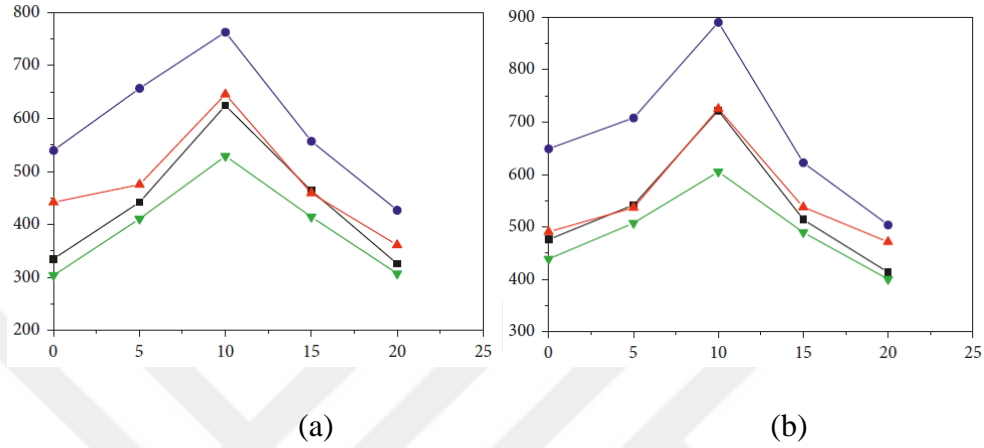


Şekil 2.2. Kalsiyum karbür katkılı serbest basınç sonuçları [16].

Görgün vd.'nin 2018 yılında yaptığı çalışmasında atık tavuk tüylerinin temel zemini iyileştirmesi hususunda kullanılıp kullanılmayacağı tartışmıştır. Deneysel verilerden elde bulgularda tavuk tüyünün bir potansiyel olabileceği farklı katkı malzemeleriyle desteklenerek zemin iyileştirmede kullanılabileceğini ifade etmiştir [17].

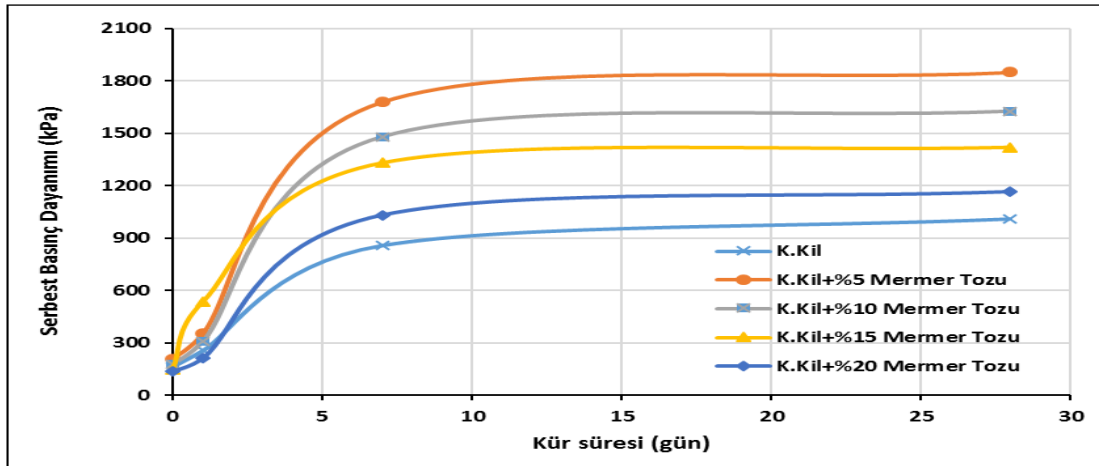
Ma vd.'nin 2018 yılında yaptığı çalışmasında problemlili zeminlerde uçucu kül, kum ve bazalt liflerinin zemin özelliklerine etkisini incelemiştir. Uçucu kül içeriğinin artmasıyla zeminin likit limit değerinin azaldığı, plastik limit değerinin arttığı,

plastisite indeksinin azaldığını belirtmiştir. %8 kum, %10 uçucu kül, %0,4 bazalt lif karışımında hazırlanan numunelerden maksimum sonuç vermiştir. Bazalt lifin uçucu kül ve kum ile kullanıldığında zeminin dayanımını Şekil 2.5 (a) ve (b)'de %20 oranında artırdığını belirtmiştir [18].

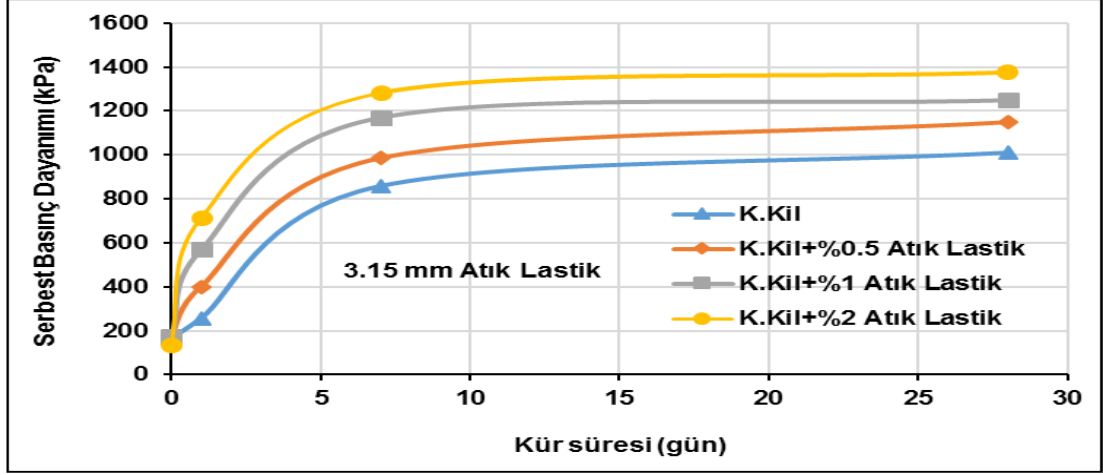


Şekil 2.3. Serbest basınç deney sonuçları. (a) Bazalt lifsiz, (b) Bazalt lifli [18].

Yarbaşı'nın 2018 yılında yaptığı çalışmasında mermer tozu ve atık lastik parçalarıyla problemlili killi bir zeminin mühendislik özelliklerini ve bu katkı malzemelerinin zemin davranışına olan etkilerini incelemiştir. Araştırmacı çalışmasında kil zemine %0,5, 1, 2 atık lastik ve %5, 10, 15, 20 mermer tozu ilave ederek, 1, 7, 28 gün kürleme sonrasında zeminin dayanım özelliklerinde artış Şekil 2.3' de ve Şekil 2.4' de görülmektedir [19].



Şekil 2.4. Mermer tozu katkılı kil zemin serbest basınç dayanım sonuçları [19].



Şekil 2.5. Atık lastik katkıli kil zemin serbest basınç sonuçları [19].

Arslan'nın 2019 yılındaki çalışmasında traverten tozuyla şişebilen ve dayanım açısından zayıf olan zeminlerin iyileştirilebilirliğini araştırmıştır. Kil zemine %10,20,30,40 oranlarında traverten tozu eklemiş 0, 7, 14, 21, 28, 42. gün sürelerinde küremeye bırakmıştır. Her kür süresinde zemin numuneleri üzerinde şişme, dayanım ve geçirimsizlikle ilgili deneyler yapmıştır. Traverten tozunun kil zemininin mühendislik özelliklerini iyileştirdiğini belirtmiştir [20].

Bibak vd.'nin 2019 yılındaki çalışmasında killi zeminleri stabilize etmek için kireç katkı malzemesini kullanmıştır. Ayrıca, zemin stabilizasyon işleminde reaksiyon hızlandırıcı katkı olarak sodyum silikatı incelemiştir. İlgili deneyler yaparak optimum kireç yüzdesi daha sonra en iyi sonucu elde etmek için bu optimum kireç yüzdesine farklı atık ve sodyum silikat yüzdeleri eklenmiştir. Numunelerde sıkıştırma, tek eksenli serbest basınç dayanımı ve konsolidasyon deneyleri yaparak %6 kireç, %6 endüstriyel atık ve %1,5 sodyum silikat olduğunda stabilize edilmiş zeminin optimum değeri sağlayacağını belirtmiştir. Karakteristik materyal testleri yaparak deneysel verileri doğrulamıştır [21].

Dadanlar'ın 2019 yılında yaptığı çalışmasında şişme potansiyeli yüksek olan kil zeminlerin atık cam tozu kullanarak stabilize etmiştir. Cam tozu atığı tek başına kullanıldığında zemine etkisinin sınırlı kaldığını belirtmiştir. Fakat atık cam tozunu, sönmemiş kireç (CaO) ile aktive ederek daha verimli sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Cam tozu ve CaO'nun katkısının kil zeminlerin şişme, dayanım ve donma çözülme döngüsünde iyileşmeler gözlemlenmiştir. %15 atık cam tozu ve %5 CaO katkı oranı kullanıldığında optimum sonuca ulaşılmıştır [22].

EsmailpourShirvani vd.'nin 2019 yılında yaptığı çalışmasında zemin özelliklerinin sentetik doğal lif kullanılarak iyileştirilmesi üzerine araştırma yapmıştır. Doğal lif katkısı, zeminde oluşan gerilmeler liflerdeki gerilme direncini harekete geçirerek kayma mukavemetini artırmaktadır. Bu nedenle çalışmasında, zeminlerin kayma mukavemeti özelliklerine etkisini incelemek için kesme kutusu deneyi uygulanmıştır. Kenaf lif katkısının zeminlerin gerilme-yer değiştirme ilişkisi, hacim değişimi, sünekliliği ve kırılma durumu üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Araştırmacının elde ettiği bulgulara göre kum-kil karışımına belirli bir miktar kenaf lifi eklenmesi sünekliliği ve kayma mukavemeti parametrelerini artırmaktadır. Kenaf lif katkısı şev stabilitesi, dolgu ve bina temeli gibi inşaat projelerinde kullanılmaya uygun bir katkı malzemesi olduğunu ifade etmiştir [23].

Öztürk'ün 2019 yılında yaptığı çalışmasında fabrika atığı olan fırın cürufunun zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmasında bentonit zemin numunesine %5,10,15,20 oranlarında cüruf katarak ve 1,7 ve 28.günlerde küremeye bırakmıştır. Her gün kür süresinde serbest basınç, kesme kutusu ve şişme basınç deneyleri yapmıştır. Cürufun bentonit zemin numunesinin şişme ve dayanım parametrelerini iyileştirdiğini saptamıştır [24].

Zhang 2019 yılındaki çalışmasında kaldırım temel zemininin mevsimsel olarak oluşan donma çözülme döngülerin etkisini en aza indirmeye yönelik çalışma yapmıştır. Zemin stabilizasyonunda uçucu kül kullanmıştır. Çalışmasında donma-çözülme ve serbest basınç dayanım deneyleri yapmıştır. Uçucu külün donma-çözülme dayanıklılığını ve dona karşı duyarlılığını arttırdığını tespit etmiştir [25].

Zhou vd.'nin 2019 yılındaki çalışmasında problemlili zeminlerin iyileştirilmesinde uçucu kül ve kireç katkı malzemesi kullanmıştır. Araştırmacı çalışmasında zeminlerin şişme ve dayanım açısından zeminlerin gelişimini incelemiştir. %10 uçucu kül, %5

kireç katkılı zeminlerin plastisite indisini %64,9, şişme oranını %10 azalttığını ve bu değerin optimum sonuç olduğunu belirtmiştir [26].



BÖLÜM 3

MATERYAL ve METOD

Killi zeminlerin yapıları etkileyen en önemli özelliği, muhtevastndaki su miktarının artması veya azalmasıyla hacimsel değışikler meydana getirerek yapıda deformasyonlara yol açmaktadır. Yapıların projelendirilmesi aşamasında bu duruma dikkat edilmemesi yapının kullanıma açılmasından sonra problemler oluşturmaktadır. Bu vb. durumlarda kil zeminleri iyileştirme tekniğı olarak zemin katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Literatürde yer alan birçok katkı malzemesi kireç, çimento, uçucu külü vb. yerine alternatif katkı malzemelerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu tez çalışmasında, zemin stabilizasyonunda kalsiyum karbit atığının zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi tartışılmıştır. Bu kapsamda deneysel çalışmalarda Tokat bölgesinden çıkarılan doğal bentonit, Zonguldak Çates Elektrik Üretim A.Ş' den uçucu kül, Bartın Kimtaş San. Tic. A.Ş' den kireç, asetilen üretim tesisinden atık olarak geriye kalan kalsiyum karbit atığı kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında ilk olarak No: 40 elek altından alınan kütlece %75-%25 betonit/kum saf numunenin optimum su içeriğı ve kıvam limit değerleri bulunmuştur. Bu karışım numunesine %5, %10 ve %15 oranlarında kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül katılarak her bir karışımın optimum su içeriğı ve likit limit değerleri elde edilmiştir. Her bir karışım optimum su içeriğinde hazırlanarak 1, 7, 14, 21 ve 28. Gün olmak üzere kürlenmeye bırakılmıştır. Belirlenen kür sürelerinde karışımlara serbest basınç deneyi, şişme basıncı deneyi, kesme kutusu deneyi standartlara uygun olarak yapılmıştır. Bu kapsamda zeminlerin kohezyon, içsel sürtünme açısı ve şişme basıncı değerleri bulunmuştur. Ayrıca kürde bekletilen tüm karışımlardan 7. ve 30. gün kür sürelerinden numuneler alınarak XRD testine tabi tutulmuştur. Çalışmada kullanılan katkı malzemelerinin karşılaştırmalı performans analizi, tartışma ve bulgular bölümünde sunulmuştur. Deneyle için Karabük Üniversitesi Zemin Mekaniğı Labora-

tuvarı ve XRD testi için Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında ilgili cihazlarla çalışma yürütülmüştür.

3.1. MATERYAL

3.1.1. Bentonit

Bir kil türü olan bentonit yumuşak, suda hemen ayrışabilen, el ile dokunulduğunda yağlı bir his uyandıran özelliğe sahiptir. Bentonitin çok küçük kristal yapısının ve temas yüzeyinin büyük olması nedeni ile oldukça yüksek su alıp şişme gücüne sahiptir [27].

Şişme özelliklerine ve iyon değişimlerine göre bentonitler üç ana grupta incelenebilirler [28].

1. Sodyum Bentonit Na-B
2. Sodyum Kalsiyum Bentonit Na-Ca-B
3. Kalsiyum Bentonit Ca-B [28].

Sodyum bentonit diğer bentonitlere kıyasla şişme yüzdesi daha yüksektir [28]. Bu sebeple şişme açısından iyileştirmenin daha net görülebilmesi ve tüm deneyler aynı özellikte malzeme kullanılması amacıyla çoğunluğu sodyum bentonit kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan bentonit, Tokat bölgesinden KarBen Bentonit Endüstriyel Madencilik Kimya Ar-Ge Nano Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Firması tarafından işletilen ocaktan temin edilmiştir. Bu doğal bentonitler deneylere başlamadan önce serbestleştirilerek 40 nolu elek altına geçen bölümü deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bentonite ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1.'deki gibidir. Şekil 3.1 'de kullanılan bentonitin görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Tanım	Sonuç
Elek analizi	%10 (75 mikron)
Ateşde zahiyat	%6,2
Ensilin değeri (45 Dk)	313
Ensilin değeri (24 saat)	876
Nem	9
E	310
SiO ₂	%58
Al ₂ O ₃	%19
Fe ₂ O ₃	%2,5
CaO + MgO	%5,2
K ₂ O	%1,1
Na ₂ O	%1



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan bentonit.

3.1.2. Kum

Bu tez çalışması kapsamında deneylerde dere kumu kullanılmıştır. Elek sarsma cihazı yardımıyla No: 40 elek altında kalan kısım alınarak deney için hazır hale getirilmiştir.

3.1.3. Uçucu Kül

Uçucu kül elektrik enerjisi üreten termik santrallerde üretilmektedir. Termik santrallerde kullanılan taşkömürün ve linyit kömürünün yanması sonucu kül olarak ortaya çıkan kalıntı bir malzemedir [29].

Uçucu küller içerdiği silis, alümin mineralleri ve ince olmaları yönünden zengin bir içeriğe sahiptir. Uçucu kül zemin katkısı olarak kullanıldığında bünyesindeki kalsiyum oksit, silikat ve alüminatın hidrasyona uğramasıyla kuvvetli bağlar oluşturarak zemin danelerini bir arada tutmaktadır [30].

Uçucu kül tipinden bağımsız olarak, uçucu kül içeriği arttıkça kuru birim hacim ağırlığı azalmaktadır. Bu azalım yüksek kül içeriklerinde daha belirgindir [31].

S+A+F toplamının uçucu küllerde çoğunlukla %70 değerinden fazla olduğu görülmektedir. Üretimde kullanılan kömür türüne bağlı olarak bünyelerinde önemli oranda CaO bulduran uçucu küller bulunmaktadır. CaO miktarı %10'un altında olan uçucu küller, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya kalsiyumlu uçucu kül olarak değerlendirilebilir. ASTM-C 618'e göre uçucu küller, silisyum oksit+ demir oksit+alüminyum oksit \geq %70 ise F sınıfı uçucu kül, silisyum oksit+demir oksit+alüminyum oksit \geq %50'nin üzerinde ise C sınıfı uçucu küller olarak sınıflandırılmaktadır [32].

Deneysel Zonguldak Çates Elektrik Üretim A.Ş' den temin edilen F tipi uçucu kül kullanılmış olup kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'deki gibidir. Şekil 3.2' de deneysel çalışmalarda kullanılan F tipi uçucu kül görüntülenmiştir.

Çizelge 3.2. Uçucu kül kimyasal içeriği.

Kimyasal İçerik	% Yüzde İçerik
SiO ₂	%55,9
Al ₂ O ₃	%26,42
Fe ₂ O ₃	%6,705
CaO	%1,544
MgO	%2,299
SO ₃	%0,012
Na ₂ O	%1,153
K ₂ O	%4,237
Cl	%0,10
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	Min %70



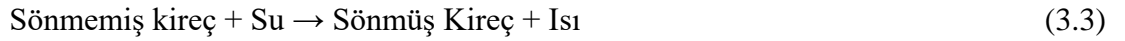
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan uçucu kül.

3.1.4. Kireç

Kireç yüksek miktardaki bağlayıcı özelliğiyle yapı ve zemin stabilizasyonunda kullanılan kimyasal bir malzemedir. Kireçtaşı 900 °C ila 1400 °C’ de pişirilir ve sönmemiş kireç elde edilir. Bu olaya kalsinasyon denir. Süreç aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir [33].



Elde edilen sönmemiş kireç, su ile tepkimeye girerek, toz şeklinde sönmüş kireç oluşturmakta olup kimyasal denklemi aşağıdaki gibidir [33].



Kireç, CH zemin sınıfındaki zeminler için iyi bir iyileştirme katkı malzemesidir [6]. Kireç stabilizasyonu; zeminin mukavemetinin ve şekil değiştirme modülünün artmasını, kabarma potansiyelinin ve şişme basınçlarının azalmasını ve çevre koşulları etkisi altında zeminin özelliklerinin bozulmasının daha sınırlı kalmasını yani dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır. Ayrıca plastisitenin azalmasına yol açtığı için arazi çalışma koşullarının iyileşmesi sonucunu doğurmaktadır [34].

Kil içeren zeminlere kireç katkısı maddesi eklenmesi durumunda Şekil 3.3' de görüldüğü üzere serbest basınç dayanımında belirgin bir artış gözlemlenmiştir [35].

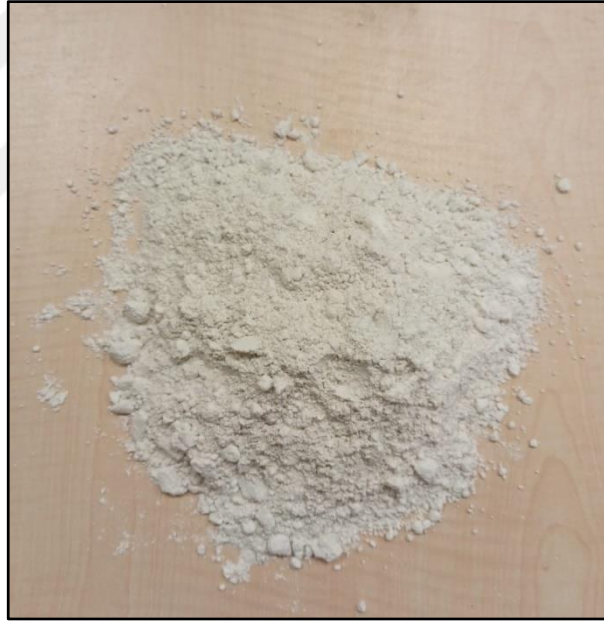


Şekil 3.3. Kirecin farklı zemin sınıflarındaki etkisi [35].

Deneyleerde Bartın İli Kimtaş fabrikasından temin edilen kireç (şekil 3.3) kullanılmış olup kimyasal özellikleri Çizelge 3.3' deki gibidir. şekil 3.4' de kullanılan kireç görüntülenmiştir.

Çizelge 3.3. Kireç kimyasal özellikleri.

Kimyasal İçerik	% Yüzde İçerik
Ca(OH) ₂	%85
Nem	%1,30
MgO	%2,50
R ₂ O ₃ (Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)	%0,45
SiO ₂ + AÇM	%1,05
SO ₃	%1,05



şekil 3.4. Çalışmada kullanılan kireç.

3.1.5. Kalsiyum Karbit Atığı

Kalsiyum karbit atığı, esas olarak kalsiyum hidroksit, Ca(OH)₂ içeren asetilen üretim işleminin bir yan ürünüdür. Kalsiyum karbürün suyla tepkimeye girerek asetileni ve kalsiyum hidroksit (kalsiyum karbit atığı) oluşturur. Endüstriyel kalitede kalsiyum karbür, hammaddede yaklaşık %80 CaC₂, %15 CaO ve %5 diğer yabancı kimyasal

maddeleri içermektedir. Yüksek sıcaklıkta sıvı halde oluşan kalsiyum karbit atığı, daha sonra soğumaya ve katılaşmaya sürecine tabi tutulur.



Kil zeminlerin iyileştirilmesinde kalsiyum hidroksitçe zengin malzemeler (çimento, kireç vb.) etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Kalsiyum hidroksitin çözünmesiyle boşluk suyundaki pH değerini arttırarak güçlü bazların kil mineral yapısındaki silis ve alüminayı çözdüğünü belirtmiştir [15]. Herrin ve Mitchell göre hidrate silika ve alümina, kalsiyum ile yavaş yavaş reaksiyona girer ve zamanla katılaşmaya yol açan puzolanik reaksiyonlar gerçekleşir [36].

Asetilen sanayinin gelişmesiyle ve gündün güne talebin artmasıyla kalsiyum karbit atığı çok fazla miktarda oluşmaktadır. Bir tesiste günde tonlarca atık ortaya çıkmaktadır. Depolaması ve taşınmasının yüksek maliyetli olması nedeniyle alternatif bir katkı malzemesi olarak kullanılması çalışmanın önemini artırmaktadır.

Deneylerde asetilen sanayinden geriye kalan atık bir malzeme olan kalsiyum karbit atığı Şekil 3.5 kullanılmış olup kimyasal özellikleri Çizelge 3.4' deki gibidir.

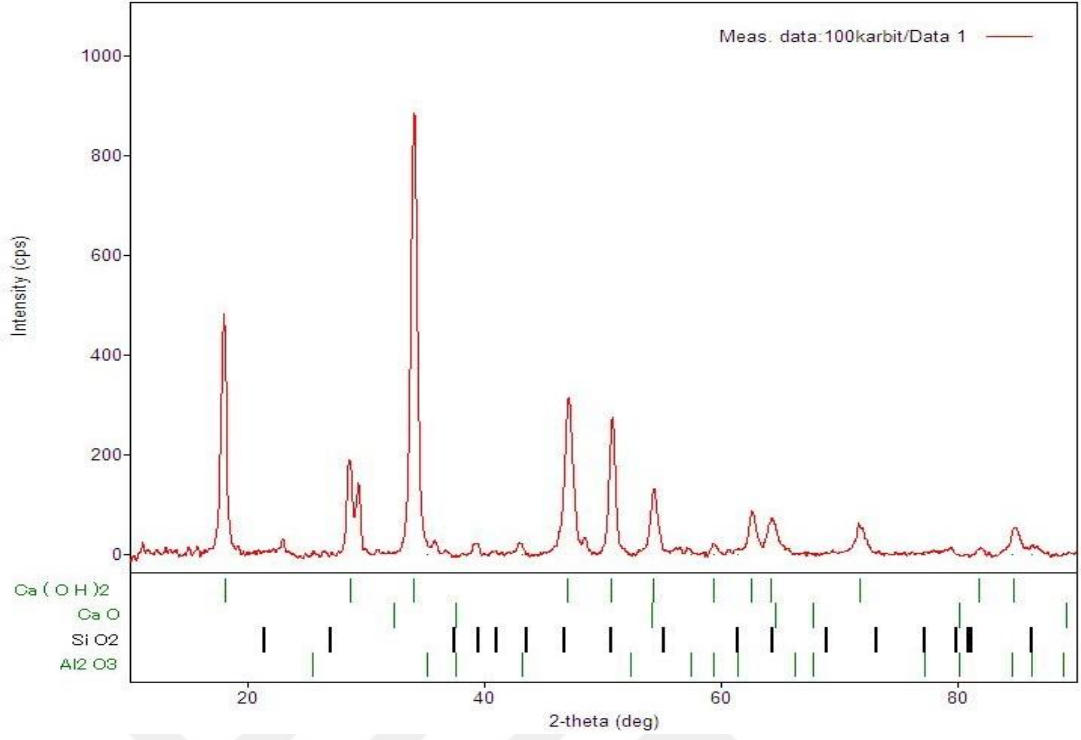


Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan kalsiyum karbit atığı.

Çizelge 3.4 Kalsiyum karbit atığının kimyasal içeriği.

Kimyasal İçerik	% Yüzde
CaO	70,78
SiO ₂	6,49
Al ₂ O ₃	2,55
Fe ₂ O ₃	3,25
MgO	0,69
SO ₃	0,66
K ₂ O	7,93

Deneylerde kullanılan malzemenin XRD analizleride yapılmış olup grafiği Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. Kalsiyum karbit atığının xrd görüntüsü.

3.2. METOD

3.2.1. Numune Hazırlama

Bentonit–kum kütlece %75-%25 oranlarında No:40 elek altından alınıp etüvde kurularak hazırlanmıştır. Hazırlanan bentonit-kum karışımına ağırlıkça %5, 10, 15 oranlarında uçucu kül, kireç ve kalsiyum karbit atığı eklenerek, optimum su içeriği değerlerini elde etmek için kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneyinden elde edilen optimum su içeriklerinde numuneler hazırlanıp küre tabi tutulmuştur. Hazırlanan numunelere 1, 7, 14, 21, 28 gün süreyle kür uygulanmıştır. Numuneler saklanma koşulları, çeşitli dış faktörlerin deney sonuçlarını etkilememesi için büyük önem arz etmekte olup hava geçirmeyen kapalı ortamda muhafaza edilmiştir. Karışım oranları ve deney programı Çizelge 3.5’ de bahsedilmiştir. Çalışmanın başlangıç ve sonuna kadar olan akış diyagramı Şekil 3.7 ‘de anlatılmıştır.

Çizelge 3.5. Yapılan deneysel çalışmalar.

Malzeme Katkı Miktarları	Kompaksiyon Deneyi		Kıvam Limit Deneyleri		
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kireç katkılı zemin	*		*		
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda uçucu kül katkılı zemin	*		*		
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kalsiyum karbit atığı katkılı zemin	*		*		
Yapılması planlanan deneyler	Kür süresi				
	1.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
Şişme Basıncı Deneyleri					
Doğal zemin	*				
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kireç katkılı zemin	*	*	*	*	*
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda uçucu kül katkılı zemin	*	*	*	*	*
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kalsiyum karbit atığı katkılı zemin	*	*	*	*	*
Serbest basınç Deneyleri					
Doğal zemin	*				
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kireç katkılı zemin	*	*	*	*	*
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda uçucu kül katkılı zemin	*	*	*	*	*
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kalsiyum karbit atığı katkılı zemin	*	*	*	*	*
Kesme Kutusu Deneyleri					
Doğal Zemin	*				
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kireç katkılı zemin	*	*	*	*	*
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda uçucu kül katkılı zemin	*	*	*	*	*
%5, %10 ve %15 Kil boyutunda kalsiyum karbit atığı katkılı zemin	*	*	*	*	*



Şekil 3.7. Çalışma akış diyagramı.

3.2.1. Tanımlama Deneyleri

3.2.1.1. Likit Limit Deneyi

Ham numunenin ve karışımların likit limit deneyi koni batma deneyi ile gerçekleştirilmiştir. TS 1900-1 standardına uygun olarak deneyler yapılmıştır. Koni batma miktarının 20 mm'ye ulaştığındaki su muhtevası oranına likit limit olarak tarif edilmektedir. [37].

3.2.1.2. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit deneyinde amaç; zeminlerin plastik kıvamda yani kopmadan şekil alabildiği en düşük su muhtevasının belirlenmesidir. Elle yuvarlama metodu ile plastik limit belirlenmiş ve TS 1900-1 standardına göre deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Plastik limit zeminin 3mm çapında 10 cm uzunluğunda silindir demir parçasına eődeęer duruma kırılma olmadan geldiğinde andaki su muhtevası olarak tarif edilmektedir [37].

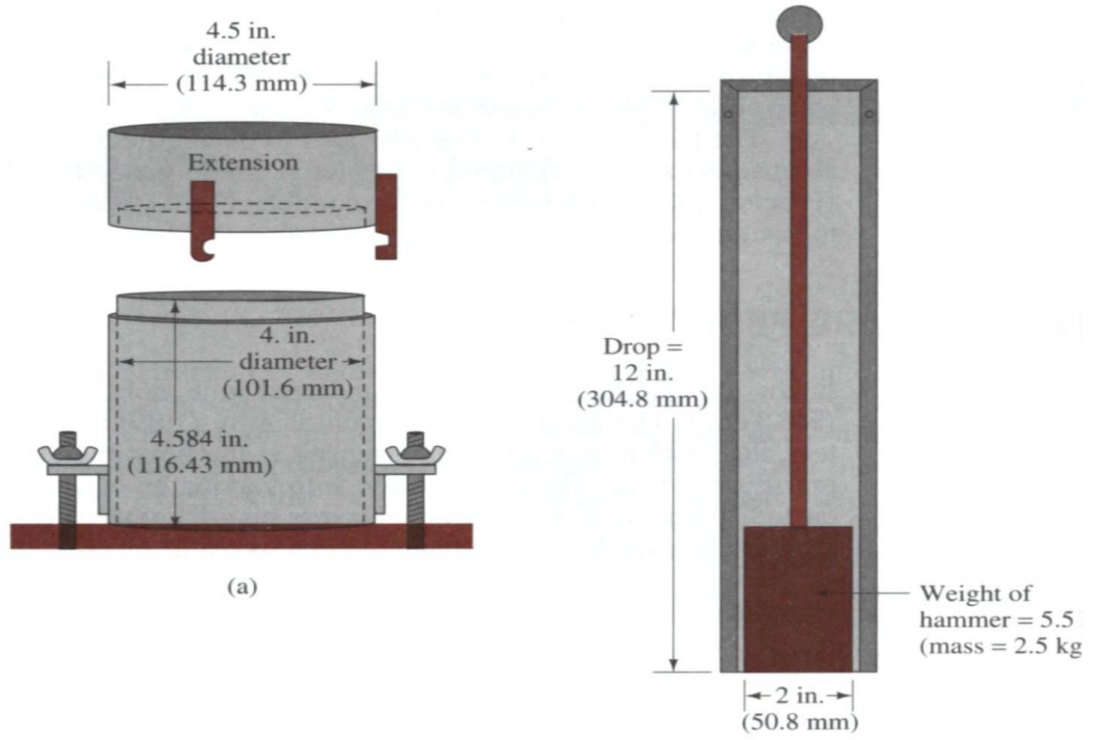
3.2.1.3. Standart Proctor Deneyi

Standart proctor deneyi ile TS 1900-1 standardına göre deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deney kurutulmuőt zemin numunelerine su ilavesi yapılarak karıőtım kabına alındıktan sonra  katman halinde sıkıőtırılma iőtlemine tabi tutulur. Zemin numuneleri karıőtım kabına her katmana karıőtımın 1/3  kadar ilave edildikten sonra her tabakaya 25 defa standart tokmak ile sıkıştırma iőtlemi yapılır. Daha sonra numuneler etüvde kurutulur ve içerdiği su muhtevası oranına göre maksimum kuru hacim ağırlığı belirlenir. Bu iőtlem farklı su muhtevası oranlarında tekrarlanarak optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlendikten sonra deney sonlandırılır [37]. Şekil 3.8' de alıőtma kapsamında kullanılan kompaksiyon deney aleti görüntülenmiştir.



Şekil 3.8. Kompaksiyon deney ekipmanları.

Laboratuvarda kullanılan deney ekipmanları ve Şematik görüntüsü Şekil 3.8 ve Şekil 3.9' da belirtilmiştir.



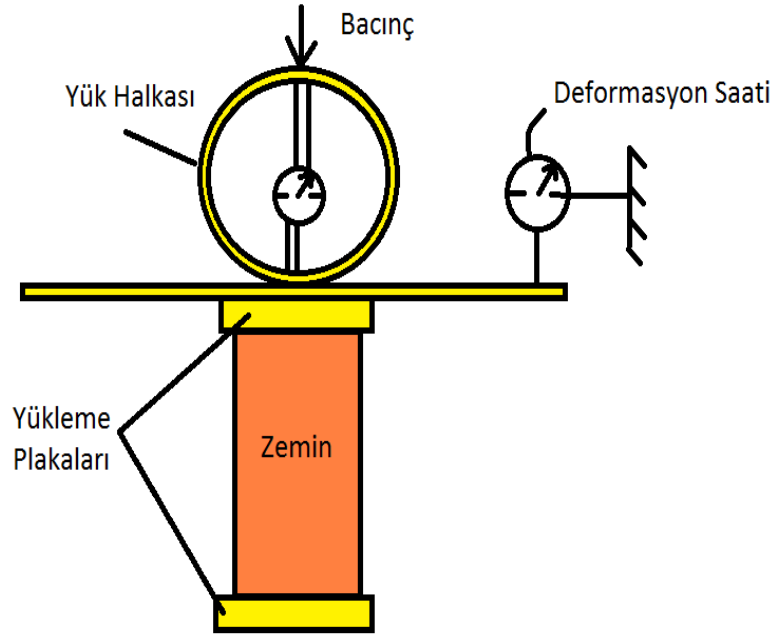
Şekil 3.9. Standart proctor deneyi şematik görüntüsü.

3.2.1.4. Serbest Basınç Deneyi

Çalışmamızda serbest basınç deneyi ASTM D 2166-00 (2000) standardına göre yapılmıştır. Deney kapsamında silindirik ince taneli zemin numunelerine sadece düşey doğrultuda yükleme yapılmaktadır. Kırılma anında oluşan maksimum aksenal gerilme serbest basınç dayanımı olarak tarif edilmektedir [38].

Zemin numunesi Yükseklik/Çap oranı 2 olacak şekilde hazırlanır. Zemin numuneleri deney cihazına yerleştirildikten sonra yükleme hızı 1mm/dk olarak deney başlanır. Kırılmalar gözlemlendikten sonra gerilme-deformasyon eğrisi elde edilir ve deney sonlandırılır. Şekil 3.10' da serbest basınç deneyinin şematik görüntüsü belirtilmiştir.

Kalsiyum karbit atığı, uçucu kül ve kireç belirlenen oranlarda serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışma sayısı Çizelge 3.6' da belirtilmiştir.

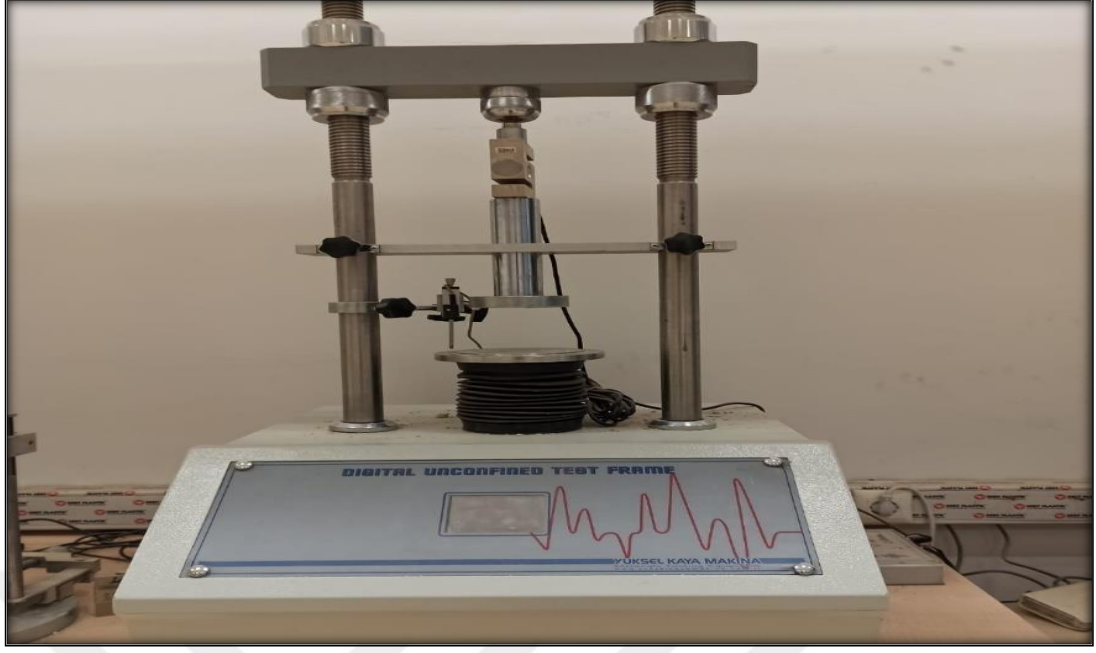


Şekil 3.10. Serbest basınç deneyi şematik görüntüsü.

Çizelge 3.6 Serbest basınç deneyinde yapılan deney sayıları.

Katkı oranları	1.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Toplam
KKAK: %5 UKK: %5 KK: %5	3	3	3	3	3	15
KKA:%10 UKK:%10 KK: %10	3	3	3	3	3	15
KKAK:%15 UKK:%15 KK: %15	3	3	3	3	3	15
Toplam numune adedi						45

Tez çalışması kapsamında serbest basınç deneyleri Şekil 3.11’ de görülen cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 3.11. Serbest basınç deney ekipmanı.

Karabük Üniversitesi Geoteknik Anabilimdalı Laboratuvarında bulunan ve çalışmada zemin numuneleri kalıptan çıkarmak için kullanılan numune çıkarıcı Şekil 3.12' de belirtilmiştir.



Şekil 3.12. Numune çıkarıcı.

3.2.1.5. Kesme Kutusu Deneyi

Deneysel çalışmalarda ASTM D 5321-08 standardına göre kesme kutusu deneyi gerçekleştirilmiştir. Kayma direnci zemine uygulanan deplasmanlar altında zemin danelerinin birbirlerine göre rölatif hareketlerine karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanır. Optimum su muhtevasında hazırlanan zemin numuneleri 6*6 cm hücreye yerleştirilir. Zemin numunesine düşey ve yatay yük uygulanır. Zemin numunesinin yaptığı deformasyonlar belirli aralıklarla kaydedilir. Numuneye yatay kuvvet etkilediği halde kuvvet halkasında yük değerinde artış görülmezse ya da azalma meydana gelirse numune kesilir ve deney sonlandırılır [39].

Çalışmamızda kesme kutusu deneyi için yapılan deney sayıları Çizelge 3.7' de belirtilmiştir.

Çizelge 3.7. Serbest basınç deneyinde yapılan deney sayıları.

Katkı oranları	1.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Toplam
KKAK:%5 UÇK: %5 KK: %5	3	3	3	3	3	15
KKAK:%10 UÇK:10 KK:%10	3	3	3	3	3	15
KKAK:%15 UÇK:%15 KK: %15	3	3	3	3	3	15
Toplam numune adedi						45

Karabük Üniversitesi Geoteknik Anabilimdalı Laboratuvarında çalışmada kullanılan kesme kutusu deney ekipmanı Şekil 3.13' de belirtilmiştir.

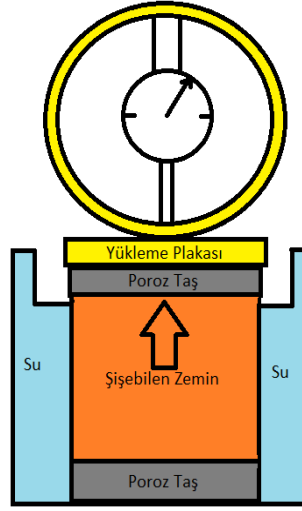


Şekil 3.13. Kesme kutusu deney ekipmanı.

3.2.1.6. Şişme Basıncı Deneyi

Yapılarda meydana gelen deformasyonlar genellikle zeminlerin hareketleri sonucu oluşmaktadır. Zeminlerin şişme potansiyeli ile yapılarda deformasyonlar meydana gelmektedir. Farklı özellikteki zeminler değişik şişme basıncı ve şişme yüzdesi değerlerine sahiptirler. Şişme basıncı, kil üzerine etkiyen yapı yükünü aşarsa, zeminde oluşacak hacimsel değişiklikler önemli temel sorunları oluşturmaktadır. Bu sebeple, üzerine inşaat yapılacak zeminin şişme karakteristiklerinin, arazi ve laboratuvar deneyler ile saptanması önemli bir parametredir [40].

Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarında bulunan şişme basıncı deney seti çalışma kapsamında kullanılmıştır. ASTM D 4546 standardına göre şişme basıncı deneyleri gerçekleştirilmiştir [41]. Hazırlanan numuneler yüksekliği 20 mm, çapı ise 50 mm olan numune kabına yerleştirilir. Numune kabının her iki yüzeyine poroz taş yerleştirilir ve sabitlenir. Sabitlenen numune kalıbının üzerine sırasıyla yükleme plakası ve yük hücresi yerleştirilir. Su konulduktan sonra 7 gün süresince her saat başı basınç okumaları bilgisayara aktarılır. 7.gün sonun en son basınç okuma değerleri alınır ve şişme basınç grafiği çizilir. Düzeneğin şematik görüntüsü Şekil 3.14' de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Şişme basıncı deney düzeneği.

Şişme basıncı deneyinde yapılan katkı oranlarının kür süresince deney sayısı Çizelge 3.8' de belirtilmiştir. Karabük Üniversitesi Geoteknik Anabilimdalı Laboratuvarında çalışmada kullanılan şişme basıncı deney ekipmanı Şekil 3.15' de görüntülenmiştir.

Çizelge 3.8. Şişme basıncı deneyinde yapılan deneylerin sayısı.

Katkı oranları	1.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Toplam
KKAK:%5 UKK: %5KK: %5	3	3	3	3	3	15
KKAK:%10 UKK:%10:%10 KK:%5	3	3	3	3	3	15
KKAK:%15 UKK: %15 KK:%15	3	3	3	3	3	15
Toplam numune adedi						45



Şekil 3.15. Şişme basıncı deney seti.

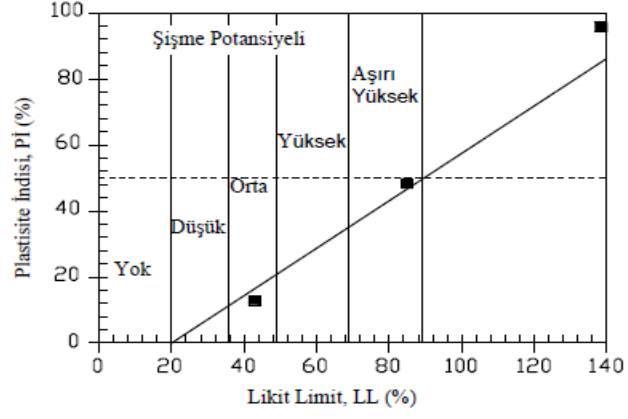
Şişme basıncı deneyleri laboratuvarında aynı özellikte dört hücreden şişme basınç değerleri alınmıştır. Cihaz anlık şişme basıncı değerleri yük hücresinden yazılım ile bilgisayara aktarmaktadır. Şişebilen bir zeminin içerdiği su oranının artmasıyla hacimdeki değişikliğe engelleyen basınç şişme basıncı olarak tarif edilir. Şişme basınç değerleri bu prosedüre göre bulunmuştur.

Plastisite indisinin zeminlerin şişme potansiyeline belirlemede önemli bir parametre olduğu birçok araştırmada yer almaktadır. Çizelge 3.9' da plastisite indisinin farklı aralıklardaki durumuna zeminlerin şişme potansiyeli tahmini belirlenmektedir [42].

Çizelge 3.9. Plastisite indisine göre şişme potansiyeli tahmini.

Plastisite İndisi	Şişme Potansiyeli
0-15	Düşük
10-35	Orta
20-35	Yüksek
>35	Çok Yüksek

Zeminlerin şişme potansiyelini belirlemede likit limit ve plastisite indisine bağlı olarak Şekil 3.16' da yer alan sınıflandırma kartı geliştirilmiştir [43].



Şekil 3.16. Şişme potansiyeli sınıflandırma kartı [43].

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan katkı malzemelerinin zeminlerin geoteknik özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. İlk olarak %75-%25 kil-kum karışımına her bir katkı malzemesi için ayrı ayrı olmak üzere %5,10,15 oranlarında katılan kalsiyum karbit atığı, uçucu kül ve kirecin kıvam limitlerine olan etkisinin deneysel bulguları belirtilmiştir. Ayrıca kil-kum karışımına katılan malzemelerin her bir oran için optimum su muhtevası verileri gösterilmiştir. Karışımların 1, 7, 14, 21, 28. gün kür sürelerinde serbest basınç deneyi, kesme kutusu deneyi ve şişme deneyleri yapılarak her çalışmanın sonuçları verilmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca kürlenmeye bırakılan her bir karışımın 7.ve 30.gününden numuneler alınarak X ışını kırınımı (XRD) testi yapılmıştır. XRD görüntülerinin yorumlanması ve değerlendirilmesi bu bölüm başlığı altında sunulmuştur.

4.1. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

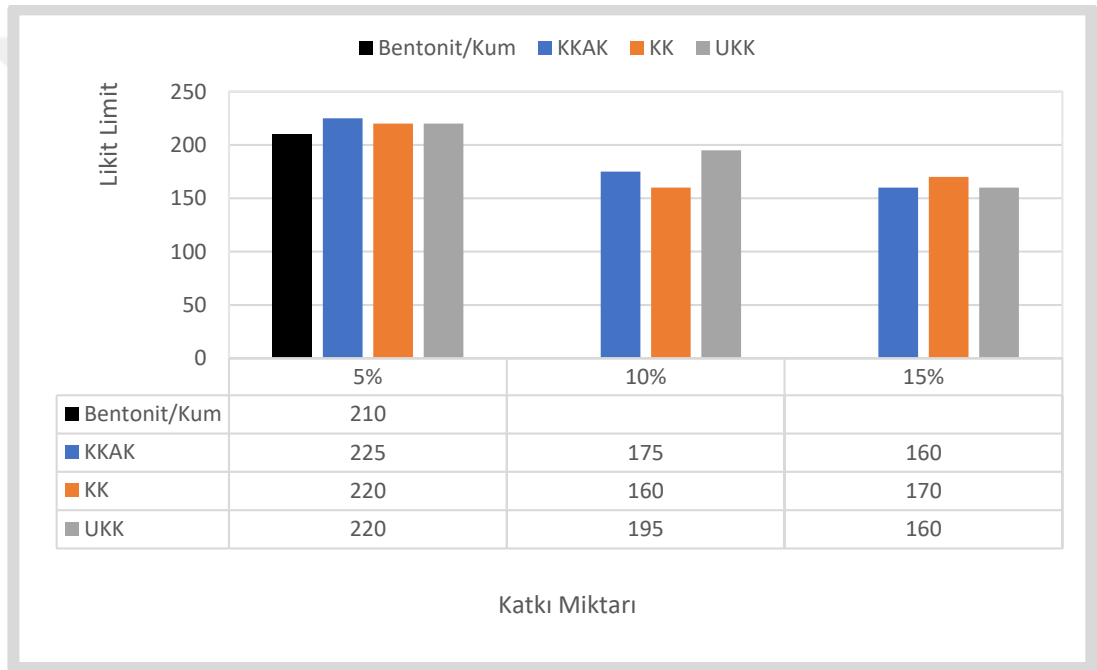
4.1.1. Kıvam Limit Değerleri

Likit Limit ve Plastik Limit zeminlerin şişme potansiyelini belirlemede önemli unsurlardır. Likit limit değerini belirlemede koni batma deney seti, plastik limit değerini belirlemede ise elle yuvarlama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmamızda metod kısmında belirtildiği üzere belirlenen her bir karışımın plastik limit ve likit limit değerleri bulunmuştur. Saf bentonitin ve %75-%25 Bentonit -Kum karışımının yapılan deneysel çalışmalar sonucunda belirlenen likit limit değeri ve plastik limit değeri Çizelge 4.1' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Bentonit ve bentonit/kum karışımının kıvam limit değerleri.

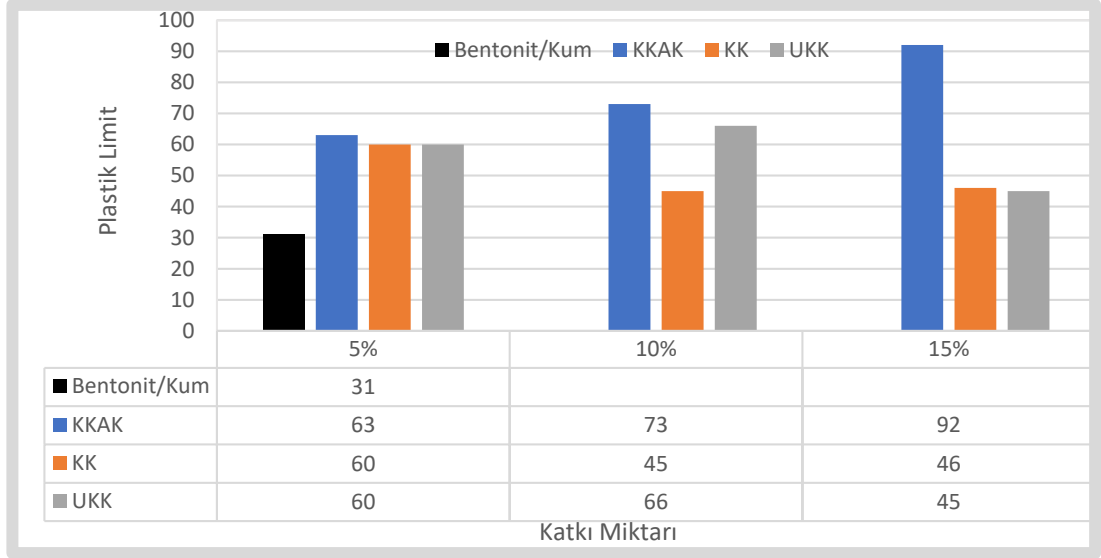
Malzeme	W _L	W _P	I _p
Bentonit	300	47	253
%75-%25 Bentonit -Kum	210	31	179

Kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül karışımlarının likit limiti üzerine etkisi Şekil 4.1’de belirtildiği gibi olup grafik incelendiğinde katkı miktarının artmasıyla birlikte genel anlamda likit değerinde azalmanın söz konusu olduğu görülmektedir.



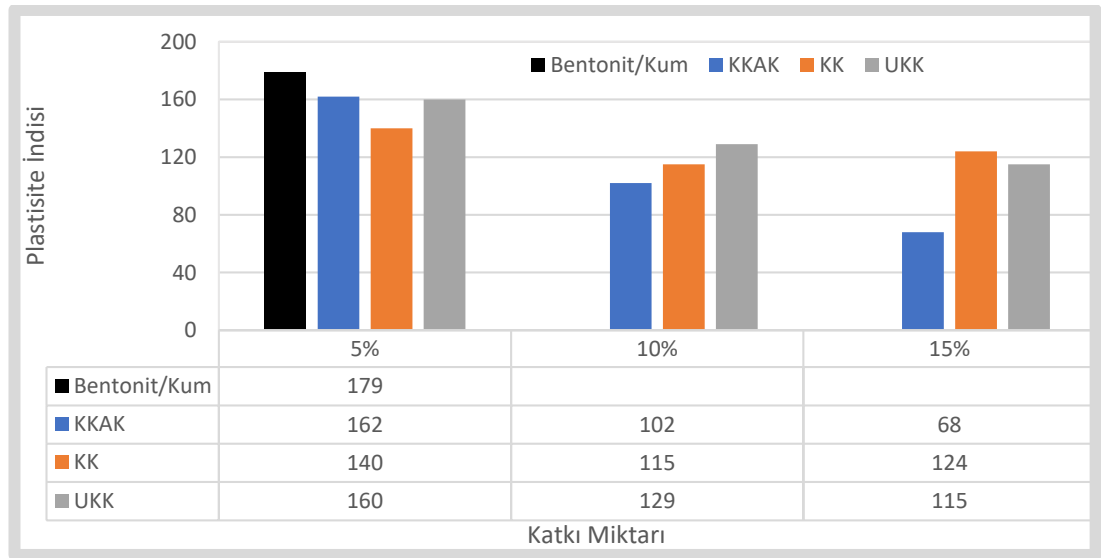
Şekil 4.1. Katkı malzemelerinin likit limit değerine etkisi.

Kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül karışımlarının plastik limitine olan etkisi ise Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir. Şekilde de görüldüğü üzere kalsiyum karbit atığı oranının artmasıyla plastik limit değerinde bir artış olduğu sonucuna varılmıştır. Uçucu kül miktarının artmasıyla plastik limit artmış %15 katkı oranında azalım göstermiştir. Kireç katkısı kendi oranları içerisinde incelendiğinde %5 oranında en iyi sonucu verdiği saptanmıştır.



Şekil 4.2. Katkı malzemelerinin plastik limit değerine etkisi.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde katkı malzemelerinin plastisite indisine etkisi de değerlendirilmiştir (Şekil 4.3 ve Çizelge 4.2). Şekil 4.3 ve Çizelge 4.2 incelediğinde katkı miktarının artmasıyla plastisite indisinde bir azalış olduğu sonucuna varılmıştır. Kalsiyum karbit atığı oranının artmasıyla plastisite indisinin azaldığı söylenebilmektedir. Kalsiyum karbit atığının plastisite indisine etkisini yüzdece ifade etmek gerekirse %5 katkısıyla %10, %10 katkısıyla %43, %15 katkısıyla %62 oranında plastisite indisini azalttığı saptanmıştır. Plastisite indeksindeki bu azalışla birlikte karışım zeminin suya hassasiyeti azalarak işlenebilirliği artırmış olacaktır.



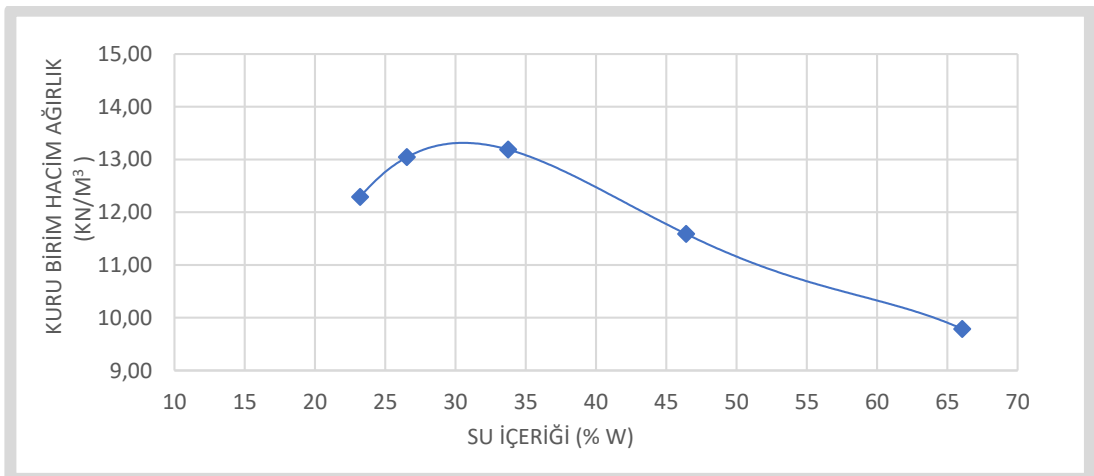
Şekil 4.3. Katkı malzemelerinin plastisite indisine etkisi.

Çizelge 4.2. Katkı malzemelerinin plastisite indisine etkisi.

Karışımlar	W _L	W _P	PI
Bentonit	300	47	253
%75Bentonit-%25Kum	210	31	179
%5 KKA	225	63	162
%10 KKA	175	73	102
%15 KKA	160	92	68
%5 KK	220	60	140
%10 KK	160	45	115
%15 KK	170	46	124
%5 UKK	220	60	160
%10 UKK	195	66	129
%15 UKK	160	45	115

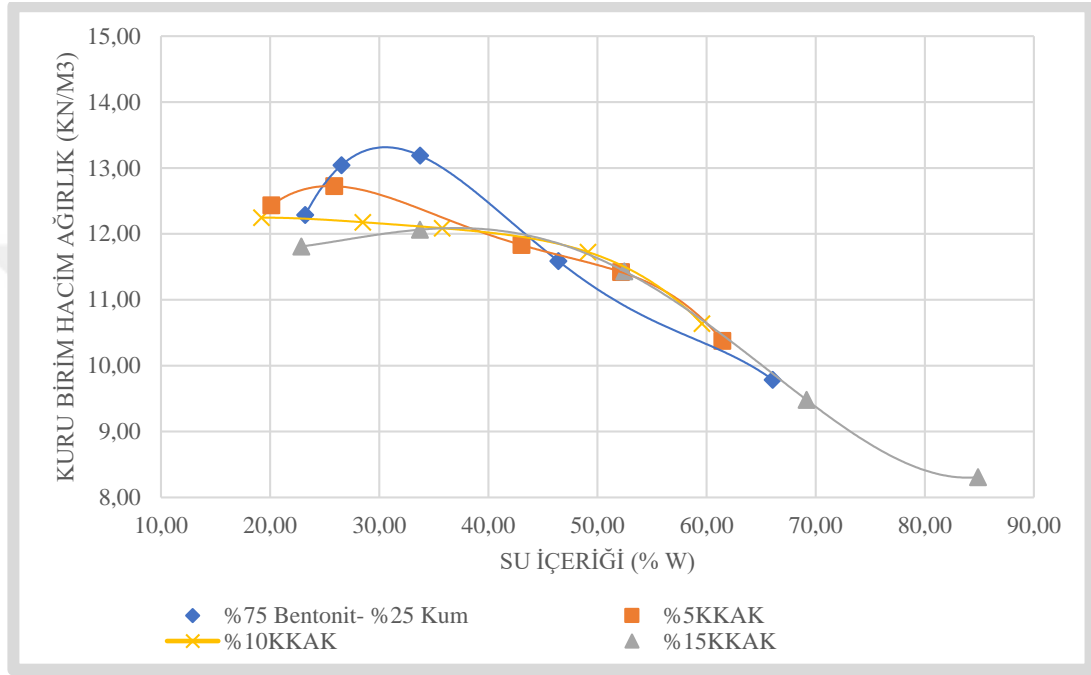
4.1.2. Standart Proktor Deneyi Değerleri

Deneilerin aynı su içeriği ve sıkışıklıkla yapılması oldukça önemli bir unsurdur. Bu nedenle başta ham numune olmak üzere tüm karışımların optimum su içerikleri ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiş ve tüm karışımlar için hazırlanan numuneler bu parametreler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu kapsamda deneylerde kullanılacak bentonit/kum karışımının kompaksiyon deneyleri yapılmış olup %75-%25 bentonit-kum karışımının kuru birim hacim ağırlık 13,2 kN/m³ ve optimum su içeriği %32 olarak bulunmuştur (Şekil 4.4).



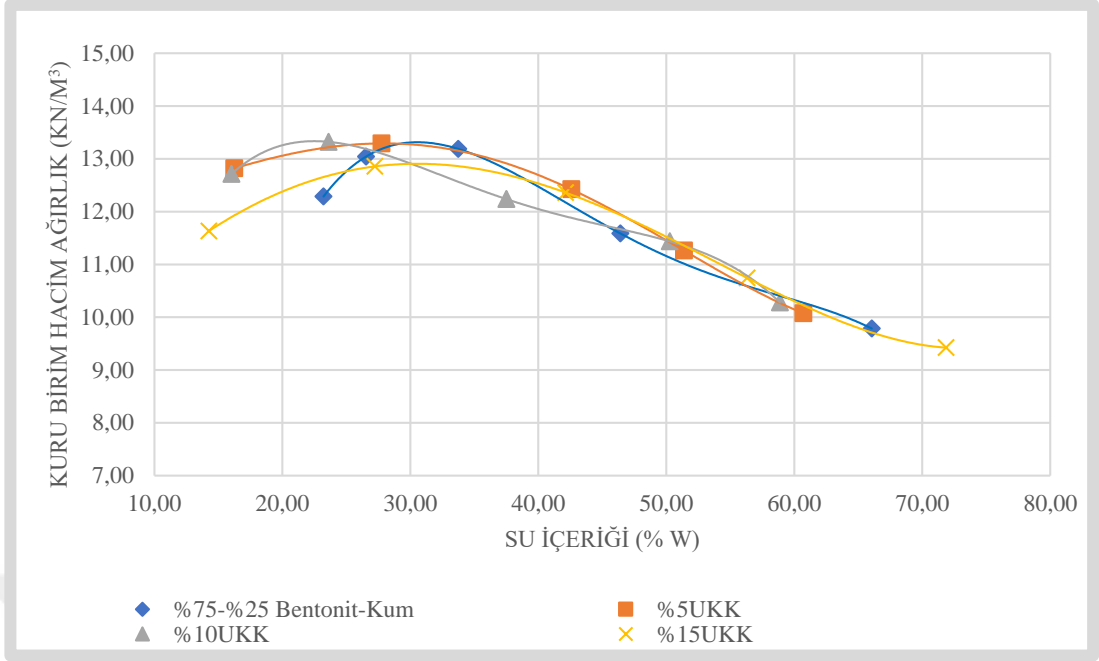
Şekil 4.4. Bentonit/Kum kompaksiyon sonucu.

Ayrıca saf karışım numunesine katılan her bir katkının kompaksiyon parametrelerindeki değişiklikler belirlenmiş ve elde edilen değerler ile numuneler hazırlanmıştır. Buna göre, karışımda kalsiyum karbit atık miktarı oranının artması, optimum su içeriğinde artış kuru birim hacim ağırlığında ise azalmalara neden olmaktadır (Şekil 4.5).



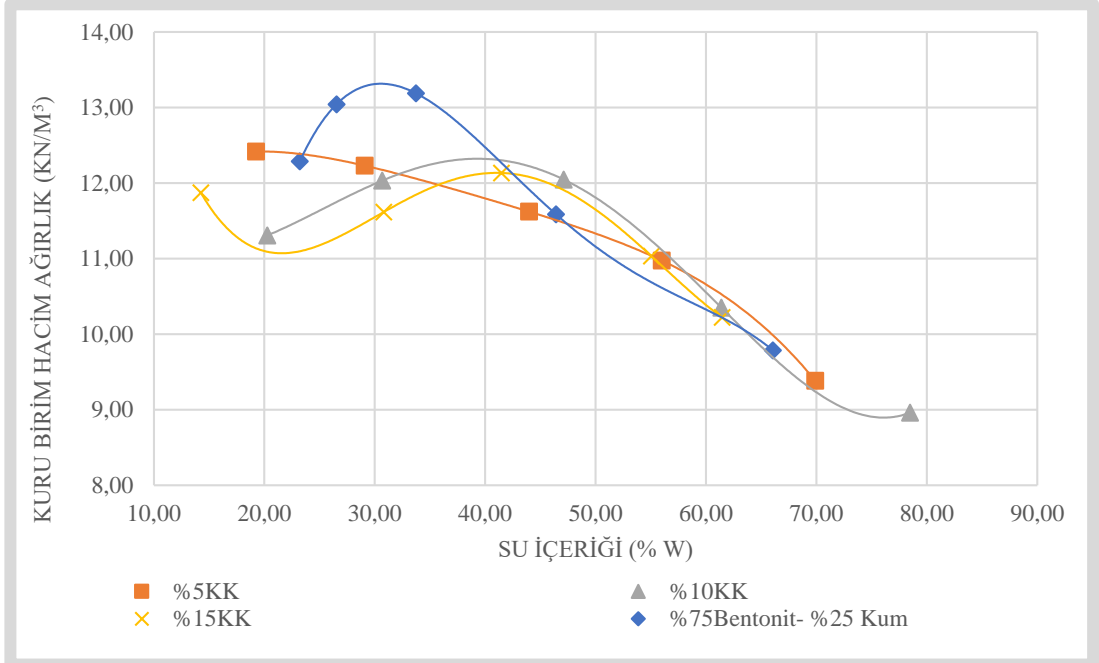
Şekil 4.5. KKKAK kompaksiyon sonucu.

Tez kapsamında bir diğer katkı malzemesi olarak kullanılan uçucu külün karışım oranlarının su içerikleri Şekil 4.6' da belirtilmiştir. Karışımda uçucu kül miktarı oranının artması, optimum su içeriğinde artış kuru birim hacim ağırlığında ise azalmalara neden olmaktadır.



Şekil 4.6. UKK kompaksiyon sonucu.

Kireç katkı oranlarının su içerikleri Şekil 4.7' de belirtilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere kireç katkılı zeminlerde su içeriğinin arttığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığın ise azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.7. KK kompaksiyon sonucu.

Standart proctor deneyini sonucunda karışımların optimum su içerikleri belirlenmiş Çizelge 4.3’ de gösterilmiştir.

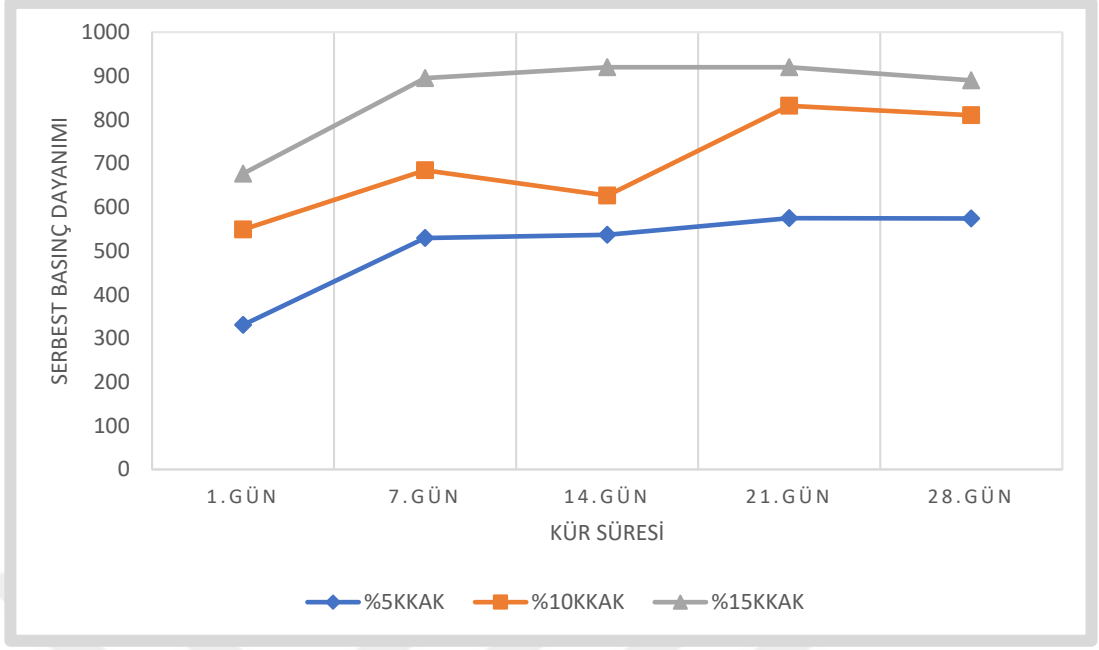
Çizelge 4.3. Karışımların optimum su içeriği değerleri.

Wopt			
Katkı Maddeleri	%5 Katkılı	%10 Katkılı	%15 Katkılı
Kalsiyum karbit atığı	%27	%30	%36
Kireç	%24	%33	%38
Uçucu kül	%26	%26	%32

4.1.3. Serbest Basınç Deneyi Değerleri

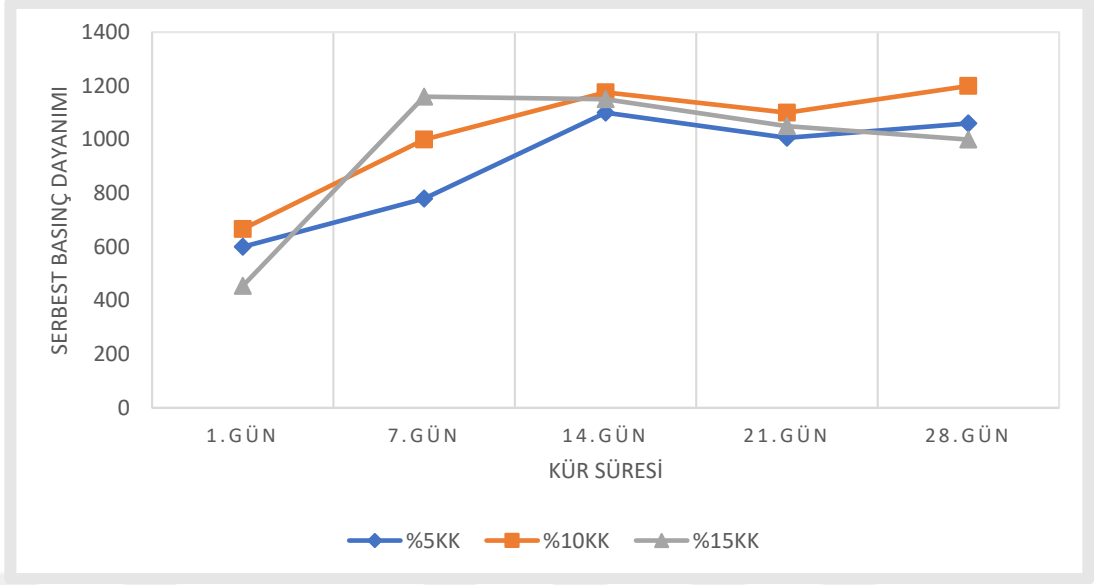
Katkı malzemelerinin serbest basınç dayanımına etkisinin belirlenmesi için tez çalışması kapsamında serbest basınç deneyi yapılmıştır. %75-%25 Bentonit-Kum karışımının deney sonucunda serbest basınç değeri 253,36 kN/m² olarak bulunmuştur.

Kalsiyum karbit atığının kür süresince serbest dayanımdaki değişimi Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, tüm karışım oranlarında 7 günlük kür süresine kadar serbest basınç dayanımında önemli bir artış, ancak 7. günden sonra serbest basınç dayanımın kür süresine bağlı olarak bariz bir artıştan ziyade sabit bir eğilim göstermekte olduğu değerlendirilmektedir. %10 kalsiyum karbit atığı katkılı zeminin dayanımında 14. gün den sonra tekrar bir artış gözlenmiştir. Şekil 4.8’ den görüleceği üzere kalsiyum karbit atığı miktarının artışı zemin dayanımını artırıcı bir unsur olmuştur. Genel bir değerlendirme ile kalsiyum karbit atığının zeminin serbest basınç dayanımını yüksek seviyeye çıkardığı değerlendirilmekte olup kür süresinin 7.günden sonra dayanımda ciddi bir değişiklik oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



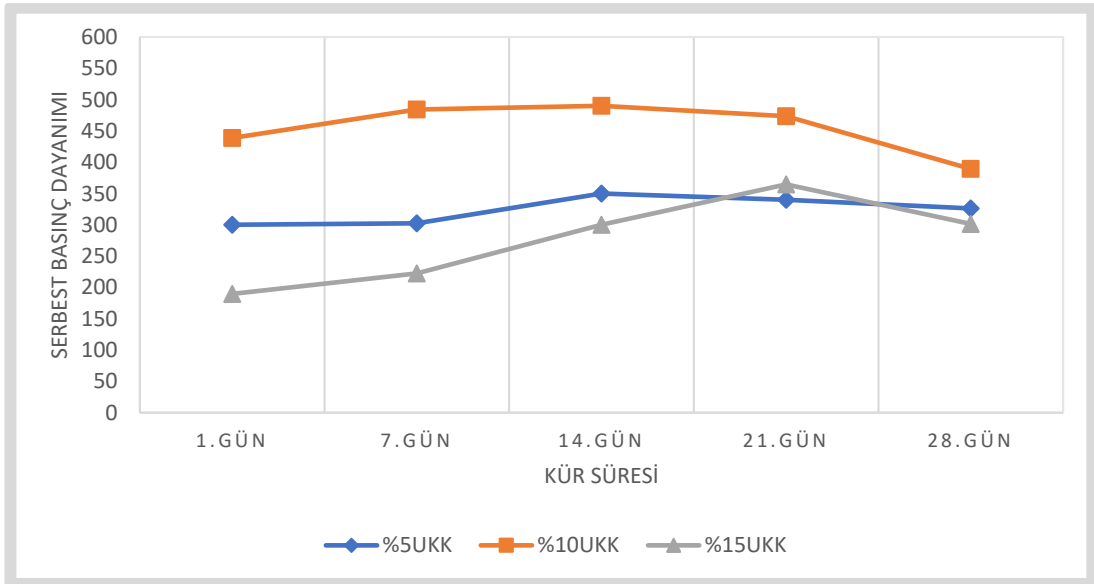
Şekil 4.8. KAK oranı ve kür süresinin serbest basınç dayanımına etkisi.

Kireç katkılı zeminin kür süresince serbest dayanımdaki değişim Şekil 4.9' da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde %5, %10 ve %15 kireç katkılı karışımda 7 günlük kür süresine kadar serbest basınç dayanımında önemli bir artış gözlenmiştir. Bu artış %5 ve %10 karışımlarında 14. güne kadar devam etmiş sonrasında sabitlenirken %15 kireç karışımında 7. gün sonrasında sabit bir eğilim olduğu görülmüştür. Ayrıca %10 kireç katkılı zeminin serbest basınç dayanımını 28. gün kür süresi baz alındığında en yüksek seviyede olduğu gözlenmiştir. Peethamparan 2006'ya göre zemin kireç tepki mekanizması için literatürde tam bir birliktelik olmasa da katyon değişimi (başta Ca^{2+} olmak üzere mevcut olan çeşitli katyonların değişimi) ile oluşan flolükasyon, aglomerasyon mevcut olan reaksiyon ve karbonatlaşma şeklinde özetlenecek bir fikir birliği vardır [44].



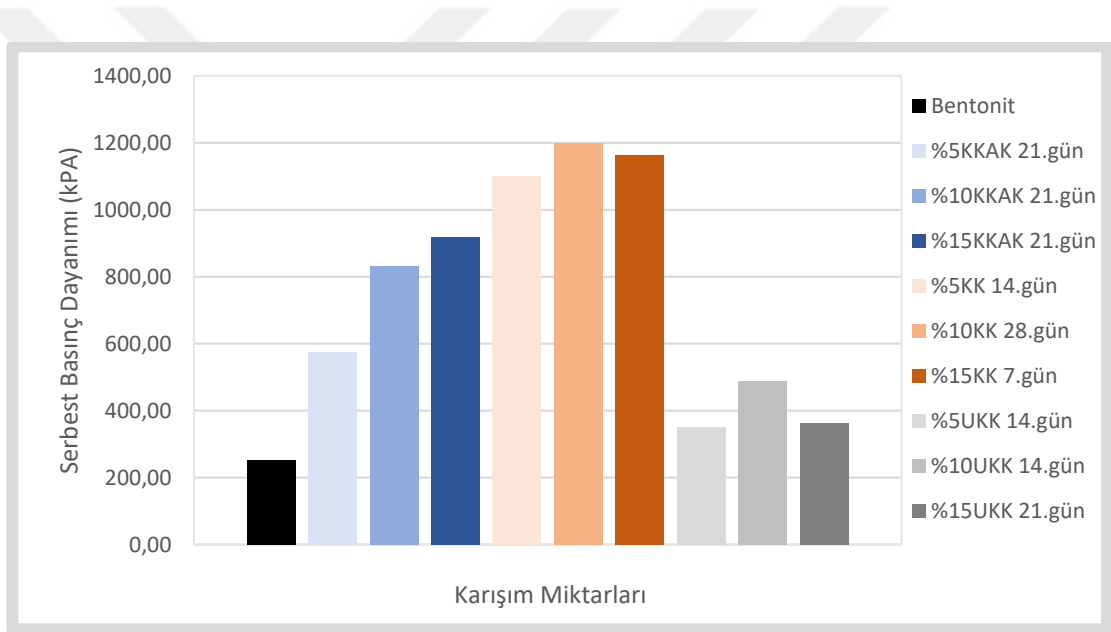
Şekil 4.9 KK oranı ve kür süresinin serbest basınç dayanımına etkisi.

Uçucu kül katkıli zeminin kür süresince serbest dayanımdaki değişim Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Buna göre, en yüksek dayanım %10 uçucu kül katkıli zeminde gözlenmekte olup kürlenmenin dayanıma etkisi en fazla %15 karışımında olmuştur. Grafik incelendiğinde görüleceği üzere %5 ve %15 uçucu kül katkıli zeminlerin 28. gün dayanımlarının hemen hemen aynı seviyeye erişmiştir.



Şekil 4.10. UKK oranı ve kür süresinin serbest basınç dayanımına etkisi.

Her bir karışım miktarının kür süresindeki en yüksek serbest basınç dayanımı Şekil 4.11’ de belirtilmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde serbest basınç dayanımındaki en fazla artışın kireç katkısıyla gerçekleştiği, kalsiyum karbit atığının ise önemsenecek miktarda dayanımı artırdığı görülebilmektedir. Kalsiyum karbit atığı miktarındaki artış ile dayanım artarken, kireç miktarını %10 dan fazla olması durumunda dayanımda azalma gözlenmektedir. Şekil 4.11 den görüleceği üzere dayanımdaki maksimum artış %10 kireç katkısıyla sağlanırken uçucu kül ise diğer katkı malzemelerine oranla daha az bir dayanım artışı sağlamıştır. Kürlemenin etkisine bakacak olursak genel anlamda kür süresinin 7.günde dayanımı önemli ölçüde artırdığı ancak sonrasında dayanıma etkin bir artış sağlamadığı değerlendirilmektedir.



Şekil 4.11. Kür süresince karışım oranlarının maksimum serbest basınç dayanımının değerleri.

28 günlük kürlenme baz alındığında tüm karışımların ham numuneye göre dayanım açısından iyileştirme özelliği bir katsayı ile ifade edilmiştir. Her bir karışım oranına ait katsayılar Çizelge 4.4’ de belirtilmiştir. Veriler incelendiğinde katkıların dayanımı yüksek seviyeye çıkardığı görülmektedir. Kalsiyum karbit atığının serbest basınç dayanımına yaptığı katkının dikkat çekici olduğu söylenebilmektedir.

Katkı malzemelerinin katılmasıyla meydana gelen kimyasal olaylar sonucu tanelerin/plakaların birbiri ile yapışmaya veya birbirinin kenar-kenar, kenar-yüzey

şeklinde tutmaya başladığı ve böylece tane çapı dağılımı içindeki iri danelerde artışın olduğu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak da tanelerin bu irileşmesi çimentolaşma ve/veya puzolonik reaksiyonlara bağlı olarak da dayanımda artışlar meydana gelmiştir.

Çizelge 4.4. 28 gün kürlenme süresi sonundaki serbest basınç dayanımındaki iyileştirme faktörü.

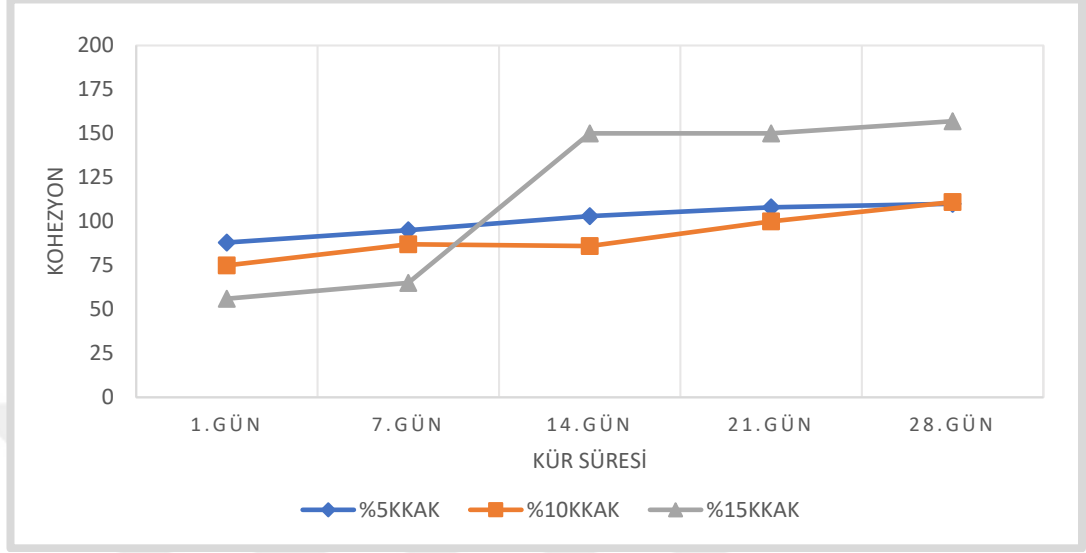
Numune Tipi	$q_{maks}(kPa)$	İyileşme Faktörü
%5 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	574,58	2,27
%10 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	831,56	3,28
%15 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	920,35	3,63
%5 Kireç Katkılı Numune	1102,56	4,35
%10 Kireç Katkılı Numune	1200,90	4,74
%15 Kireç Katkılı Numune	1163,21	4,59
%5 Uçucu Kül Katkılı Numune	352,45	1,39
%10 Uçucu Kül Katkılı Numune	489,91	1,93
%15 Uçucu Kül Katkılı Numune	364,47	1,44

4.1.4. Kesme Kutusu Deneyi Değerleri

Bu tez kapsamında kullanılan katkıların kohezyon ve içsel sürtünme açısına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla %75-%25 bentonit-kum karışımından oluşan zemin numunesi üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılarak karışım zeminin kohezyon değeri 80 kPa, içsel sürtünme açısı değeri $6,1^\circ$ olarak bulunmuştur. Sonrasında ayrıntıları metod bölümünde verildiği şekliyle kür süresi ve karışım oranları dikkate alınarak kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Bu verilerden yola çıkarak katkı maddelerinin ve kür sürelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

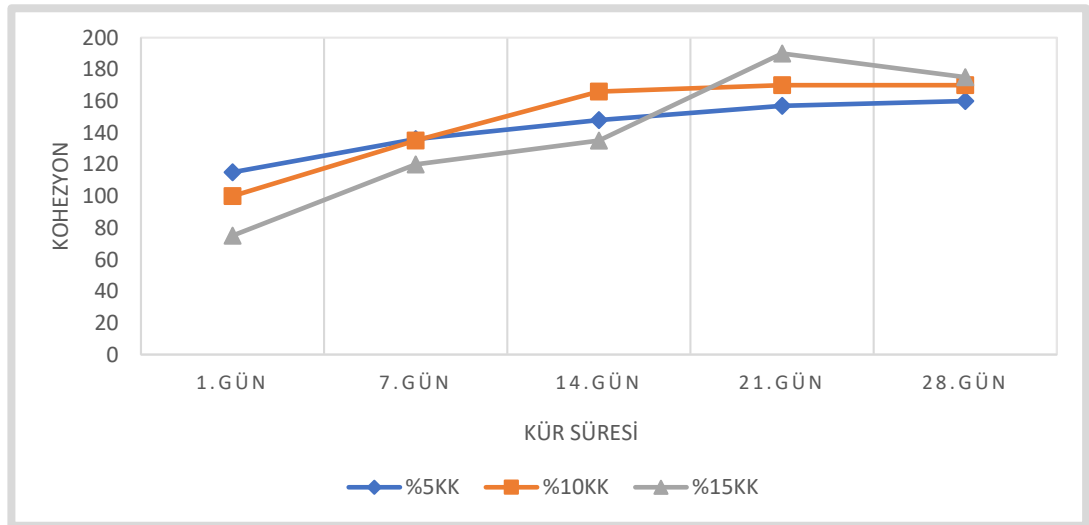
Bu kapsamda ilk olarak kalsiyum karbit atığı ile değerlendirmeye başlanmıştır. Şekil 4.12' de görüldüğü üzere karışımdaki kalsiyum karbit atığı oranının artması kohezyonu azaltıcı bir unsur olmaktadır. Ancak Şekil 4.12 detaylıca incelendiğinde her karışım oranında kürlenmeyle birlikte kohezyonda artış söz konusu olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca %15 kalsiyum karbit katkılı zeminde 14.günde başlayan

kohezyon artışı 28 günlük kür süresi sonucunda en yüksek kohezyon değerine ulaşılmıştır.



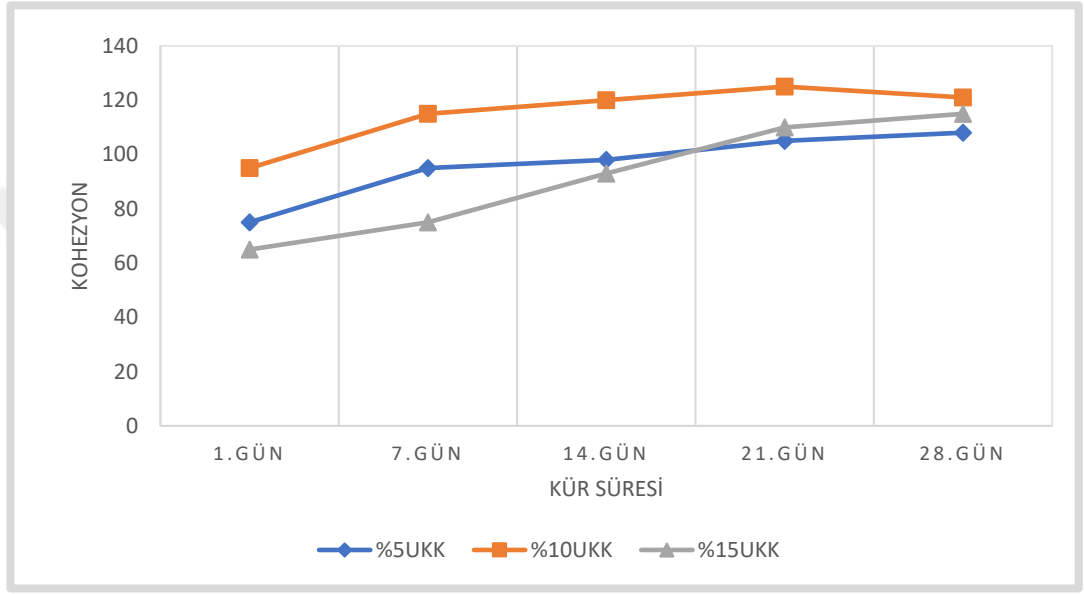
Şekil 4.12. KKAK oranı ve kür süresince kohezyona etkisi.

Şekil 4.13 incelendiğinde kireç katkı miktarının artmasıyla kohezyon değerinde bir azalma olduğu gözlenmiştir. Kürülenmenin etkisiyle her karışım oranında kohezyon değerinde artış olduğu söylenebilmektedir. Şekil 4.13' de görüldüğü üzere %15 kireç katkılı zeminde 28 günlük kür süresi sonucunda en yüksek kohezyon değerine ulaşılmıştır.



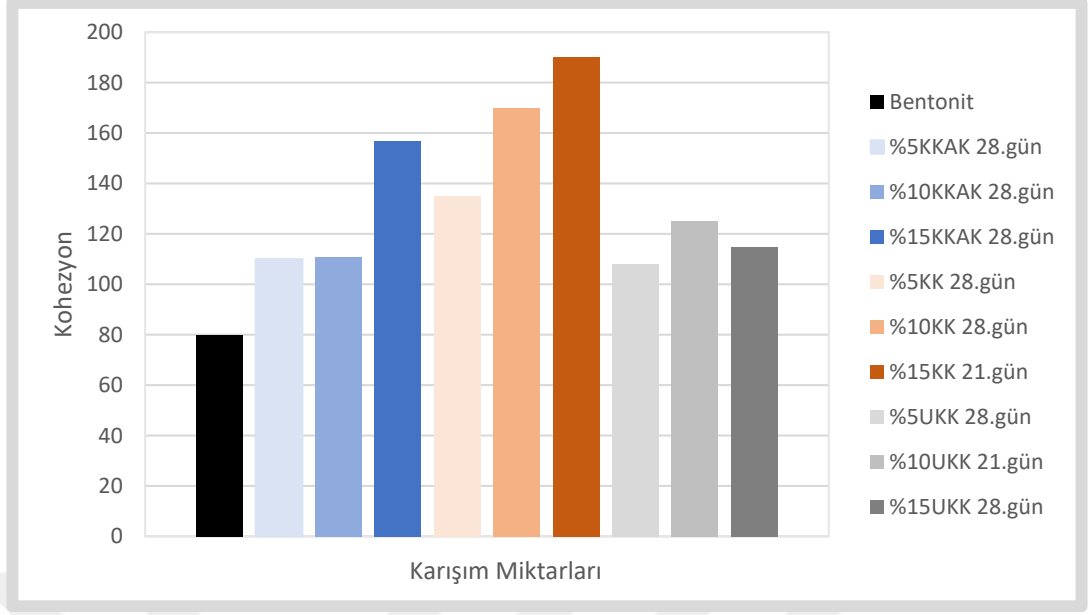
Şekil 4.13. KK oranı ve kür süresince kohezyona etkisi.

Şekil 4.14' de görüldüğü üzere uçucu kül zeminlerin kohezyon değerine etkisi değerlendirildiğinde uçucu külün zeminlerin kohezyon değerinde artış sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kür süresinin kohezyon değerini genel itibariyle arttırdığı sonucuna varılmıştır. Şekil incelendiğinde %10 uçucu kül katkılı zeminde en yüksek kohezyon değerinin oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.14. UKK ve kür süresince kohezyona etkisi.

Bu tez kapsamında yapılan her bir karışım oranının kürlenme sürecindeki maksimum kohezyon değeri Şekil 4.15' de belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kalsiyum karbit atığının ve kireç katkılarının kohezyona olumlu yönde bir etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Uçucu kül katkısının ise diğer katkılara göre etkisi nispeten daha az olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.15. Kür süresince karışım oranlarının maksimum kohezyon değeri.

28 gün kür süresince tüm karışım oranlarında oluşan maksimum kohezyon değeri ham numuneye göre bir katsayısı ile ifade edilmiştir. Her bir karışım oranına ait katsayılar Çizelge 4.5’ de belirtilmiştir. Çizelge 4.5’ de görüldüğü üzere 28 gün kür baz alındığında kalsiyum karbit atığı ve kireç katkılarında %15 oranında, uçucu kül katkısında ise %10 oranında maksimum kohezyona ulaşılmıştır.

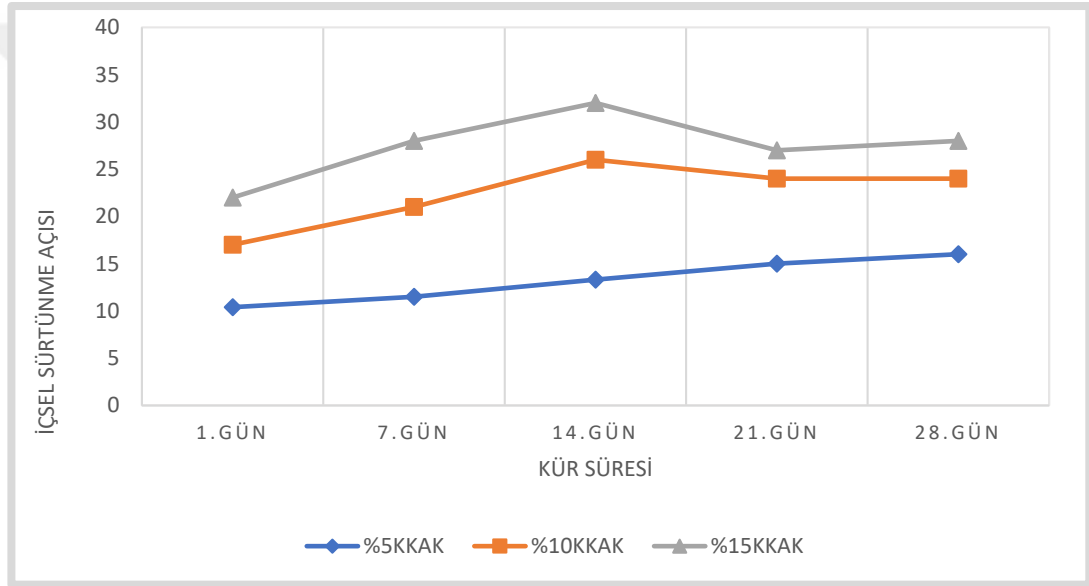
Çizelge 4.5. 28 gün kürlenme süresi sonundaki kohezyon değerinin iyileştirme faktörü.

Numune Tipi	Kohezyon (kpa)	İyileştirme Faktörü
%5 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	110	1,38
%10 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	111	1,38
%15 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	157	1,96
%5 Kireç Katkılı Numune	135	1,68
%10 Kireç Katkılı Numune	170	2,12
%15 Kireç Katkılı Numune	190	2,38
%5 Uçucu Kül Katkılı Numune	108	1,35
%10 Uçucu Kül Katkılı Numune	125	1,56
%15 Uçucu Kül Katkılı Numune	115	1,43

İncelenmeye konu olan katkı malzemelerinin zeminlerin içsel sürtünme açılarına olan etkileri de araştırılmıştır. Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’ de yer alan içsel

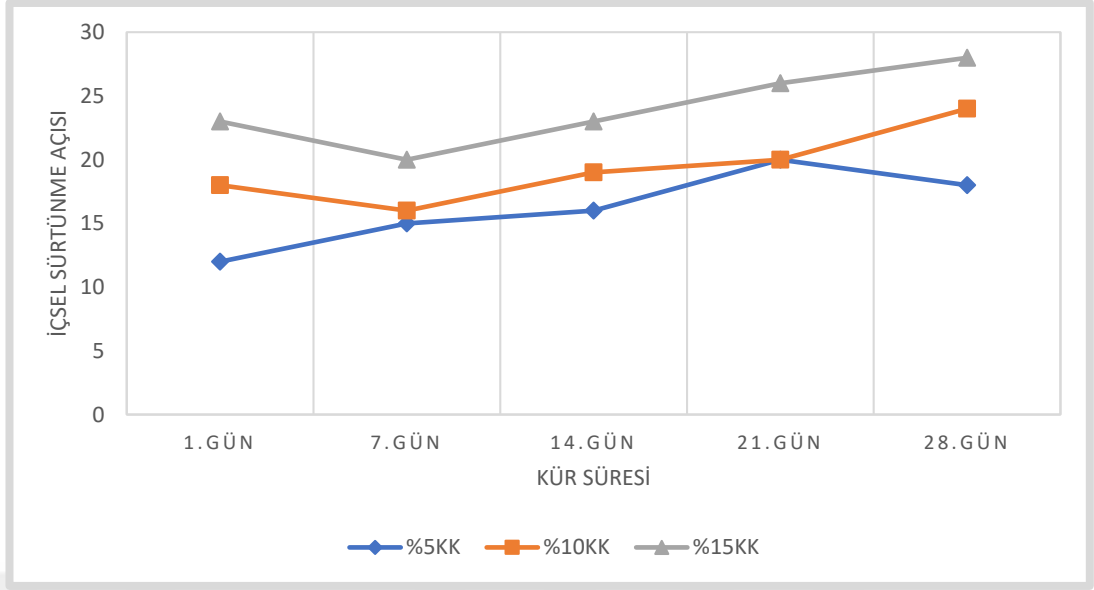
sürtünme açısının kür süresince değişimi yer almaktadır. Grafiklerde her bir katkı malzemesi kendi içerisinde değerlendirilmiştir.

İlk olarak kalsiyum karbit atığı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Şekil 4.16 analiz edildiğinde görüleceği üzere kalsiyum karbit atığının killi zeminlerin içsel sürtünme açısını artırdığı söylenebilmektedir. Kalsiyum karbit atığı katkı oranının artmasıyla içsel sürtünme açısının arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.16' da görüldüğü üzere kürlenmenin etkisiyle içsel sürtünme açısında ilk etapta bir artış devamında ise genellikle kısmi bir azalış görülmektedir.



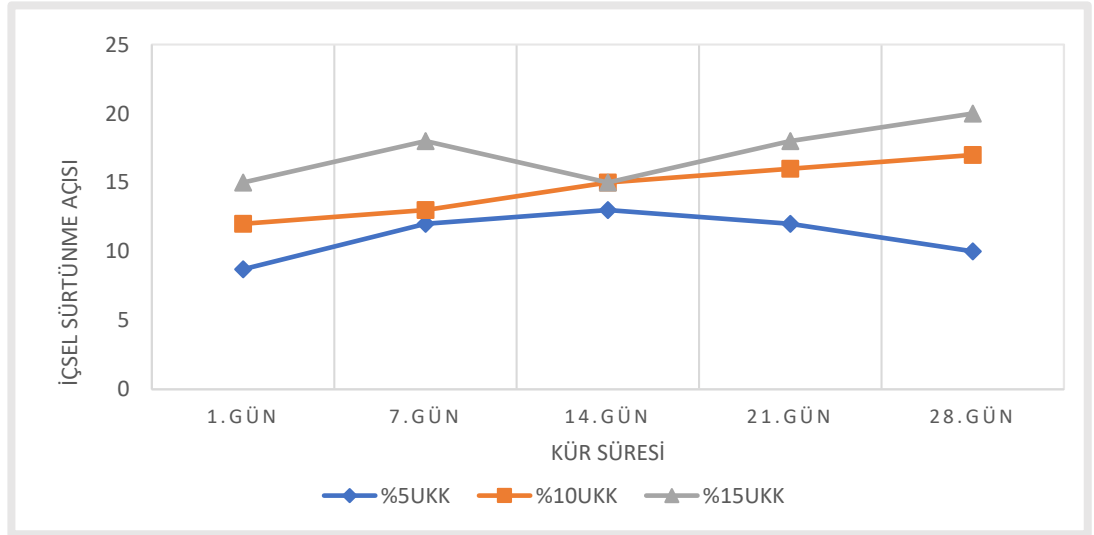
Şekil 4.16. KKAK oranı ve kür süresince içsel sürtünme açısına etkisi.

İncelenen bir diğer katkı malzemesi olan kirecin, içsel sürtünme açısına etkisinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 4.17 incelendiğinde açıkça görüleceği üzere kireç katkısı kürlenme süresinde içsel sürtünme açısını tüm karışım oranlarında artırdığı söylenebilmektedir. Kireç katkı oranı arttıkça içsel sürtünme açısı değerinin arttığı söylenebilmektedir. Aynı zamanda genellikle karışım oranlarında kürlenmeyle birlikte içsel sürtünme açısında artışın devam ettiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.17. KK oranı ve kür süresince içsel sürtünme açısına etkisi.

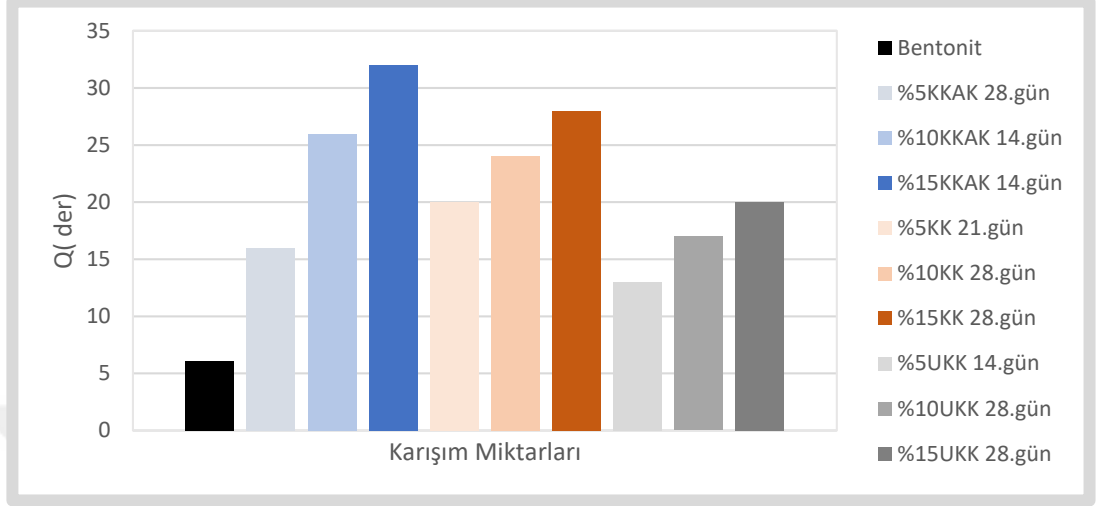
Şekil 4.18 incelendiğinde uçucu kül katkısı kür süresinin ilk gününde içsel sürtünme açısında artış gözlenmiştir. Uçucu kül katkı miktarının artışıyla içsel sürtünme açısı değerinde artış görülmektedir. Kürleşmenin etkisiyle genellikle kohezyon değerinin de arttığı söylenebilmektedir.



Şekil 4.18. UKK oranı ve kür süresince içsel sürtünme açısına etkisi.

Tüm karışım oranlarının içsel sürtünme açısı deney bulgularının grafiksel görüntüsü Şekil 4.19' da belirtilmiştir. Tez kapsamında kullanılan bütün katkıların saf numenin

işsel sürtünme açısını artırdığı gözlemlenmiştir Ayrıca kalsiyum karbit atığı katkısı neredeyse kireç katkısı kadar olumlu yönde etkili olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 4.19. Kür sürecince karışım oranlarının maksimum işsel sürtünme açısı değeri.

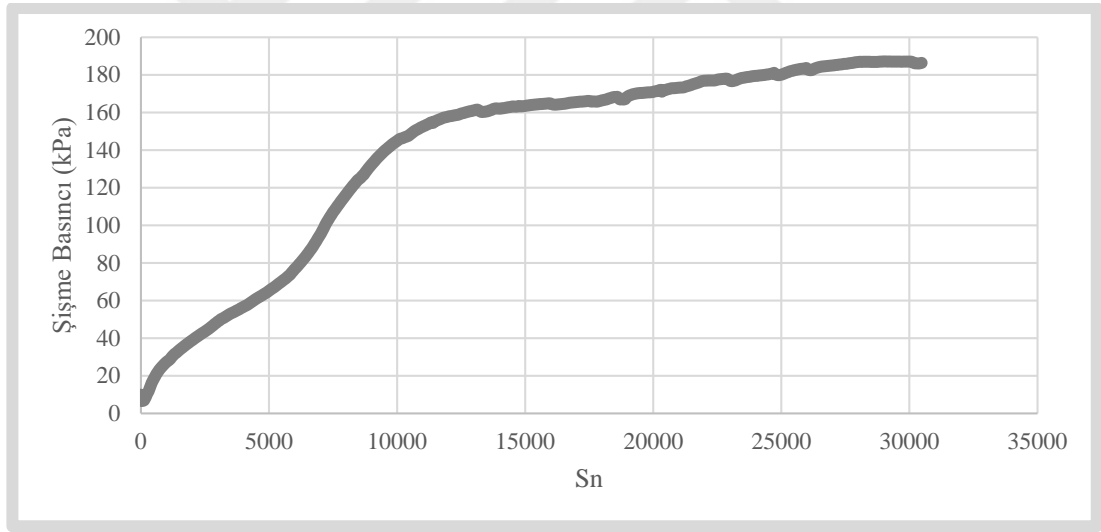
28 gün kür süresince tüm karışım oranlarında oluşan maksimum işsel sürtünme açısı değeri ham numuneye göre bir katsayısı ile ifade edilmiştir. Her bir karışım oranına ait katsayılar Çizelge 4.6' de belirtilmiştir. 28 günlük kür süresinde kalsiyum karbit atığı ve kirecin ham numunenin işsel sürtünme açısını %15 katkı oranında yaklaşık 5 kat artırdığı, %15 uçucu kül katkısında ise 3 kat artırdığı söylenebilmektedir

Çizelge 4.6. 28 gün kürlenme süresi sonundaki işsel sürtünme açısı değerinin iyileştirme faktörü.

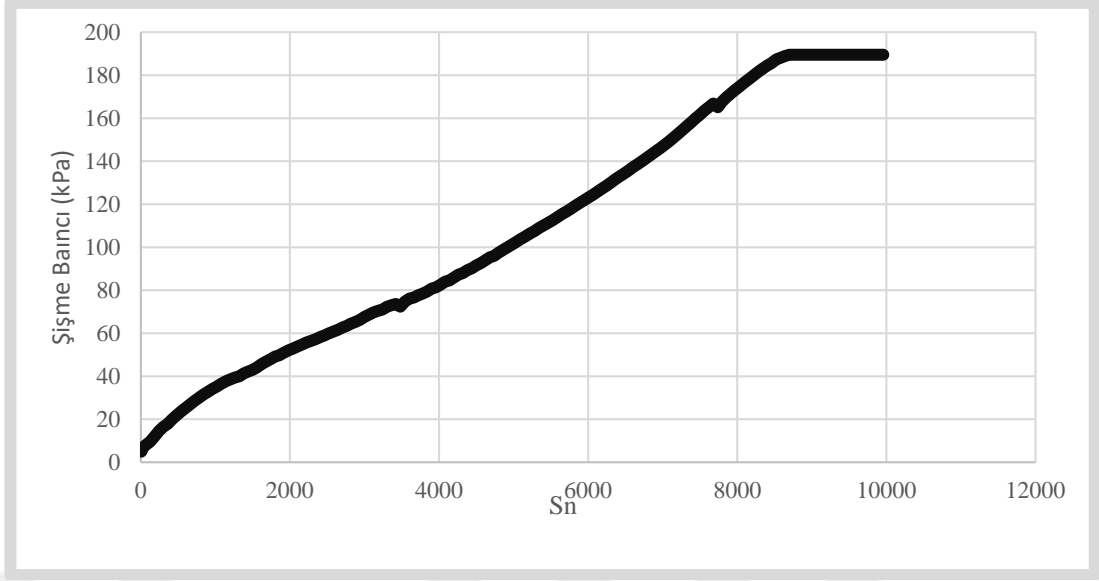
Numune Tipi	İşsel Sürtünme Açısı	İyileşme Faktörü
%5 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	16	2,62
%10 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	26	4,26
%15 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	32	5,24
%5 Kireç Katkılı Numune	20	3,28
%10 Kireç Katkılı Numune	24	3,93
%15 Kireç Katkılı Numune	28	4,59
%5 Uçucu Kül Katkılı Numune	13	2,13
%10 Uçucu Kül Katkılı Numune	17	2,78
%15 Uçucu Kül Katkılı Numune	20	3,28

4.1.5. Şişme Basıncı Deneyi Değerleri

Katkı malzemelerinin her birinin kürlenme ile birlikte zeminin şişme basıncına etkisinin belirlenmesi için sabit hacim yöntemini esas alan deney düzeneği ile şişme basınçları belirlenmiştir. Bu kapsamda deneylerde optimum su içeriğinde hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Deneylere şişme basıncındaki değişimin ortaya konulması için ilk olarak %75-%25 bentonit-kum ve %100 bentonit zeminin şişme basınçlarının belirlenmesi ile başlanılmıştır. Bentonit-kum karışım numunesi 20 gün süresince şişme basınç değerleri alınarak grafik elde edilmiştir (Şekil 4.20). Bentonit ise 7 gün süresince şişme basınçları alınarak grafik oluşturulmuştur (Şekil 4.21). %100 bentonit zeminin şişme basıncı değeri 189,56 kpa, %75-%25 kil-kum zeminin şişme basıncı değeri 186,36 kpa olarak bulunmuştur. Şişme deney sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de belirtilmiştir.

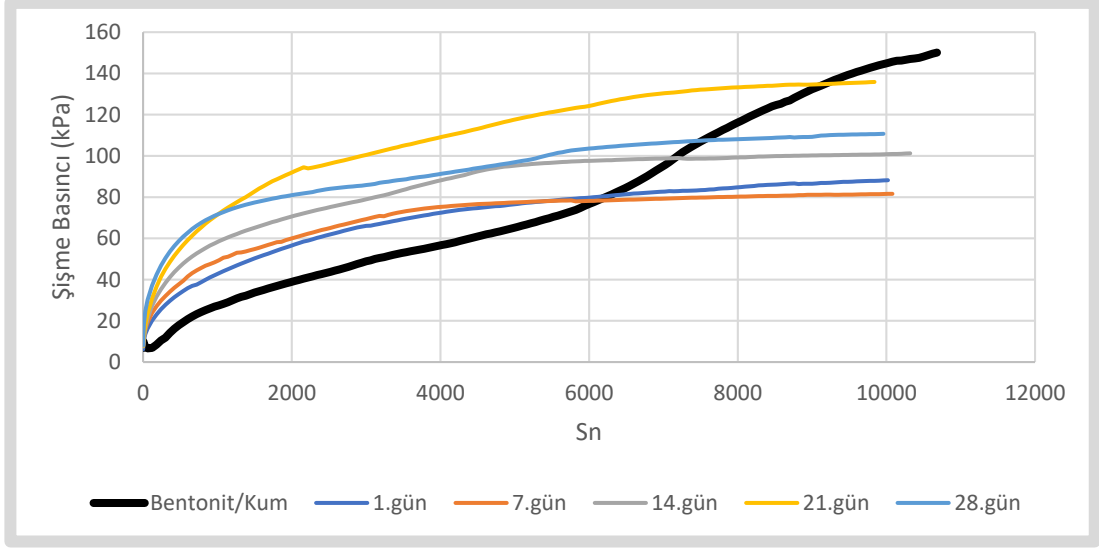


Şekil 4.20. Bentonit/Kum şişme basıncı değeri.



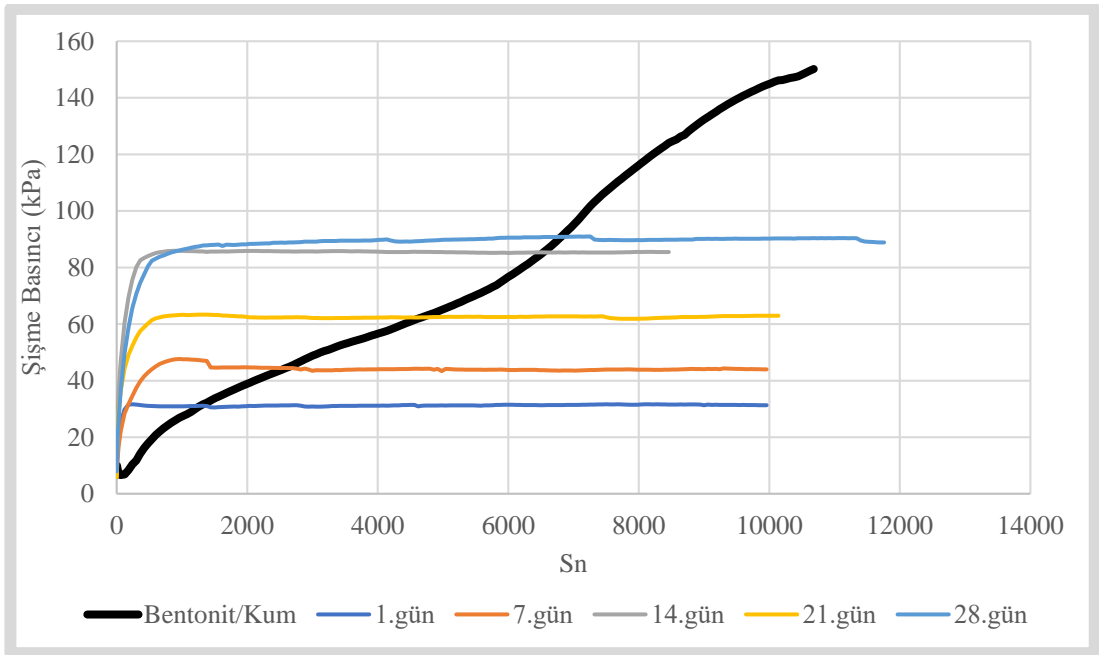
Şekil 4.21. Bentonitin şişme basıncı değeri.

Şişme basıncındaki değişimler her bir katkı malzemesi baz alınarak, bir karışım oranı ve kür süresi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Tüm grafiklerde bentonit/kum şişme basıncı gösterilmiştir. Bentonit/kum karışımının 7 günlük şişme basınç değeri baz alınmıştır. Deneylerden elde edilen verilerden yola çıkarak her bir karışım için zamana bağlı şişme basınç grafikleri oluşturulmuştur. Buna göre ilk olarak %5 kalsiyum karbit atığının tüm kür sürelerindeki şişme basıncı değişimleri grafik oluşturularak Şekil 4.22’ de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde kalsiyum karbit atığının tüm kür sürelerinde şişme basıncını düşürdüğünü söylenebilmektedir. Ayrıca kür süresinin şişme basıncına etkisi bazında incelendiğinde 7. günde şişme basıncında maksimum azalma olduğu değerlendirilmektedir.



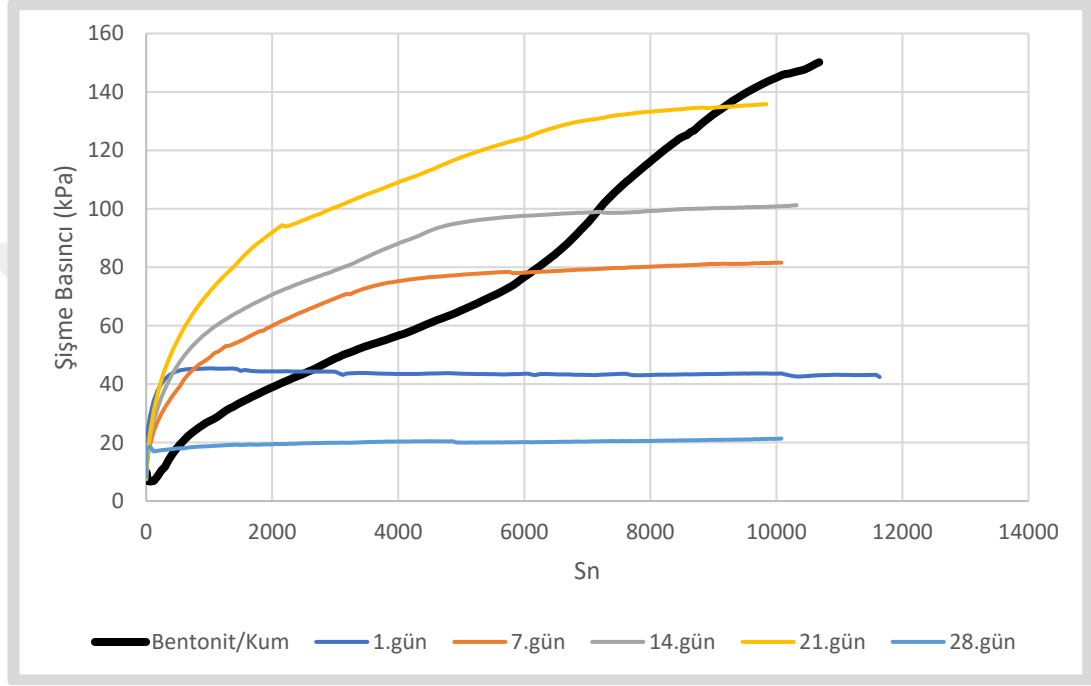
Şekil 4.22. %5 KKAK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

Atık miktarının şişmeye etkisini belirlemek niyetiyle katkı miktarı artırılarak deneyler tekrar edilmiştir. Şekil 4.23’ de görüldüğü gibi %10 kalsiyum karbit atığı zeminin şişme basıncı değerinde azalma meydana getirmiştir. Grafik incelendiğinde ayrıca kürlenmenin 1. gününe kadarki evrede şişme basıncında maksimum seviyede bir azalma olduğu kür süresinin uzamasının ise bu karışım oranı için şişme basıncını diğer kür sürelerine göre artırdığı söylenebilmektedir.



Şekil 4.23. %10 KKAK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

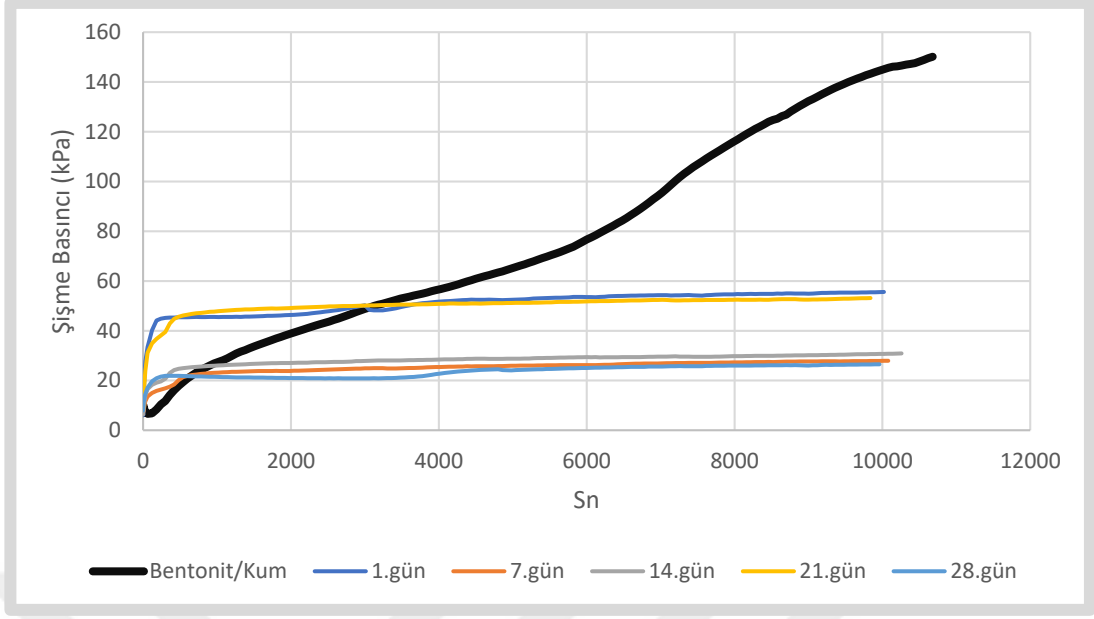
Atık miktarının son oranı olan %15 kalsiyum karbit atığı miktarı incelendiğinde Şekil 4.24' de görüldüğü üzere şişmedeki azalış devam etmekte olduğu söylenebilmektedir. Bu oranda şişme basıncının azalmasında kür süresi önemli olmaktadır. Lakin Şekil 4.24 incelendiğinde 28.gündeki şişme grafiğinin durumunun bu yargıyı açıkça ifade ettiği görülecektir.



Şekil 4.24. %15 KKAK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

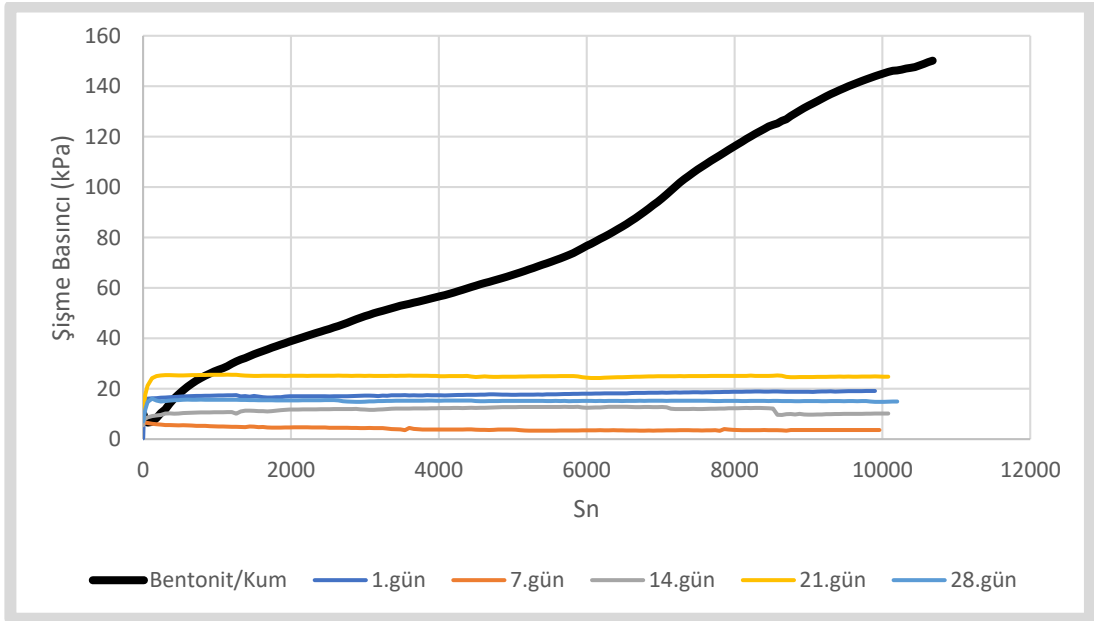
Çalışmada kullanılan kireç katkısının şişme basıncına etkisi değerlendirilmiştir. Bentonit/kum karışımına %5,10,15 katılan kireç katkısının 7 günlük şişme basınçları elde edilmiştir.

İlk olarak değerlendirmeye %5 kireç katkısı ile başlanılmıştır. Şekil 4.25' de görüldüğü üzere %5 katkılı kirecin şişme basıncı değerini düşürdüğü ve 7.günde şişme basıncında maksimum azalma olduğu sonucuna varılmaktadır. Tüm katkı oranlarındaki kürlenmenin etkisine bakacak olursak kürlenme süresince şişme basıncındaki azalış devam etmiştir. 28.gün kürde şişme basıncın da maksimum azalış görülmüştür.



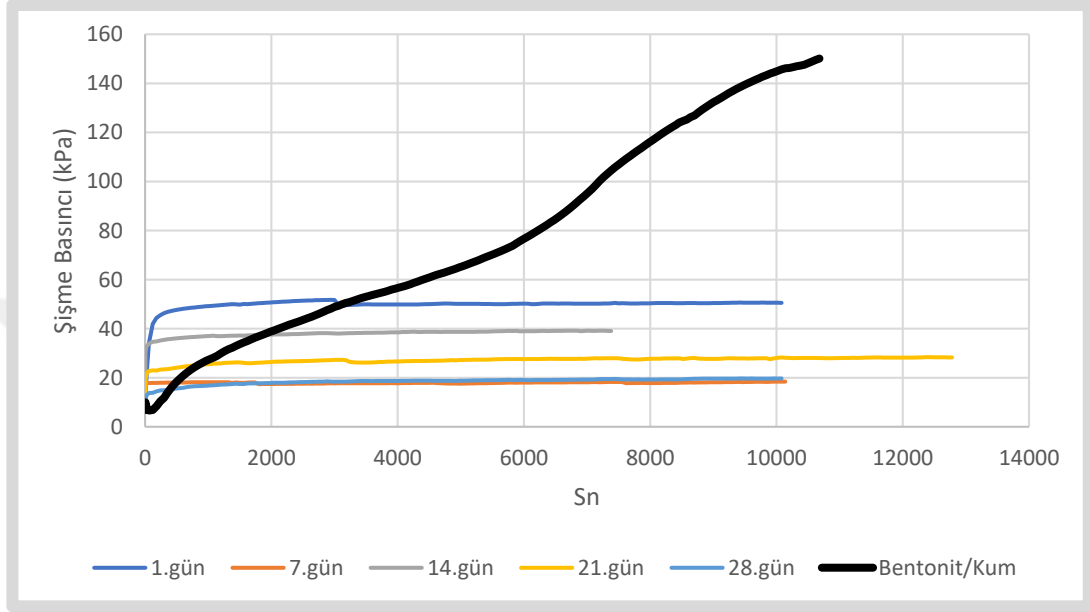
Şekil 4.25. %5 KK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

Şekil 4.26' da görüldüğü gibi %10 kireç katkılı zeminin şişme basıncı değerinde azalma meydana gelmiştir. Şişme basıncı değeri 7.günde maksimum azalma oluşmuştur. Şişme basıncı değerinde optimum değer %10 kireç katkılı zeminde meydana gelmiştir.



Şekil 4.26 %10 KK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

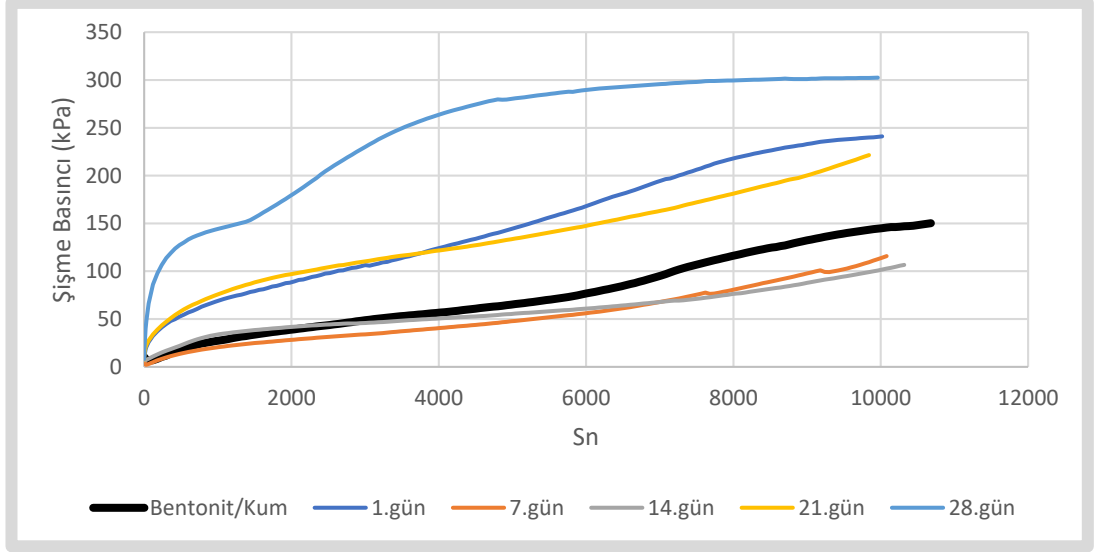
%15 kireç katkı oranıyla kirece ait son şişme basınçları elde edilmiştir. Şekil 4.27 ve diğer grafikler incelediğinde tüm oranlarda şişme basıncındaki düşüş olduğu söylenebilmektedir. Kürlenme tüm evresinde şişme basıncı bentonit/kum karışımının şişme basıncından daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.27. %15 KK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

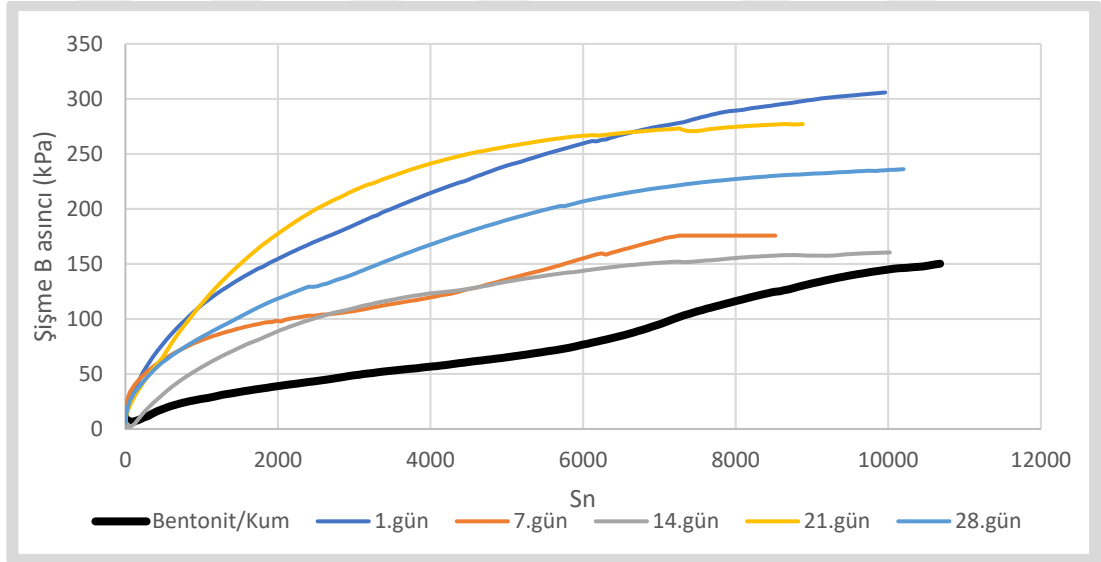
Çalışmada kullanılan uçucu kül katkısının şişme basıncına etkisi değerlendirilmiştir. Bentonit/kum karışımına %5,10,15 katılan uçucu kül katkısının 7 günlük şişme basınçları elde edilmiştir.

Bu tez kapsamında son olarak kullanılan uçucu küle ait şişme basınç grafikleri değerlendirilmiştir. Şekil 4.28' de görüldüğü gibi %5 uçucu kül katkısı killi zeminlerin şişme basıncını kürlenme ilk günlerde bir azalış oluşturmuş ancak devamında şişme basıncında artışa sebep olduğu söylenebilmektedir. Bunun sebebi karışım iç yapısının daha geçirgen bir yapıya dönüşmesi olarak değerlendirilmiştir.



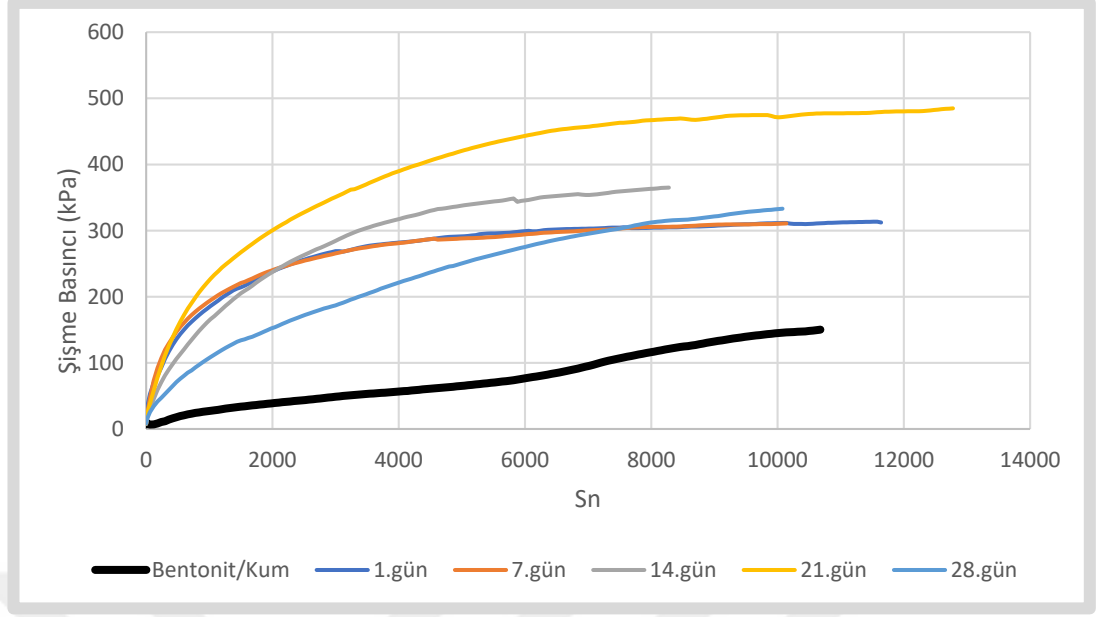
Şekil 4.28. %5 UKK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

%10 uçucu kül katkısının kürlenme süresince olan şişme basınç dağılımı Şekil 4.29’ da belirtilmiştir. Kürlenmeyle birlikte şişme basıncındaki artışın devam ettiği söylenebilmektedir.



Şekil 4.29. %10 UKK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

Uçucu külün son oranı olan %15 incelediğinde uçucu külün killi zeminlerin şişme basıncını artırdığını söylenebilmektedir. Ayrıca uçucu kül miktarı arttıkça şişme basıncını da arttırdığını sonucuna varılmaktadır (Şekil 4.30).



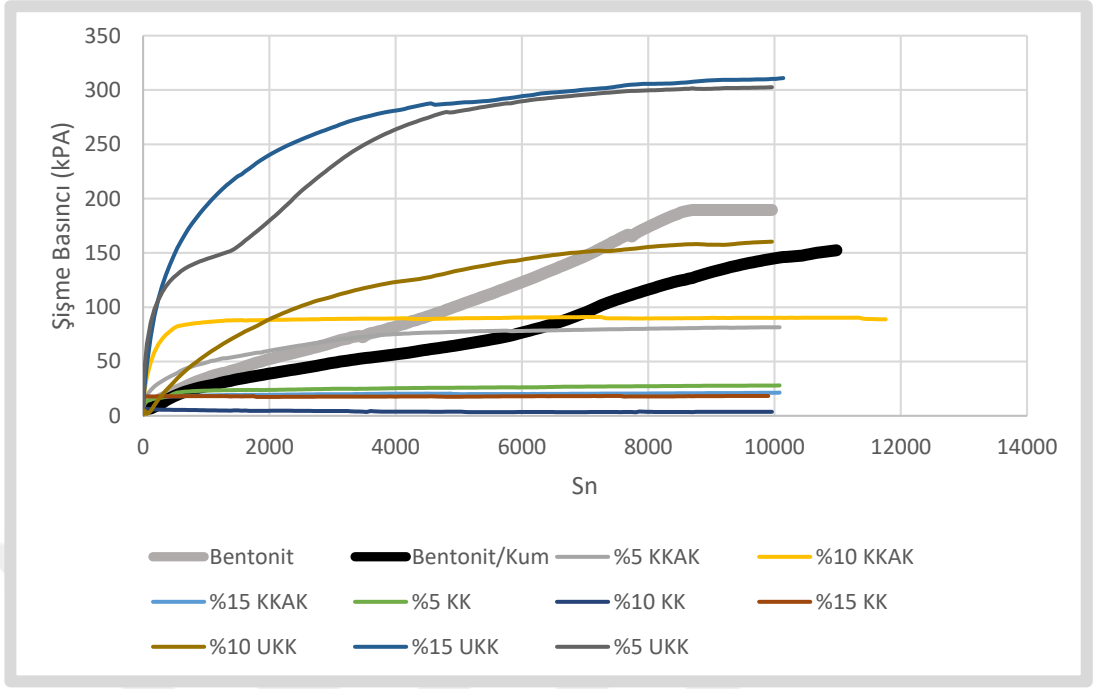
Şekil 4.30. %15 UKK oranının kür süresince şişme basıncına etkisi.

Tüm karışım oranlarının şişme basıncına kürlenme sürecindeki maksimum etkisi Şekil 4.31' de gösterilmiştir. Grafikte kalın koyu ile çizilen kısım bentonit ve bentonit/kum karışımının şişme basınç değerleridir.

İlk olarak uçucu kül değerlendirdiğimizde uçucu kül miktarı arttıkça şişme basıncının da arttığını söylenebilmektedir. Uçucu kül bentonit/kum karışımının şişme basıncını artırdığı görülmektedir.

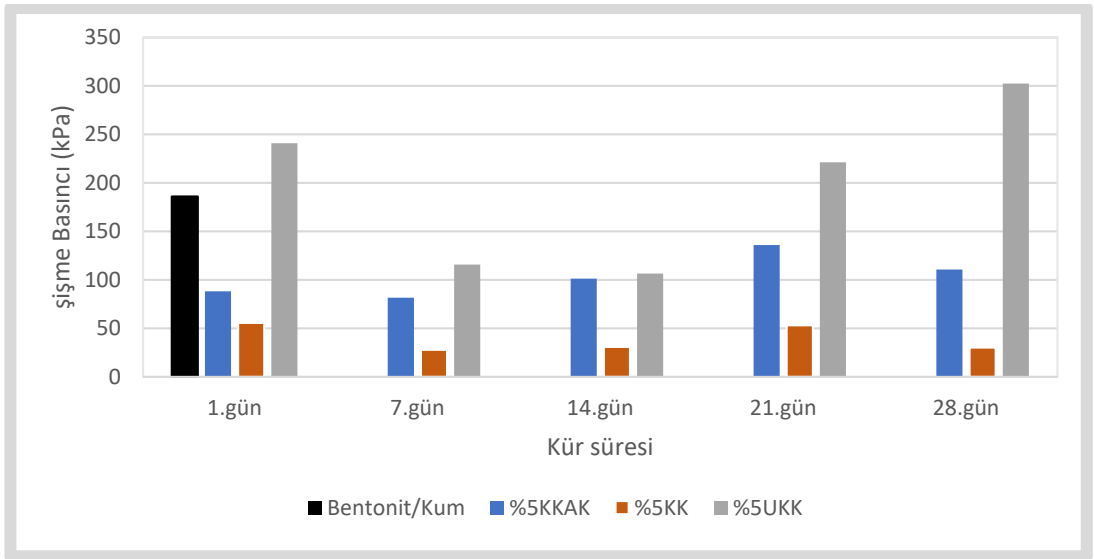
İkinci olarak kireç katkısını değerlendirdiğimizde killi zeminlerin şişme basıncını en iyi şekilde iyileştirdiği söylenebilmektedir. %10 kireç katkısı ile maksimum iyileşme görülmektedir.

Son olarak kalsiyum karbit atığını değerlendirdiğimizde kireç kadar zeminin şişme basıncını iyileştirdiği sonucuna varılmaktadır. Tüm oranlarda şişme basıncı azalmış ve %15 kalsiyum karbit atığı katkısında çok iyi bir azalış göstermiştir. Katkı oranı arttıkça şişme basıncındaki azalış olduğu söylenebilmektedir.

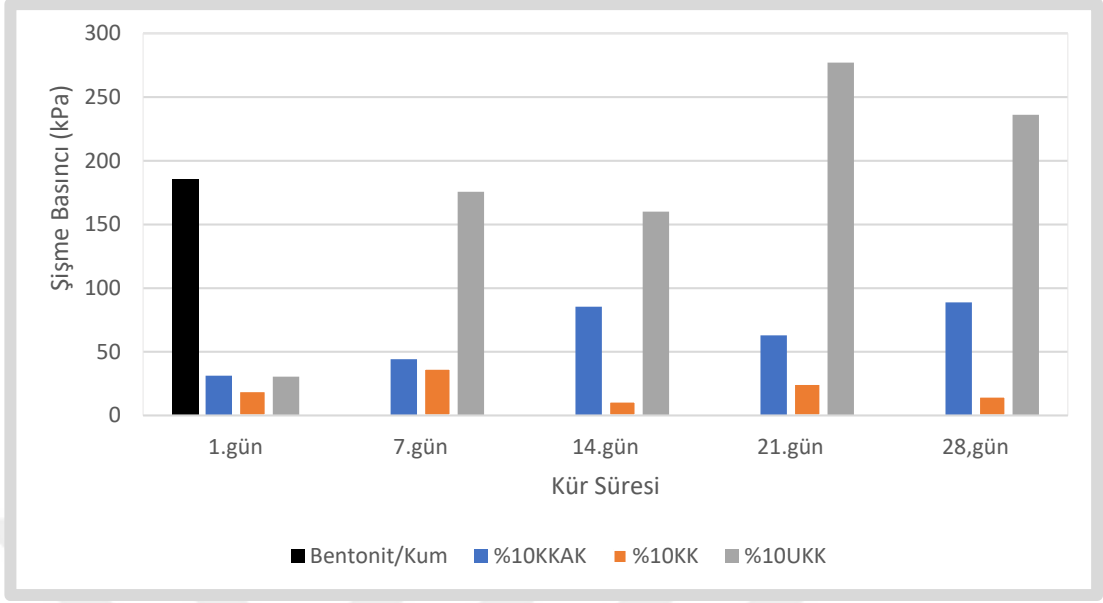


Şekil 4.31. Tüm karışım oranlarının şişme basıncına etkisi.

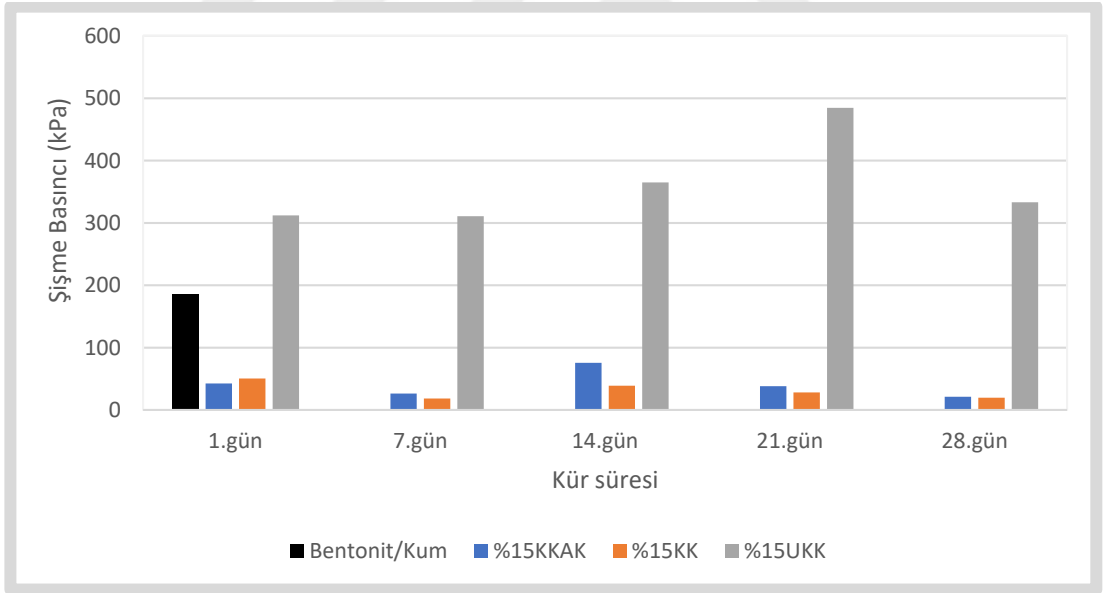
Her bir karışım oranının yüzdece kendi içerisindeki dağılımı grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 incelediğinde kireç ve kalsiyum karbit atığı oranının artmasıyla killi zeminlerin şişme basıncını düşürdüğü söylenebilmektedir. Uçucu kül ise tam tersi olarak bütün katkı oranlarında killi zeminlerin şişme basıncını artırdığı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.32. %5 Katkı oranlarının şişme basıncı karşılaştırması.



Şekil 4.33. %10 Katkı miktarlarının şişme basıncı karşılaştırması.



Şekil 4.34. %15 Katkı miktarlarının şişme basıncı karşılaştırması.

Tüm karışımların saf malzemeye göre şişme basıncı değeri açısından iyileştirme özelliği bir katsayı ile ifade edilmiştir. Her bir karışım oranına ait katsayılar Çizelge 4.7' de belirtilmiştir. Kalsiyum karbit atığının ham numunenin şişme basıncını %15 katkısında yaklaşık 10 kat artırdığı söylenebilmektedir. %10 kireç katkısı zeminlerin

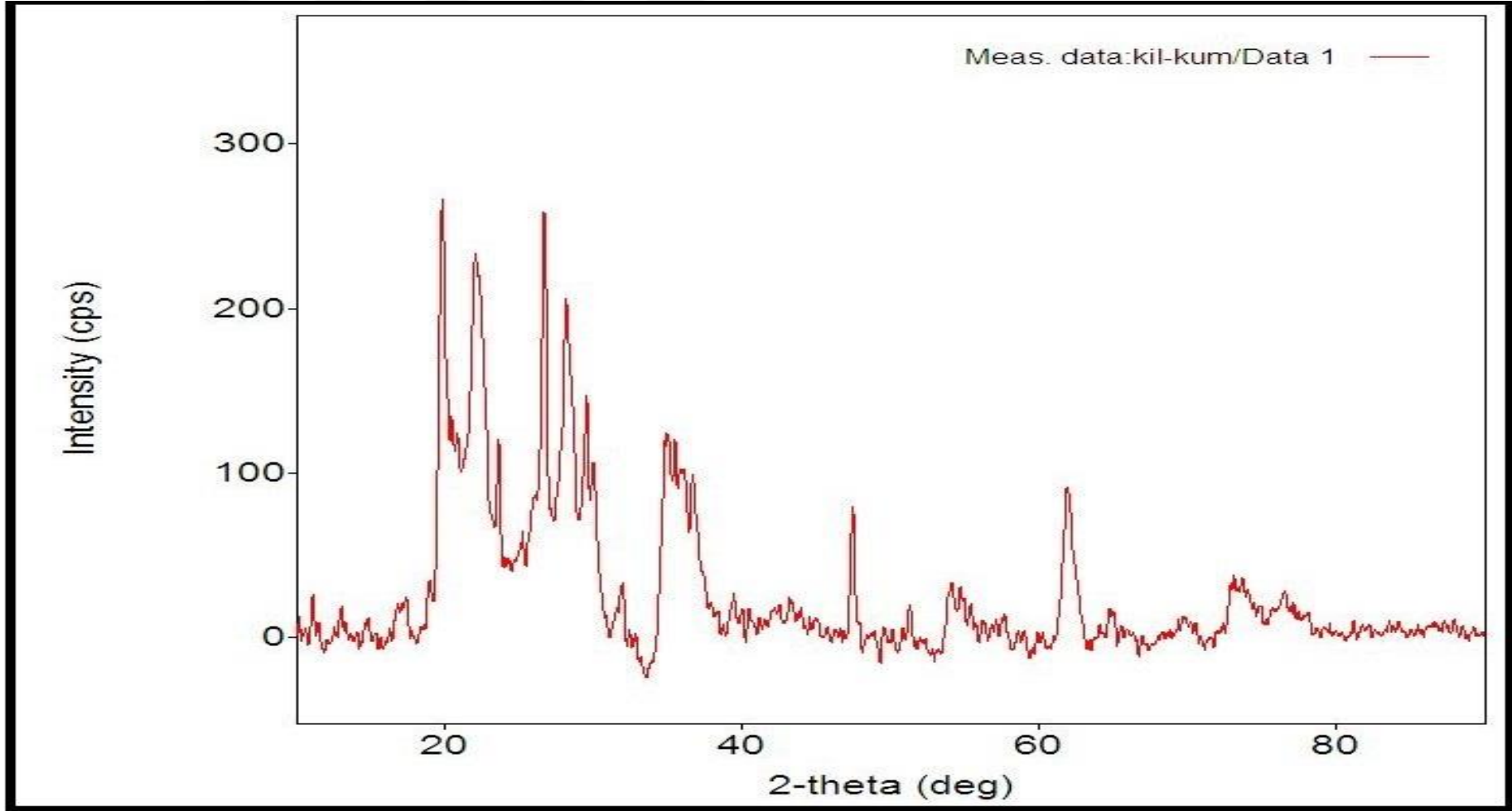
şişme basıncını maksimum seviyede iyileştirdiği görülmüştür. Uçucu külün şişme basıncına negatif bir etkisinin olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. 28 gün kürlenme süresi sonundaki şişme basıncı değerinin iyileştirme faktörü.

Numune Tipi	Şişme Basıncı (kPa)	İyileşme Faktörü
%5 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	81,57	2,3
%10 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	31,30	5,94
%15 Kalsiyum Karbit Katkılı Numune	21,35	8,71
%5 Kireç Katkılı Numune	27,95	6,65
%10 Kireç Katkılı Numune	10,98	16,97
%15 Kireç Katkılı Numune	18,43	10,11
%5 Uçucu Kül Katkılı Numune	302,5	-1,62
%10 Uçucu Kül Katkılı Numune	160,40	1,16
%15 Uçucu Kül Katkılı Numune	310,93	-1,67

4.2. MİNERALOGİK ANALİZ SONUÇLARI

Bu başlık altında kullanılan katkı malzemelerinin; kalsiyum karbit atığı uçucu kül ve kireç için metod bölümünde açıklanan karışımların her birinden numuneler alınarak X ışını kırınımı (XRD) yapılarak mineralojik yapıları incelenmiştir. Stabilizasyon işlemi öncesi ve sonrasındaki mineralojik bileşiminin yorumlanabilmesi amacıyla katkısız zemin (bentonit/kum) karışımının XRD görüntüleri elde edilmiştir Şekil (4.35). Buna ek olarak kürlenmeye bırakılan her bir karışımın 7.gününde ve 30. günde de numuneler alınarak karışımların katkı malzemeleri ile birlikte mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi için XRD görüntüleri alınmıştır. Katkı maddeleri ve kür süreleri baz alınarak elde edilen görüntüler birbiri ve ham madde görüntüleri ile karşılaştırarak değerlendirmeler yapılmıştır. Tüm karışımların XRD görüntülenmesi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 4.35 Bentonit/Kum karışımının xrd görüntüsü.

XRD analizinde Kalsiyum Silika Hidrat (CSH), Kalsiyum Alüminat (CAH) ve Kalsiyum Hidrat (CH) gibi hidratasyon ürünleri ortaya çıktığı değerlendirilmiştir. Örneklere ait XRD analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde stabilizasyon işlemi sonrasında karışım zeminin minerolojik bileşiminde belirgin bir değişiklik oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Stabilizasyon işlemi sonrası oluşan ve dayanımda artış sağlayan kalsiyum alümina hidrat (CAH), kalsiyum silika hidrat (CSH) ve kalsiyum hidra (CH) mineralleri XRD çekimlerinde kesin bir şekilde saptanmıştır. Kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül katılan zemin karışımlarında hidratasyon sonucu oluşan CAH, CSH ve CH oranının yaşa ve kullanılan katkı oranına bağlı olarak artış gösterdiği görülmüştür.

Tüm yaşlarda CH en fazla kireç katkısında oluşmuştur. Uçucu külden ise hiç gözlemlenmemiştir. Kireç katkısı içeren numunelerde CH miktarı, katkısız numunelere göre daha fazla oluşmuş ve kürlenmeyle bu miktar artmıştır. Uçucu kül içeren numunelerde CH miktarı, diğer katkılara nazaran daha az gerçekleşmiştir. Kireç ve kalsiyum karbit atığı katkısı oranındaki artış ile oluşan CH yoğunluğu arasında tüm katkıları için doğru orantılı bir ilişki olduğu görülmüştür. (Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38).

Tüm yaşlarda her üç karışımda da CSH oranını karışım oranıyla artırdığı gözlemlenmiştir. Kullanılan katkı oranındaki artış ile oluşan CSH yoğunluğundaki artış arasında doğrusal orantılı bir ilişki olduğu olup en fazla artış kalsiyum kireç katkılı karışımda gözlemlenmiş, karışım oranıyla da bu artmıştır.

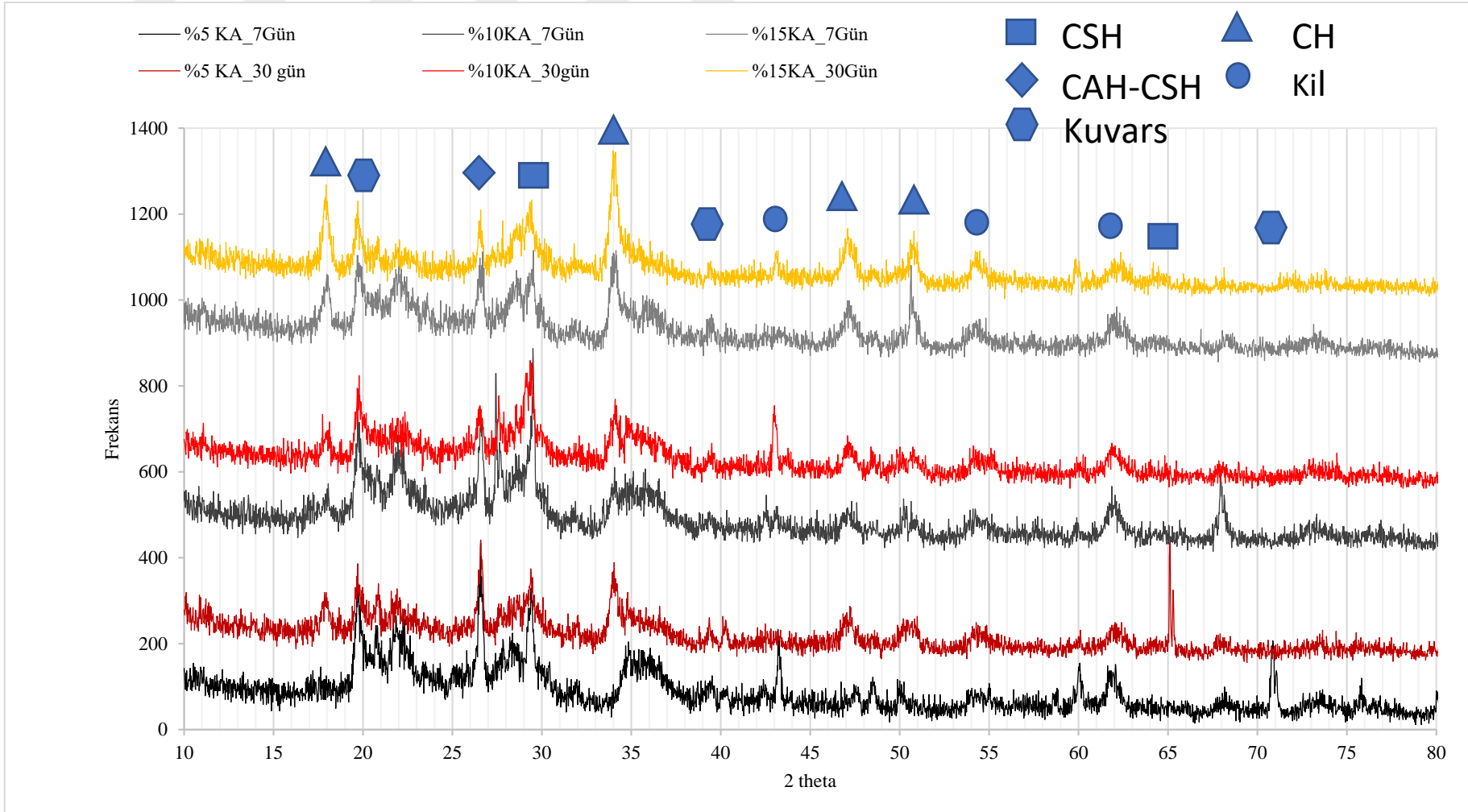
Tüm yaşlarda her üç karışımda da CAH oranını artırdığı ve en fazla miktarın ise kireç katkısında olduğu değerlendirilmiştir. Kullanılan katkı oranındaki artış ile oluşan CSH yoğunluğundaki artış arasında doğrusal orantılı bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.37).

Literatürde bentonit katkılı zeminlerin katkı maddeleri (kireç) ile iyileştirildiğinde CSH, CAH ve CASH mineralleri tespit edildiği ifade edilmektedir [45].

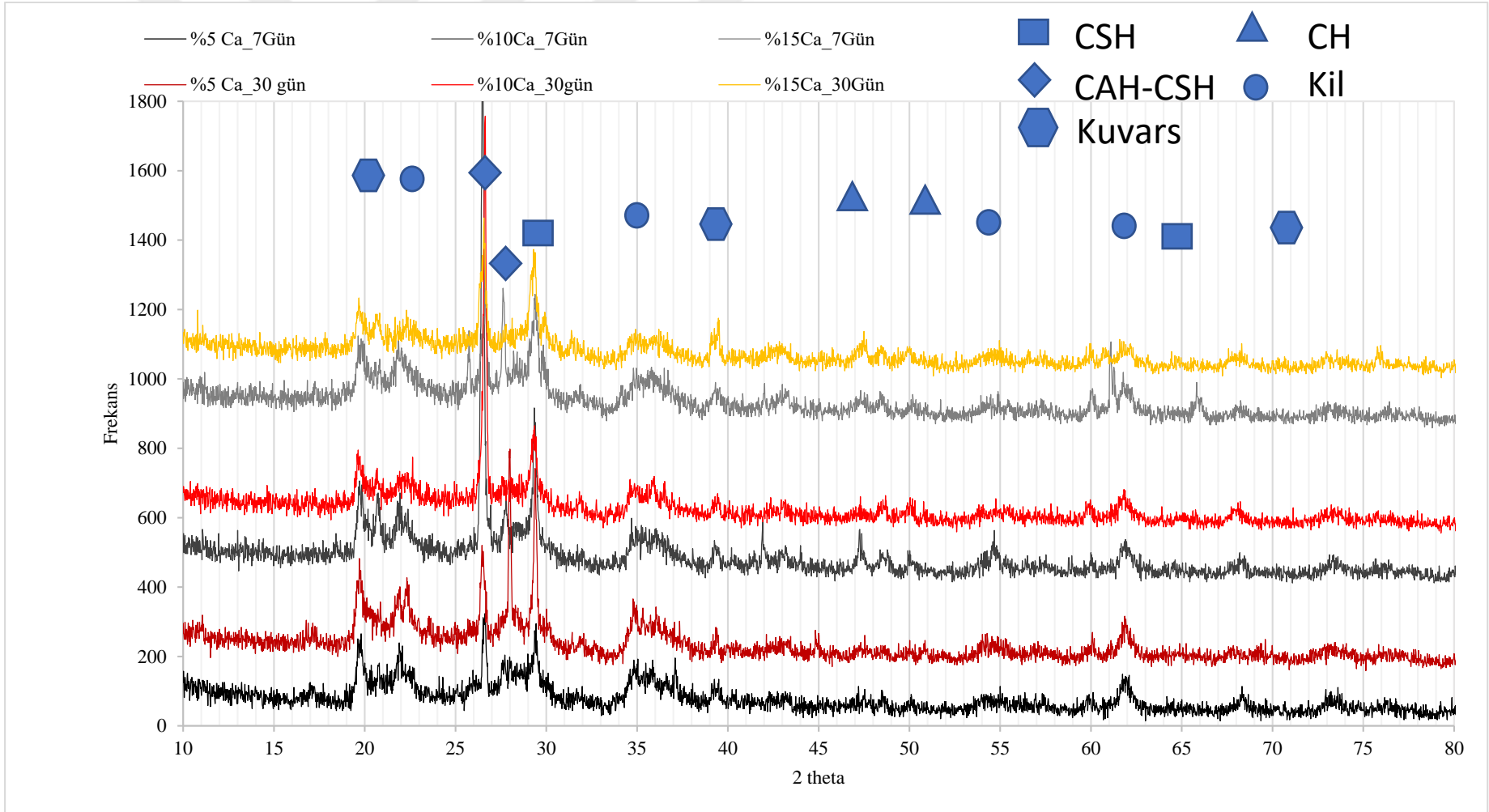
Özellikle CSH minerali kireç ile zemin iyileştirmenin temel hidratasyon ürünlerinden biridir. Serbest kireç (CaO), su (H_2O) ve silisyum dioksit (SiO_2) tepkimeye girerek kalsiyum silika hidrat (CSH) jellerini oluşturmaktadır. Kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile silisyum dioksit de tepkimeye girerek bu jelleri oluşturabilmektedir.

Ortamda bu karbonatlaşma artarsa kalsiyum silika hidrat (CSH) ve kalsiyum alüminat (CAH) jelleri çimentolaşma ürünü portlandit, tobermorit, etrenjit gibi mineraller oluşur [46]. Bu mineraller ve bağların çoğu ortamda sonradan giren su ile kolayca parçalanamazlar. Oluşan bu minerallerin çokluğu, zamana da bağlı olarak içinde oluştukları kütlelerin mekanik dayanımını belirli bir sınıra kadar artırır.

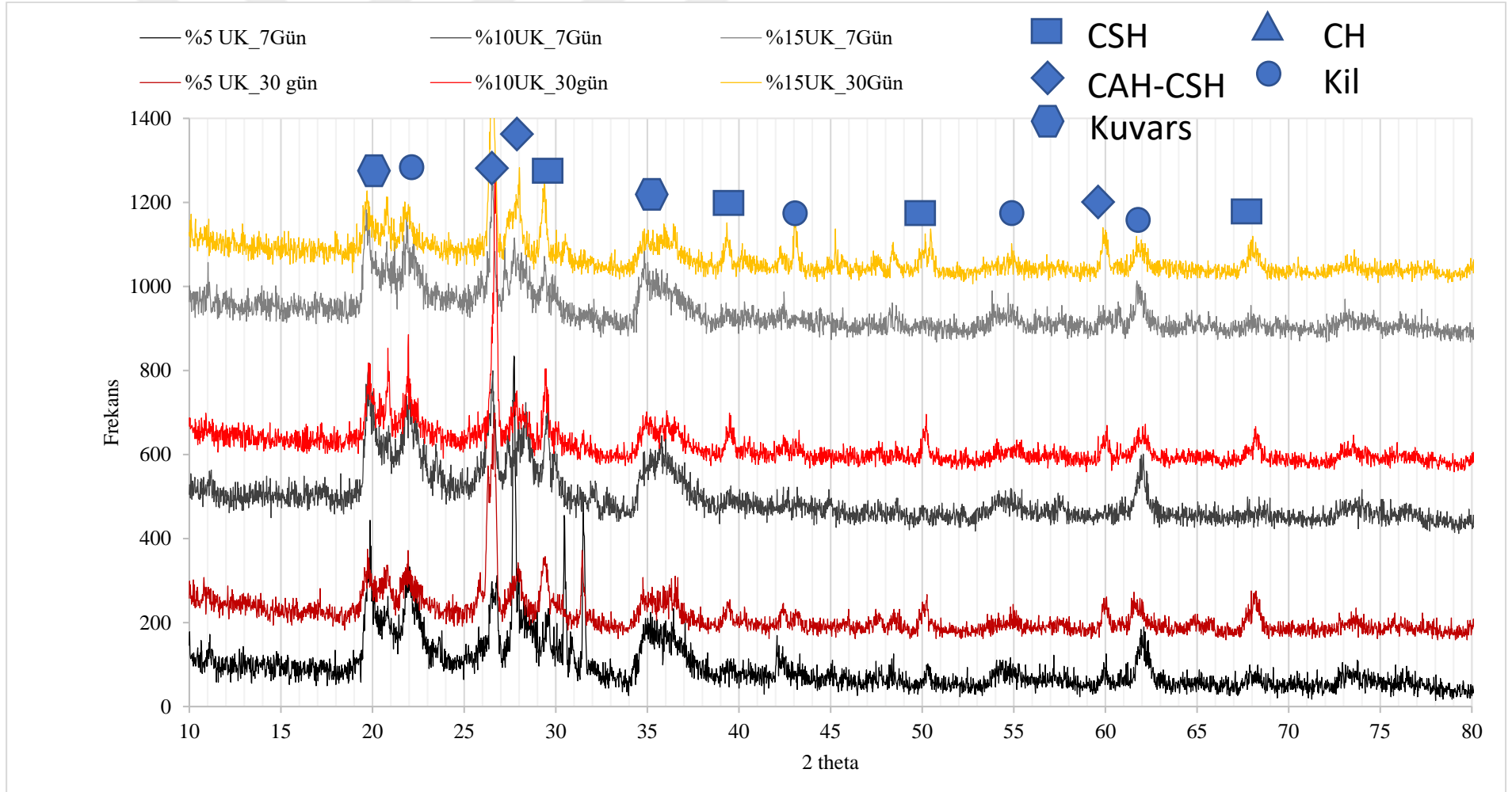




Şekil 4.36. Kalsiyum karbit atığı katkısının kurlenme sürecindeki xrd görüntüleri.



Şekil 4.37. Kireç katkısının kürlenme sürecindeki xrd görüntüleri.



Şekil 4.38. Uçucu kül katkısının kurlenme sürecindeki xrd görüntüleri.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kalsiyum karbit atığının zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği bu tez kapsamında incelenmiş olup ayrıca uçucu kül ve kireç ile karşılaştırması amaçlanmıştır. Bentonit/kum zemin numunesine kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül farklı oranlarda ilave edilerek hazırlanan karışımlar üzerinde belirli kür süreleri sonunda çeşitli deneyler yapılmış olup, deney sonuçları elde edilmiştir. Bu bağlamda;

- Çalışmada kullanılan katkıların kıvam limitlerini etkisini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Likit limit deneyi sonucunda genelde katkı oranı arttıkça likit limitin azaldığı görülmüştür. Kalsiyum karbit atığı ve uçucu külün %15 katkı oranında, kirecin ise %10 katkı oranında likit limiti %24 oranında maksimum seviyede azalttığı saptanmıştır.
- Çalışmada ham numuneye katılan katkıların plastik limite olan etkisi değerlendirilmiştir. Kalsiyum karbit atığı %15 katkı oranında bentonit/kum karışımının plastik limit değerini 3 kat iyileştirdiği görülmüştür. Kireç katkısının %5 oranında uçucu külün ise %10 oranında plastik limiti 2 kat artırdığı saptanmıştır. Kalsiyum karbit atığı oranı arttıkça plastik limitin arttığı görülmektedir.
- Çalışma kapsamında ham numuneye katılan katkıların plastisite indisi olan etkisi değerlendirildiğinde kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül %15 katkısında sırasıyla %62, %31, %36 oranında plastisite indisini azalttığı saptanmıştır. Tüm karışım oranlarında plastisite indisi azalış göstermiştir. Ayrıca katkı oranı arttıkça genel olarak plastisite indisini arttırdığı söylenebilmektedir.

- İncelemeye konu olan bir diğer deney etabımız bentonit/kum ve bu karışıma katılan katkıların kompaksiyon deney sonuçları değerlendirilmiştir. Bentonit/kum karışımının optimum su içeriği %32 maksimum kuru birim hacim ağırlığı $13,20 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. %15 KKAK, KK ve UKK oranlarında sırasıyla optimum su içeriği %36, %38, %32, maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ise 12 kN/m^3 bulunmuştur. Karışım oranı attıkça genelde optimum su içeriğinin arttığı ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın ise azaldığı görülmüştür.
- Tez kapsamında kullanılan katkıların serbest basınç dayanımına etkisi değerlendirilmiştir. İlk olarak kalsiyum karbit atığını değerlendirdiğimizde katkı oranı artmasıyla dayanım arttığı görülmektedir. %15 kalsiyum karbit katkısı ham numunenin serbest basınç dayanımını 3,63 kat artırdığı görülmüştür. Dayanıma kürlenme açısından bakacak olursak kürlenmenin etkisinin olmadığı saptanmıştır. İkinci olarak çalışmada kullanılan kireç katkısı, 28 günlük kür süresi baz alındığında ham numunenin dayanımını %10 katkı oranında tüm katkı oranları içerisinde en yüksek artış sağlanmış ve 4,74 kat iyileştirme görülmüştür. Kireç katkısına kürlenmenin etkisi açısından bakacak olursak %5, %10 ve %15 kireç katkılı karışımda 7 günlük kür süresine kadar serbest basınç dayanımında önemli bir artış gözlenmiştir. Bu artış %5 ve %10 karışımlarında 14. güne kadar devam etmiş sonrasında sabitlenirken %15 kireç karışımında 7. gün sonrasında sabit bir eğilim olduğu görülmüştür. Son olarak uçucu kül %10 katkı oranında ideal bir dayanım artışı sağlamıştır. Genel bir değerlendirme ile kür süresinin 7.günden sonra dayanımda ciddi bir değişiklik oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda kalsiyum karbit atığının dayanıma ciddi manada etkisinin olduğu görülmüştür.
- Bentonit/Kum ve bu karışıma eklenen belirli oranlarda katkıların mukavemet parametrelerinin gelişimi incelenmiştir. Kohezyon değeri genel manada katkı oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Kürlenmenin etkisiyle kalsiyum karbit atığı kireç ve uçucu kül katkılarında kohezyon değerinde bir artış söz konusudur. 28 günlük kür süresi baz alındığında 14.günden sonra kalsiyum

karbit atığı ve kireç katkısının %15 oranında, uçucu kül katkısı ise %10 katkı oranında pik değere ulaşmıştır.

- Ham numuneye katılan katkıların içsel sürtünme açısına olan etkisi değerlendirilmiştir. Kalsiyum karbit atığı kireç ve uçucu küldür %15 katkı oranlarında içsel sürtünme açısı optimum değere ulaşmıştır. Kürlenmeyle birlikte genel anlamda içsel sürtünme açısının arttığı daha sonrasında genel manada azaldığı görülmüştür. Tüm katkılar incelendiğinde ham numunenin kayma mukavemeti parametrelerinin olumlu yönde iyileştiği görülmektedir. K
- Bentonit/Kum ve bu karışıma eklenen belirli oranlarda katkıların şişme basınçlarına etkisi ve kürlenmeyle birlikte değişimi incelenmiştir. Kalsiyum karbit atığı ve kireç katkılarının saf numunenin şişme basıncını her karışım oranında azaltmış olup %15 katkı oranında en yüksek seviyede azaltmıştır. Kalsiyum karbit atığı saf numunenin şişme basıncı %15 katkı oranında 8 kat azalttığı saptanmıştır. Kireç katkısında ise %10 katkı oranında şişme basıncında maksimum seviyede iyileşme görülmüştür. Uçucu külü değerlendirdiğimizde farklı bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Bazı çalışmalar baz alındığında uçucu külün şişme basıncını azaltan çalışmalar yer almaktadır. Ancak çalışmamızda uçucu kül saf numunenin şişme basıncını her karışım oranında artırmış ve uçucu külün şişme basıncına etkisinin olmadığı aksine negatif bir etkinin olduğu söylenebilmektedir.
- Çalışma kapsamında ham numune ve 30.kür süresi sonrasındaki tüm katkı malzemesi karışımli zeminler üzerinde XRD analizleri yapılmış ve yapılan mineralojik değerlendirmeler sonrasında her bir katkı malzemesinin zeminde CSH, CAH VE CH jellerini oluşturduğu görülmüştür. Bu verilerden yola çıkarak katkı malzemelerinin zeminleri iyileştirici bir unsur olduğu değerlendirilmiştir.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, kalsiyum karbit atığı zemin özelliklerini iyileştirici bir malzeme olup, tez kapsamında incelenen diğer katkı malzemelerinin performansları ile karşılaştırıldığında zeminlerin

iyileştirilmesinde kullanılabilir nitelikte olduğu söylenebilir. Kalsiyum karbit atığının inşaat sektöründe değerlendirilmesi ve bu atık malzemenin ekonomiye katılması açısından önemli bir unsur olup, depolanması ve sonrasındaki çevre kirliliğinin önüne geçilmesi açısından da önemli olduğu değerlendirilmiştir.

- Kalsiyum karbit atığı diğer katkı malzemeleri ile kullanıldığında nasıl bir sonuç vereceği araştırabilir.



KAYNAKLAR

1. Kamon, M., Nontananandh, S., "Combining industrial wastes with lime for soil stabilization" *Journal of geotechnical engineering*, 117(1), 1-17. (1991).
2. Aksoy, H. S., Yılmaz, M., Akarsu, E. E., "Killi bir zeminin tunçbilek uçucu külü kullanılarak stabilizasyonu", *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 88-92, (1998).
3. Tremblay, H., Leroueil, S., Locat, J., "Mechanical improvement and vertical yield stress prediction of clayey soils from eastern Canada treated with lime or cement", *Canadian Geotechnical Journal*, 38(3), 567-579, (2001).
4. Çokça, E., Toktaş, F. "Dispersif Bir Kilin C-Tipi Uçucu Kül ile Stabilizasyonu", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği*, 9, 659-668, (2002).
5. Şenol, A., Edil, T. "Uçucu kül ile stabilize edilen yumuşak zeminlerin cbr sonuçlarının değerlendirilmesi", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği ZM10. Onuncu Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, s. 275-280, (2004).
6. Özaydın, K., "Zemin Mekaniği", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1989).
7. Ghazavi, M., Roustaie, M., "The influence of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay", *Cold Regions Science And Technology*, 61 (2-3): 125-131 (2010).
8. Gücek S., "Mermer tozu ve uçucu külün kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 1-10, (2011).
9. Türköz, M., Savaş, H., Tosun, H. "Problemlili Kil Zeminlerin Magnezyum Klorür Solüsyonu ile İyileştirilmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), (2011).
10. Kampala, A., Horpibulsuk, S., "Engineering properties of silty clay stabilized with calcium carbide residue", *Journal Of Materials In Civil Engineering*, 25 (5): 632-644 (2013).
11. Horpibulsuk, S., Phetchuay, C., Chinkulkijniwat, A., and Cholaphatsorn, A., "Strength development in silty clay stabilized with calcium carbide residue and fly ash", *Soils And Foundations*, 53 (4): 477-486 (2013).

12. Ghabaee S., “Kireç ile Stabilize Edilmiş Bentonitin Kür Süresinin Mukavemet Üzerindeki Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015).
13. Ünver E. “Problemlili kil zeminlerin uçucu kül ile iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir,1-10 (2015).
14. Alpyürür M., “Zemin İyileştirmesinde Öğütülmüş Gazbeton Kullanımı” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2016).
15. Phetchuay, C., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., Suksiripattanapong, C., Udomchai, A., "Strength development in soft marine clay stabilized by fly ash and calcium carbide residue based geopolymer", *Applied Clay Science*, 127–128: 134–142 (2016).
16. Eskişar, T., Altun S., “Kalsiyum karbür ile iyileştirilen bir zeminin mühendislik özellikleri”, *7. Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, (2017).
17. Görgün, B., Bozkurt, E., Kuru, D., Borazan, A. A., Ural, N. “Atık Tavuk Tüyünün Zemin İyileştirmesinde Değerlendirilmesi” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 89-96, (2018).
18. Ma, Q. Y., Cao, Z. M., Yuan, P. “Experimental research on microstructure and physical-mechanical properties of expansive soil stabilized with fly ash, sand, and basalt fiber”, *Advances in Materials Science and Engineering*, (2018).
19. Yarbaşı, N., "Mermer Tozu ve Atık Lastik ile İyileştirilen Düşük Plastisiteli Killi Zeminlerin Dayanım Özellikleri", *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, s. 162–171 (2018).
20. Arslan Ö., “Traverten Tozu ile Stabilize Edilmiş Bir Zeminin Mukavemet Özelliklerindeki Değişimler ile Hidrolik Geçirgenliğinin Labaratuvar Boyutlarında Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2019).
21. Bibak, H., Khazaei, J., Moayedi, H., "Investigating the Effect of a New Industrial Waste on Strengthening the Soft Clayey Soil", *Geotechnical And Geological Engineering*, 6: (2019).
22. Dadanlar A., “Şişen Killerin Stabilizasyonunda Katkı Malzemesi Olarak Atık Cam Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2019).
23. EsmailpourShirvani, N., TaghaviGhalesari, A., Tabari, M. K., Choobbasti, A. J., “Improvement of the engineering behavior of sand-clay mixtures using kenaf fiber reinforcement” *Transportation Geotechnics*, 19, 1-8, (2019).

24. Öztürk İ., “Zemin İyileştirilmesinde Cürüfların Kullanılabilirliği ve Performansının Karşılaştırmalı Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, (2019).
25. Zhang, Yang, Alex E. Johnson, and David J. White. "Freeze-thaw performance of cement and fly ash stabilized loess." **Transportation Geotechnics** 21 100279, (2019).
26. Zhou, S. Q., Zhou, D. W., Zhang, Y. F., Wang, W. J. “Study on Physical-Mechanical Properties and Microstructure of Expansive Soil Stabilized with Fly Ash and Lime”, **Advances in Civil Engineering**, (2019).
27. Esener A. B. “Toprak Dolgu Yapıların Projelendirilmesinde Geoteknik Çalışmalar”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli (2005).
28. Karaca K., “Kimyasal Stabilizasyon Tekniklerinin Bentonit Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, (2018).
29. Demiröz A. “Uçucu Küllerin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanımı”, **Selçuk-Teknik Dergisi**, 8(3), 212-221, (2009).
30. Çokça, E., T. Kireç İpek, C. Çimento. "F Sınıfı Uçucu Kül Katkısının Şişen Bir Zeminin Şişme Basıncına Etkisi." **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi 10**, (1998)
31. Aruntaş, H.Y., “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanımı”, **G.Ü. Müh. Mim. Fak.Dergisi**, 21 (1), 193-203, (2006).
32. ASTM C 618, “Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete”, **ASTM**, (1991).
33. Kalay E., “Sıkıştırılmış Yüksek Plastisiteli Kil Zemin Stabilizasyonunda Pomza, Mermer Tozu ve Kirecin Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, (2010).
34. Özaydın, K., “Zemin Mekaniği”, **Birsen Yayınevi Ltd. Şti.**, İstanbul, (2000).
35. Tunç, A., “Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları”, **Atlas Yayın Dağıtım**, İstanbul, (2002).
36. Herrin, M., and H. Mitchell. "Soil lime mixtures." **Highway Research Board**. Vol. 262. (1961).
37. TS 1900-1, “Methods of testing soils for civil engineering purposes in the laboratory part 1: determination of physical properties”, **TSE**, Ankara, (2006)

38. ASTM, D. "2166-00" Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil", *ASTM*, (2004).
39. ASTM, D. "5321." Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method", *ASTM*, (2002)
40. ASTM, D. "4546-96." Standard test methods for one-dimensional swell or collapse of soils", *ASTM*, (2000).
41. Yılmaz, İ. "Zeminlerin şişme özellikleri", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 21(1), 17-26, (1998).
42. Chen, F.H., "Foundation on Expansive Soils", *Elsevier Publications*, NY, USA, (1975).
43. Holtz, W.G. and Gibbs, H.J., "Engineering Properties of Expansive Clays", *ASCE Transaction*, Vol.121, pp.213-240, (1956).
44. Peethamparan, S., "Fundamental Study of Clay-Cement Kiln Dust (CKD) Interaction to Determine the Effectiveness of CKD as a Potential Clay Soil Stabilizer", Doktora Tezi, *Purdue Üniversitesi*, West Lafayette, USA, (2006).
45. James, R., Kamruzzaman, A.H.M., Haque, A. ve Wilkinson, A., "Behaviour of Lime-Slag-Treated Clay", *Proceedings of the ICE-Ground Improvement*, Vol. 161(4), pp.207-216, (2008).
46. Matsui, K., Ogawa, A., Kikuma, J., Tsunashima, M., Ishikawa, T. ve Matsuno, S., "In Situ Time-Resolved X-Ray Diffraction of Tobermorite Formation Process Under Hydrothermal Condition: Influence of Reactive Al Compound", *Powder Diffraction*, Vol. 26 (02), pp.134-137, (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Selman KAHRAMAN 1992' yılında Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. Ankara Aydınlikevler Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2011 yılında Kayseri Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başladı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği A.B.D. da yüksek lisans ve yapmaya başladı.2017 yılında araştırma görevlisi Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği görevine başladı. Yüksek lisans eğitime ve görevine halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : 100.yıl mah. 1008 cd. Olgunlar Sitesi A blok 19/13 Merkez/KARABÜK

Tel : (554) 247 27 88

E-posta: selmankahraman@karabuk.edu.tr