



**KİL ZEMİN STABİLİZASYONUNDA BAYBURT
TAŞI ATIKLARININ KALSİNASYONUNUN
DAYANIM VE DURABİLİTEYE ETKİSİ**

Gülseren GÜL

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği

Ana Bilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

2024

(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KİL ZEMİN STABİLİZASYONUNDA BAYBURT TAŞI ATIKLARININ
KALSİNASYONUNUN DAYANIM VE DURABİLİTEYE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülseren GÜL

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

BAYBURT- 2024

KABUL VE ONAY

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ danışmanlığında, Gülseren GÜL tarafından hazırlanan “Kil Zemin Stabilizasyonunda Bayburt Taşı Atıklarının Kalsinasyonunun Dayanım ve Durabiliteye Etkisi” başlıklı bu çalışma, 26.06.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan Alper KAMILOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Murat KUL
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kil Zemin Stabilizasyonunda Bayburt Taşı Atıklarının Kalsinasyonunun Dayanım ve Durabiliteye Etkisi” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

26.06.2024

Gülseren GÜL



ÖN SÖZ

Tez çalışma süresince bilgi ve deneyimini paylaştan saygıdeğer tez danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Fatih YILMAZ' a teşekkürü bir borç bilirim. Deneysel çalışmalarımı yaptığım Atatürk Üniversitesi Geoteknik Ana bilim Dalı hocaları; Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU, Prof. Dr. Semet ÇELİK, Doç. Dr. Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK ve Arş. Görevlisi Fatih ARTUK'a, destekleri için Bayburt Üniversitesi Mekanik Ana Bilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Erdal ÖNER'e ve eğitim hayatım boyuncaengin bilgilerini paylaşarak bana yol gösteren, üzerimde emeği bulunan tüm hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Hayatım her anında hep yanımda olan bir an olsun desteğini esirgemeyen kıymetli babam Erdal Gül'e, varlığıyla her daim güç veren sevgili annem Fatma Gül'e, neşe ve umut kaynağım olan kardeşlerime benimle oldukları için çok teşekkür ederim.

Gülseren GÜL

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİL ZEMİN STABİLİZASYONUNDA BAYBURT TAŞI ATIKLARININ KALSİNASYONUNUN DAYANIM VE DURABİLİTEYE ETKİSİ

Gülseren GÜL

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

Bayburt-2024, Sayfa: 103

Rezervleri Bayburt'ta olan Bayburt taşı, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bayburt taşı temelde sarı, yeşil ve beyaz renkte olmak üzere üç türde bulunur. Bu taşların endüstriyel kullanımında atıklar meydana gelmektedir. Bu çalışma kapsamında, beyaz ve sarı renkteki Bayburt taşı atıklarının doğal durumda ve kalsinasyon sonrası zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği irdelenmiştir. Çalışmada doğal zemin olarak yüksek plastisiteli kil kullanılmıştır. Doğal zemine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında beyaz Bayburt taşı atığı, sarı Bayburt taşı atığı, kalsine beyaz Bayburt taşı atığı ve kalsine sarı Bayburt taşı atığı, kirecsiz ve %6 oranında kireçle ilave edilerek numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin serbest basınç dayanımlarının 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinin ardından tespit edildiği bu çalışmada, 28 günlük kürün ardından dört farklı çevrim sayısında donma çözülme deneyleri ve ıslanma kuruma deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında toplam 782 numune üretilmiştir. Serbest basınç dayanımı testi sonucunda, maksimum basınç dayanımı değeri 28 günlük kür süresi sonunda KSBTK20 numunesinden elde edilmiştir. Islanma kuruma deneyi sonuçları incelendiğinde, KSBTK20 ve KBBTK20 numunelerinin 12 çevrim sonunda dahi hacimsel stabilitelerini koruduğu belirlenmiştir. Dayanım ve durabilite yönünden tüm numuneler incelendiğinde, beyaz ve sarı Bayburt taşı atıklarının kalsinasyon sonrası zemin stabilizasyonunda kullanımının, doğal halde kullanımına göre dayanım ve durabilite davranışlarını belirgin bir düzeyde iyileştirdiği elde edilen veriler ışığında tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin stabilizasyonu, donma çözülme, kalsinasyon, Bayburt taşı, dayanım, ıslanma kuruma, kireç.

ABSTRACT

M. SC. THESIS

EFFECT OF CALCINATION OF BAYBURT STONE WASTE ON STRENGTH AND DURABILITY IN CLAYEY SOIL STABILIZATION

Gülseren GÜL

Bayburt University

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Fatih YILMAZ

Bayburt-2024, Pages: 103

Bayburt stone, whose reserves are in Bayburt, is used in various fields as building and decoration material. Bayburt stone is basically found in three types: yellow, green and white. When these stones are used industrially, waste is produced. Within the scope of this study, the usability of white and yellow Bayburt stone wastes in the natural state and after calcination in soil stabilization was examined. High plasticity clay was used as natural soil in the study. Samples were prepared by adding 5%, 10%, 15% and 20% white Bayburt stone waste, yellow Bayburt stone waste, calcined white Bayburt stone waste and calcined yellow Bayburt stone waste, without lime and with 6% lime, to the natural soil. In this study, where the unconfined compressive strengths of the samples were determined after 7, 14 and 28 days of curing, freeze-thaw experiments in four different cycle numbers and wetting-drying experiments were carried out after the 28 days cure. A total of 782 samples were produced within the scope of the study. As a result of the unconfined compressive strength tests, the maximum compressive strength value was obtained from the KSBTK20 sample at the end of the 28 days of curing period. When the wetting drying test results were examined, it was determined that KSBTK20 and KBBTK20 samples maintained their volumetric stability even after 12 cycles. Upon analyzing the strength and durability of all the samples, it was concluded that, in comparison to using the waste white and yellow Bayburt stones in their natural state, using them in soil stabilization after calcination greatly improved the strength and durability behavior.

Keywords: Soil stabilization, freeze thaw, calcination, Bayburt stone, strength, wetting drying, lime.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	II
BEYANNAME	III
ÖN SÖZ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
TABLOLAR.....	IX
ŞEKİLLER.....	XI
KISALTMALAR	XIII
GİRİŞ.....	1
Çalışmanın Konusu ve Problemi	2
Çalışmanın Amacı	2
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi	2
Araştırmanın Sınırlılıkları	3
Varsayımlar.....	3
Terim ve Tanımlar.....	3
BİRİNCİ BÖLÜM	4
1. KURAMSAL ÇERÇEVE	4
1.1. ZEMİN STABİLİZASYONU	5
1.1.1. Mekanik Stabilizasyon	6
1.1.1.1. Mekanik stabilizasyon yöntemleri.....	10
1.1.2. Kimyasal Stabilizasyon	15
1.1.2.1. Kireç ile stabilizasyon	15
1.1.2.2. Çimento ile stabilizasyon.....	16
1.1.2.3. Bitüm ile stabilizasyon	17
1.1.3. Geleneksel Olmayan Katkı Malzemeleri ile Stabilizasyon	18
1.1.3.1. Tuz	18
1.1.3.2. Geopolimer	18
1.1.3.3. Uçucu kül.....	19
1.1.3.4. Yüksek fırın cürufu.....	19
1.1.3.5. Puzolanlar	19
1.1.3.6. Termal stabilizasyon	19
1.1.3.7. Elektriksel stabilizasyon	19
1.2. KALSİNASYON İŞLEMİ	20
1.3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	21
İKİNCİ BÖLÜM	29
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
2.1. MALZEMELER.....	29
2.1.1. Doğal Kil Zemin.....	29
2.1.2. Bayburt Taşı.....	32
2.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
2.2.1. Elek Analizi Deneyi.....	38
2.2.2. Kıvam Limitleri Deneyleri	39
2.2.2.1. Likit limit deneyi	40
2.2.2.2. Plastik limit.....	41
2.2.3. Özgül Ağırlık Deneyi.....	41

2.2.4. Standart Kompaksiyon Deneyi.....	42
2.2.5. Numune Hazırlama.....	46
2.2.6. Serbest Basınç Dayanımı.....	47
2.2.7. Donma Çözülme Deneyi	47
2.2.8. Islanma Kuruma Deneyi.....	48
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	49
3. BULGULAR	49
3.1. TEK EKSENLİ SERBEST BASINÇ DAYANIMI SONUÇLARI	49
3.2. DONMA-ÇÖZÜLME DENEY SONUÇLARI	64
3.3. ISLANMA KURUMA DENEY SONUÇLARI	85
SONUÇ VE ÖNERİLER	93
Sonuç	93
Öneriler.....	96
KAYNAKÇA	98
ÖZ GEÇMİŞ	103

TABLÖLAR

Tablo 1: Zemin Türüne Göre Uygun Stabilizasyon Metodu	5
Tablo 2: Zemin Cinslerine Göre Stabilizasyon Yöntemleri	10
Tablo 3: Zemin Sınıfına Göre Uygun Kireç İçeriği	16
Tablo 4: Zemin Sınıfına Uygun Çimento İçeriği	17
Tablo 5: Tez Çalışmasında Kullanılan Karışım Notasyonları	30
Tablo 6: Doğal Zemine Ait Mühendislik Parametreleri.....	31
Tablo 7: Beyaz Bayburt Taşı Atığı Mineralojik Özellikleri	33
Tablo 8: Beyaz Bayburt Taşı Atığının Kimyasal Özellikleri	34
Tablo 9: Beyaz Bayburt Taşı Atığının Fiziksel Özellikleri	34
Tablo 10: Sarı Bayburt Taşı Atığının Kimyasal Özellikleri	35
Tablo 11: Sarı Bayburt Taşı Atığının Kimyasal Özellikleri	35
Tablo 12: Sarı Bayburt Taşı Atığının Fiziksel Özellikleri	35
Tablo 13: Tez Çalışmasında Uygulanan Deneyler ve Standartları	38
Tablo 14: BBT Numunelerinin Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	50
Tablo 15: SBT Numunelerinin Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	50
Tablo 16: KBBT Numunelerine Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	50
Tablo 17: KSBT Numunelerine Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	50
Tablo 18: BBTK Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	58
Tablo 19: KBBTK Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	58
Tablo 20: SBTBK Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	58
Tablo 21: KSBTK Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)	58
Tablo 22: Beyaz Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	65
Tablo 23: Sarı Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	65
Tablo 24: Kalsine Sarı Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	67
Tablo 25: Kalsine Beyaz Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	67
Tablo 26: BBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	75
Tablo 27: SBTBK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	75
Tablo 28: KBBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	77

Tablo 29: KSBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	77
Tablo 30: Kireçsiz Numuneler Farklı Islanma Kuruma Çevrimi Sonucu Kalan Ağırlıkları ...	86
Tablo 31: Kireçli Numuneler Farklı Islanma Kuruma Çevrimi Sonucu Kalan Ağırlıkları	90



ŞEKİLLER

Şekil 1: Zemin Sınıflandırma Sistemi	5
Şekil 2: Zemin Stabilizasyon Türleri	6
Şekil 3: Zemin Türlerine Göre Stabilizasyon Yöntemlerinin Belirlenmesi	8
Şekil 4: Stabilizasyon Yöntemleri	9
Şekil 5: Vibrokomaksiyonun Uygun Olduğu Gradasyon Eğrisi	11
Şekil 6: Enjeksiyon ile Kompaksiyon Yönteminde Kullanılan Katkıların Nüfus Edebildiği Dane Çapı	12
Şekil 7: Enjeksiyon Türleri	12
Şekil 8: Enjeksiyon Türleri ve Uygun Zemin Türleri	14
Şekil 9: Doğal Zemin Granülometri Eğrisi	31
Şekil 10: Doğal Zemin Kompaksiyon Sonuçları	31
Şekil 11: Bayburt Taşı Türleri	32
Şekil 12: Beyaz ve Sarı Bayburt Taşlarının SEM Analizi	33
Şekil 13: Beyaz Bayburt Taşı Atığı ve Kalsine Beyaz Bayburt Taşı XRD Grafiği	37
Şekil 14: Sarı Bayburt Taşı Atığı ve Kalsine Sarı Bayburt Taşı XRD Grafiği	37
Şekil 15: Elek Analizi Deneyi Uygulama Aşamaları	39
Şekil 16: Likit Limit Deneyi Uygulaması	40
Şekil 17: Plastik Limit Deney Uygulaması	41
Şekil 18: Özgül Ağırlık Deneyi Uygulaması	42
Şekil 19: Kompaksiyon Deneyi Uygulaması	43
Şekil 20: BBT ve KBBT Numunelerinin Optimum Su Muhtevası	44
Şekil 21: SBT ve KSBT Numunelerinin Optimum Su Muhtevası	44
Şekil 22: BBTK ve KBBTK Numunelerinin Optimum Su Muhtevası	45
Şekil 23: SBTk ve KSBTK Numunelerinin Optimum Su Muhtevası	45
Şekil 24: Harvard Deney Aleti ve Hazırlanan Numuneler	46
Şekil 25: Serbest Basınç Dayanımı Deney Aleti ve Kırılan Zemin Numunesi Örneği	47
Şekil 26: Donma Çözülme Deney Kabini	48
Şekil 27: Islanma Kuruma Deney Uygulaması	48
Şekil 28: Farklı Oranlarda BBT Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri(kPa)	51
Şekil 29: Farklı Oranlarda SBT Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri(kPa)	51
Şekil 30: Farklı Oranlarda KBBT Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri(kPa)	53
Şekil 31: Farklı Oranlarda KSBT Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri(kPa)	53
Şekil 32: BBT-KBBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması(kPa)	55
Şekil 33: SBT-KSBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması(kPa)	55
Şekil 34: SBT ve BBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması(kPa)	57
Şekil 35: KSBT ve KBBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması(kPa) ...	57
Şekil 36: Beyaz Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri(kPa)	60

Şekil 37: Kalsine Beyaz Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	60
Şekil 38: Sarı Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa).....	61
Şekil 39: Kalsine Sarı Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)	61
Şekil 40: BBTk ve KBBTk Numunelerinin Basınç Dayanımına Karşılaştırılması (kPa).....	63
Şekil 41: SBTk ve KSBTk Numunelerinin Basınç Dayanımı Karşılaştırılması	63
Şekil 42: Beyaz Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi..	66
Şekil 43: Sarı Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi	66
Şekil 44: Kalsine Beyaz Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi	70
Şekil 45: Kalsine Sarı Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi.....	70
Şekil 46: BBT ve KBBT Numunelerinin Donma -Çözülme Çevrim Etkisi	73
Şekil 47: SBT ve KSBT Numunelerinin Donma -Çözülme Çevrim Etkisi	73
Şekil 48: BBTk Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi	78
Şekil 49: SBTk Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi.....	78
Şekil 50: KBBTk Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi.....	80
Şekil 51: KSBTk Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi	80
Şekil 52: BBT ve BBTk Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi	82
Şekil 53: SBT ve SBTk Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi.....	82
Şekil 54: KSBT ve KSBTk Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi	83
Şekil 55: KBBT ve KBBTk Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi	83
Şekil 56: SBTk ve BBTk Numunelerinin Donma-Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi	84
Şekil 57: KSBTk ve KBBTk Numunelerinin Donma-Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi .	84
Şekil 58: BBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi	87
Şekil 59: SBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi.....	87
Şekil 60: KBBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi	88
Şekil 61: KSBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi	88
Şekil 62: BBTk Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi	91
Şekil 63: SBTk Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi.....	91
Şekil 64: KBBTk Numuneleri Islanma Kuruma Çevrim Etkisi.....	92
Şekil 65: KSBTk Numuneleri Islanma Kuruma Çevrim Etkisi	92

KISALTMALAR

AASHTO	: Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BBT	: Beyaz Bayburt Taşı
BBT5	: Zemin+ %5 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
BBT10	: Zemin+ %10 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
BBT15	: Zemin+ %15 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
BBT20	: Zemin+ %20 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
BBTK5	: Zemin+ %6 Kireç+ %5 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
BBTK10	: Zemin+%6 Kireç+ %10 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
BBTK15	: Zemin+ %6 Kireç+ %15 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
BBTK20	: Zemin+ %6 Kireç+ %20 Beyaz Bayburt Taşı Atığı
°C	: Santigrat Derece
CaCO₃	: Kalsiyum Kabonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
F	: Flor
Fe₂O₃	: Demir Oksit
K₂O	: Potasyum Oksit
KBBT	: Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBT5	: Zemin+ %5 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBT10	: Zemin+ %10 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBT15	: Zemin+ %15 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBT20	: Zemin+ %20 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBTK5	: Zemin+ %6 Kireç+ %5 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBTK10	: Zemin+ %6 Kireç+ %10 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBTK15	: Zemin+ %6 Kireç+ %15 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
KBBTK20	: Zemin+ %6 Kireç+ %20 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı
kgf	: Kilogram Kuvvet
kN	: Kilonewton
KSBT	: Kalsine Sarı Bayburt Taşı Atığı
KSBT5	: Zemin + %5 Kalsine Sarı Bayburt Taşı Atığı
KSBT10	: Zemin + %10 Kalsine Sarı Bayburt Taşı Atığı
KSBT15	: Zemin + %15 Kalsine Sarı Bayburt Taşı Atığı
KSBT20	: Zemin + %20 Kalsine Sarı Bayburt Taşı Atığı
KSBTK5	: Zemin+ %6 Kireç+ %5 Kalsine Sarı Bayburt Taşı
KSBTK10	: Zemin+ %6 Kireç+ %10 Kalsine Sarı Bayburt Taşı
KSBTK15	: Zemin+ %6 Kireç+ %15 Kalsine Sarı Bayburt Taşı
KSBTK20	: Zemin+%6 Kireç+ %20 Kalsine Sarı Bayburt Taşı
MgO	: Magnezyum Oksit
mm	: Milimetre
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

Na₂O	: Sodyum Oksit
NaNo	: Sodyum Nitrit
O₂	: Oksijen
PET	: Polietilen Tereftalat
SBT	: Sarı Bayburt Taşı
SBT5	: Zemin + %5 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SBT10	: Zemin + %10 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SBT15	: Zemin + %15 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SBT20	: Zemin + %20 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SBTK5	: Zemin + %6 Kireç+ %5 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SBTK10	: Zemin + %6 Kireç+ %10 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SBTK15	: Zemin + %6 Kireç+ %15 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SBTK20	: Zemin + %6 Kireç+ %20 Sarı Bayburt Taşı Atığı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiO₂	: Silisyum Di Oksit
SO₃	: Kükürt Tri Oksit
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
XRD	: X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi
yy	: Yüzyıl
Z	: Zemin
Z+K	: Zemin+Kireç

GİRİŞ

Kayaçların mekanik veya kimyasal olarak ayrışması sonucu oluşan farklı boyutlardaki materyallere zemin denir. Zeminlerin davranışlarını inceleyen bilim dalına ise geoteknik denir. Zeminlerin içerdikleri mineral, organik madde ve kimyasal maddeler zeminin özelliklerini ve davranışlarını belirleyen temel parametrelerdir.

Zemin gerek doğal sebeplerden gerek üzerine uygulanan yüklerden ve gerekse kimyasal sebeplerden dolayı deforme olur. Bu deformasyon zeminin özelliklerinin değişmesine ve özellikle de mühendislik parametrelerinin bozulmasına sebebiyet vermektedir.

Artan dünya nüfusu ve kentleşme ile yapıların konumlandırılacağı alanlarda ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunların başında yapı alanının az olması, ekolojik dengeyi bozmayacak şekilde yapı alanların seçilmesi ve temelde de yapı yapılacak alanın zemin özelliklerinin yeterli mühendislik özelliklerine sahip olmaması gelmektedir. Yapılan çalışmalar yeni araziler keşfetmek yerine mevcut zeminin mühendislik özelliklerini çeşitli yöntemler ile iyileştirmenin daha ekonomik ve daha sürdürülebilir olduğunu ortaya koymuştur.

Zemin stabilizasyonunda stabilizasyon türünün seçimi ve zemin türüne uygunluğu önemli parametrelerdir. Zemin stabilizasyonu temelde mekanik ve kimyasal iyileştirme olmak üzere ikiye ayırmıştır. (Lambe, 1979).

Gary (2007), yapmış olduğu çalışmada mekanik stabilizasyonu, gradasyon derecesini değiştirmek ve zemin özelliklerini geliştirmek (iyileştirmek) amacıyla iki ya da daha fazla zemin türünün karıştırılması olarak tanımlamıştır. Mekanik stabilizasyon temelde büyük gradasyona sahip zemininin, boşluk oranını azaltmak için ince taneli zeminler ile karıştırılmasıdır. Granüler stabilizasyon olarak bilinir. Sıkıştırma işlemi ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanır. Başlıca mekanik stabilizasyon türleri, vibro kompaksiyon metodu, patlatma metodu, dinamik kompaksiyon, enjeksiyon ile kompaksiyon ve jet grottur.

Kimyasal stabilizasyon zemin özelliklerini iyileştirmek için zemin içerisine çeşitli katkıları eklenerek geliştirilen stabilizasyon çeşididir. Kimyasal stabilizasyon, geleneksel ve geleneksel olmayan katkıların kullanılmasıyla elde edilen olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Geleneksel katkıları; kireç, çimento, uçucu kül ve bitüm gibi katkılarıdır. Geleneksel olmayan katkıları; tuz, geosentetik malzemeler ve emülsiyonlardan oluşur.

Zemin stabilizasyonunda kullanılacak yöntemin seçilmesinde zeminin yapısı, geçirimsizlik, dayanım, elastisite modülü, durabilite, hacimsel değişimler gibi mühendislik özellikleri, zeminin kullanım amacı, fayda/maliyet analizleri, stabilizasyon türünün çevreye ve biyolojik sisteme etkisi önemli rol oynamaktadır. Zemin stabilizasyonu zeminin, mukavemetinin artması geçirimsizliğinin azalması, şişme -büzülme, donma-çözülme direncinin artmasını, çevreci ve sürdürülebilir olmasını sağlayabilmektedir.

Çalışmanın Konusu ve Problemi

Bu tez çalışması kapsamında, beyaz ve sarı renkteki Bayburt taşı atıkları doğal halde ve kalsinasyon işleminin ardından zeminle kireçli ve kirecsiz olarak karıştırılmış ve hazırlanan numunelerde meydana gelen iyileştirmeler irdelenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, doğal zemine temel bağlayıcı olarak %6 oranında kireç ilave edilmiştir. Kirecin kalsine ve kalsine olmayan Bayburt taşları ile belirlenen oranlarda karıştırılarak zeminin mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise katkı malzemeleri ile üretilen numunelerin 7,14 ve 28 günlük kür süreleri sonunda numunelere serbest basınç dayanım testi yapılarak kür süresinin etkisi araştırılmıştır. 28 günlük kür süresini tamamlayan numunelere donma çözülme deneyi yapılmıştır. Donma çözülme deneyinde farklı çevrimler belirlenerek katkı oranlarının farklı çevrimlerde gösterdiği davranışlar incelenmiştir.

Çalışmanın Amacı

Zemin stabilizasyonunda kalsinasyon etkisini araştırarak elde edilen sonuçların zemin stabilizasyonu için uygulanabilirliğini araştırmak ve bu konuda yeni yaklaşımlar ortaya koymak, zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirerek yapı için uygun olmayan zeminlerin kullanılır hale getirilebilmesini sağlayabilmek ve özellikle don olaylarının sıklıkla yaşandığı soğuk iklim bölgelerinde zeminin donma-çözülme direncini arttırmak tez çalışmasının temel amaçlarını oluşturmaktadır.

Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi

Zemin stabilizasyonu alanında literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Literatür incelendiğinde zemin stabilizasyonunda kalsinasyon etkisi ile ilgili çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma zemin stabilizasyonunda kalsinasyonun etkisi konusunda yeni bir yaklaşım sunması sebebiyle literatüre katkı sunmaktadır.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırma konusu katkı malzemesi olarak beyaz Bayburt taşı ve sarı Bayburt taşı ile, serbest basınç dayanımı kür süresi olarak 7, 14 ve 28 gün ile, donma çözülme ve ıslanma kuruma kür süresi olarak 28 gün ile, donma çözülme çevrim sayısı olarak 3, 6, 9, 12 çevrim sayısı ve donma sıcaklığı -21 °C, çözülme sıcaklığı +25°C olarak sınırlandırılmıştır.

Varsayımlar

Yapılan araştırmada herhangi bir varsayım yapılmamıştır.

Terim ve Tanımlar

Araştırmada; zemin, zemin stabilizasyonu, kalsinasyon terimleri sıklıkla kullanılmıştır.

Kayaçların çeşitli sebeplerle parçalanması sonucu oluşan malzeme zemin olarak tanımlanmaktadır.

Çeşitli sebeplerle deforme olup mühendislik özellikleri bozulan veya mühendislik özelliklerini kaybeden zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için geliştirilen mekanik ve kimyasal metotlara zemin stabilizasyonu denir.

Malzemenin yüksek sıcaklıklara tabii tutularak aktif hale getirilmesi işlemi kalsinasyon olarak tanımlanmaktadır.

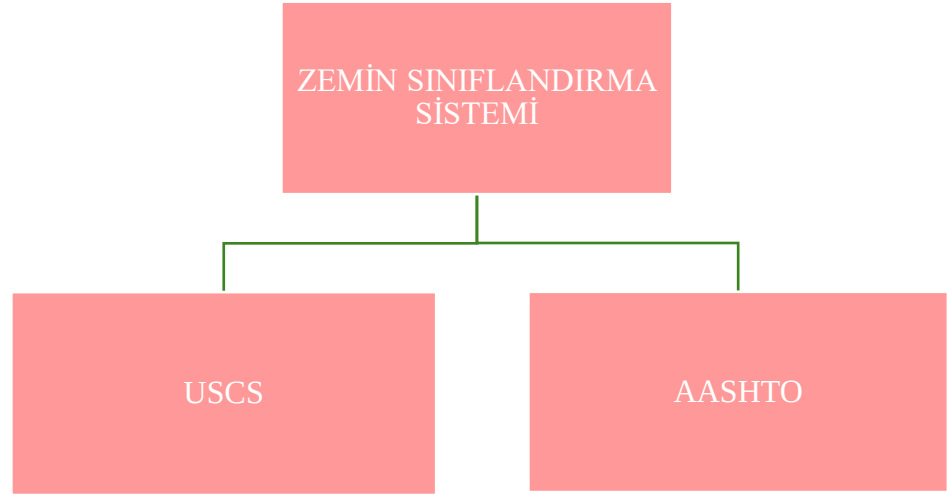
BİRİNCİ BÖLÜM

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

Kayaçların mekanik veya kimyasal olarak ayrışması sonucu oluşan farklı boyutlardaki materyallere zemin denir. Zeminlerin davranışlarını inceleyen bilim dalına geoteknik denir. Zeminlerin içerdikleri mineral, organik madde ve kimyasal maddeler zeminin özelliklerini ve davranışlarını belirleyen temel parametrelerdir. Bir zeminin yapısı toprak tanelerinin düzenleme şekli ve toplanma durumuna göre belirlenir. Daha kapsamlı olarak incelendiğinde zemin yapısı minerolojik yapı, elektriksel özellikler zemin tanelerinin yönü ve şekli zeminin içerisindeki suyun içeriği gibi parametreler zemin yapısının belirlenmesinde etkindir. Zeminin fiziksel yapısı oldukça karmaşıktır. Bir zemin kütlesi katı parçacıklar ve parçacıklar arasında bulunan boşluklardan oluşur. Zeminin boşlukları tamamen veya kısmen suyla doldurabilir. Sıvı ile dolmayan kısımlar hava veya başka bir gazla doldurulur. Zeminin fiziksel yapısını oluşturan temel bileşenlerin birbirinden ayıran farklılıklarına faz denir. Başka bir ifadeyle bir sisteme fiziksel veya kimyasal olarak farklı homojen ve mekanik olarak ayrılabilir her bir parçası Yunancadan türetilmiş olan faz ile adlandırılır Venkataramaiah (2006).

Zemin ve temel mühendisliğine yardımcı olması amacıyla zeminler fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre kategorilere ayrılmıştır. Zemin özelliklerini belirlemek için bir takım sınıflandırma testleri yapılmaktadır. Bu testler indeks özellikleri olarak adlandırılan ve mukavemet, şişme, büzülme, yük taşıma kapasitesi ve oturma parametrelerini içerir. Bu parametreler tek tek zemin taneleri veya zeminin tamamını kapsayabilir. Zeminler; kökenlerine, bileşenlerine, konumlarına ve jeolojik özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Örneğin aynı şantiyede birbirine yakın iki yerden alınan zemin özellikleri bakımından oldukça farklı olabilmektedir. Bu nedenle zemin numuneleri üzerinde yerinde ve laboratuvar ortamında testler yapılmaktadır.

Zeminler benzer mühendislik parametrelerine göre sınıflandırılmaktadır. Zemin sınıflandırma yöntemleri genel olarak; Atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, rötre limiti), zemin gradasyon bilgisi (D_{50} , D_{10} , D_4) esas alınır. USCS ve AASHTO olmak üzere yaygın olarak iki zemin sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Şekil 1 zemin sınıflandırma sistemini göstermektedir.



Şekil 1: Zemin Sınıflandırma Sistemi

1.1. ZEMİN STABİLİZASYONU

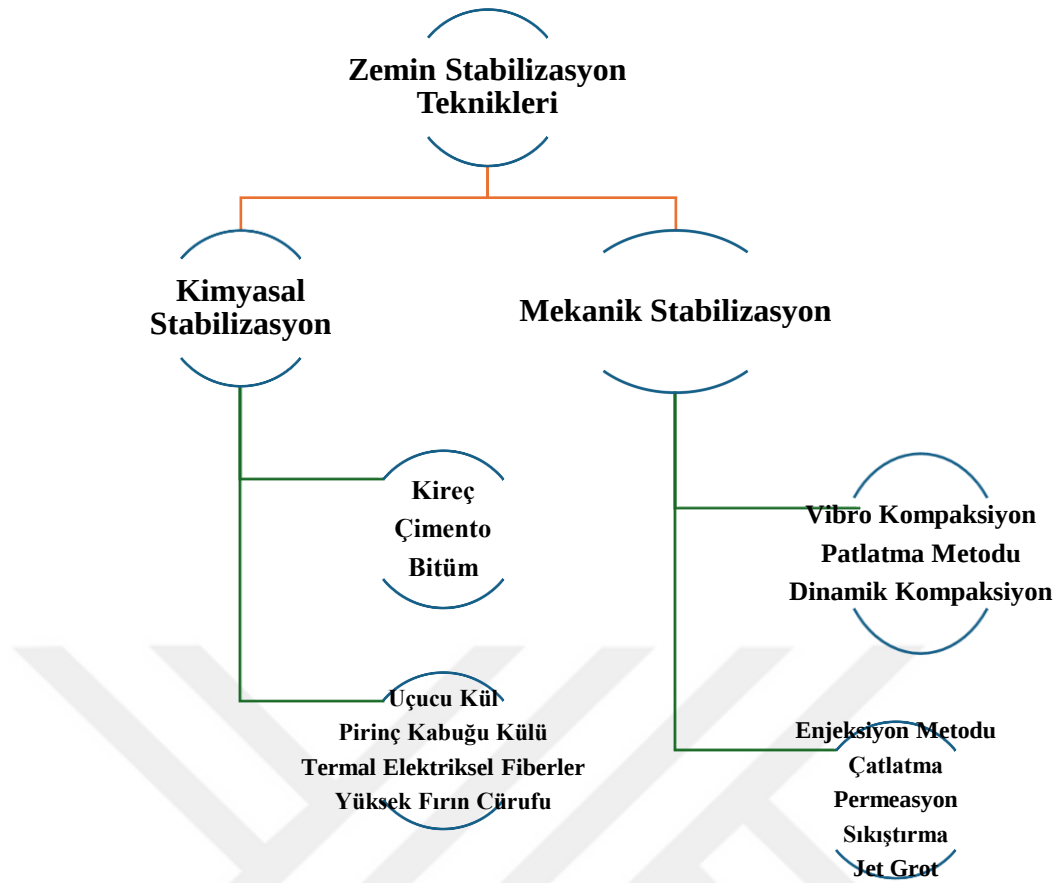
Kil, silt gibi zeminler veya sıvılaşma potansiyeli yüksek zeminlerde boşluk suyu basıncının artması, başta zeminin taşıma gücünü kaybetmesi olmak üzere ciddi yapısal sorunlara neden olur. Yapı için her zaman uygun zeminlerin bulunamaması veya fayda/maliyet oranının yüksek olması mevcut zemin özelliklerinin iyileştirilmesi için çeşitli metotların geliştirilmesine neden olmuştur. Zemin stabilizasyonu, stabilizasyon amacına, zemin türüne göre değişiklik göstermektedir. Tablo 1 zemin türüne göre uygun stabilizasyon türünü göstermektedir.

Mitchell (1961) Zemin türlerine göre uygun stabilizasyon türünün seçilmesine yönelik yeni bir metot geliştirmiştir. Şekil 2 mevcut zemin stabilizasyon türlerini göstermektedir.

Hunt (2010) Zemin cinsine göre uygun stabilizasyon türünü belirlemiştir. Yapmış olduğu sınıflandırma Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Zemin Türüne Göre Uygun Stabilizasyon Metodu

Zemin Türü	Stabilizasyon Türü
İri Taneli Zemin	Mekanik stabilizasyon, bitüm, çimento, kireç-uçucu kül
İnce Taneli Zemin	Mekanik stabilizasyon, Portland çimento, kireç-uçucu kül, bitüm
Düşük Plastisiteli Kil	Kompaksiyon, Portland çimento, kimyasal su geçirmez katkı, kireç
Yüksek Plastisiteli Kil	Kireç ile stabilizasyon



Şekil 2: Zemin Stabilizasyon Türleri

Uzuner (2013), zemin stabilizasyonunu derin stabilizasyon türleri ve yüzeysel stabilizasyon türleri olarak sınıflandırmıştır. Sınıflandırma Şekil 4’ te gösterilmiştir.

1.1.1. Mekanik Stabilizasyon

Çalık (2012), zemine herhangi bir katkı malzemesi ilave edilmeden yapılan stabilizasyon türüdür. Mekanik stabilizasyonda iyileştirme temelde, kullanılacak malzemenin plentlerde karıştırılıp uygulanması esasına dayanır.

Gary (2007), mekanik stabilizasyon, gradasyon derecesini değiştirmek ve zemin özelliklerini geliştirmek (iyileştirmek) amacıyla iki ya da daha fazla zemin türünün karıştırılması prosesine dayanmaktadır. Temelde büyük gradasyona sahip zemininin boşluk oranını azaltmak için ince taneli zeminler ile karıştırılır. Granüler stabilizasyon olarak bilinir. Sıkıştırma işlemi ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanır.

Arora (2011), mekanik stabilizasyonu agrega ve bağlayıcı olmak üzere iki şekilde gruplandırmıştır. Agregalar 75 mikrondan büyük tane boyutunu, bağlayıcı ise 75 mikrondan küçük tane boyutunu ifade etmektedir.

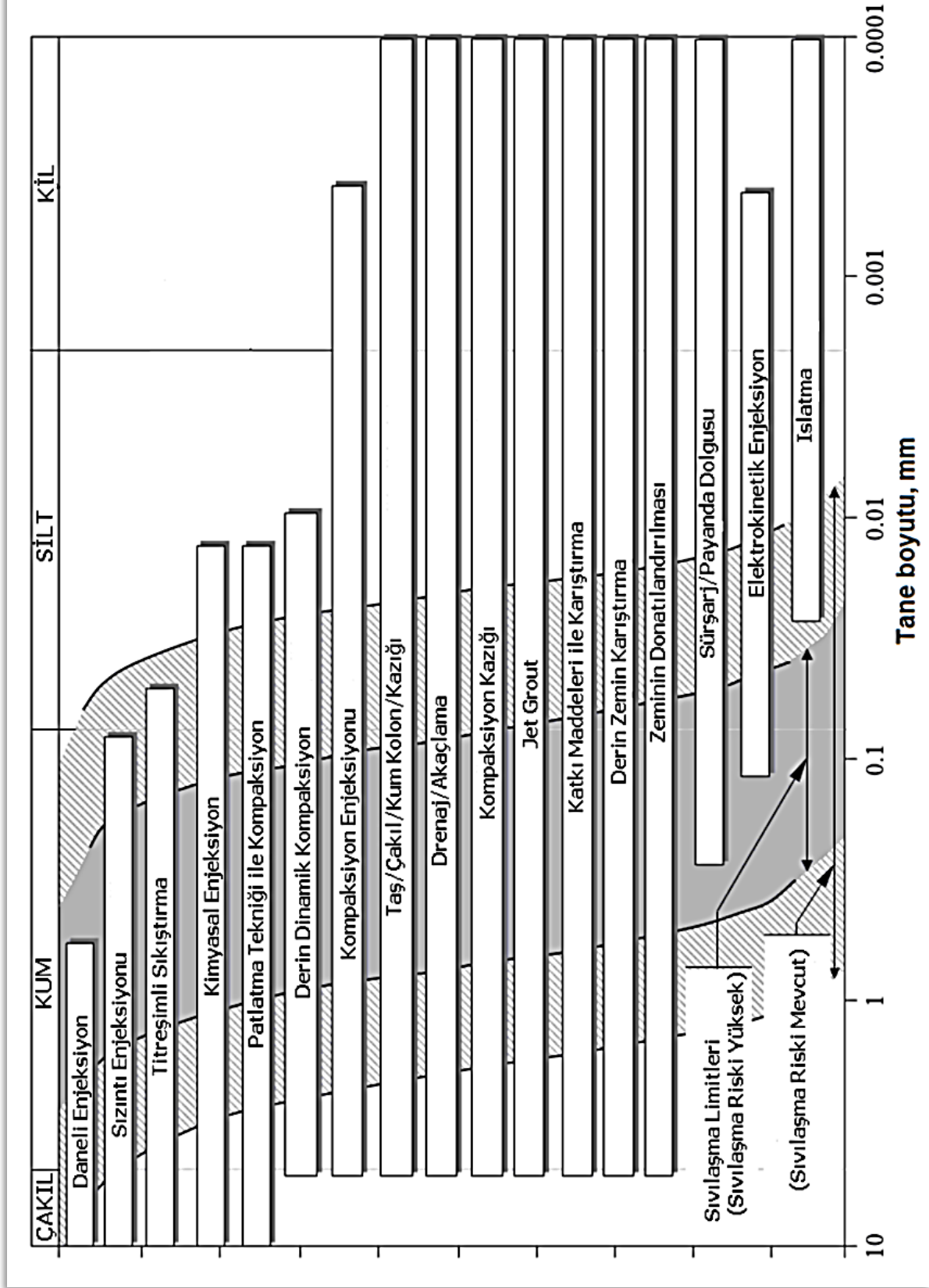
Mc.Charty (1986), sıkıştırma işleminin sığ derinliklerde silindirler, tokmaklar ve mekanik araçlar ile derin zemin katmanlarında ise vibro sıkıştırma, ağırlıkla sıkıştırma ve patlatma yöntemlerinin uygun olduğu sonucuna varmıştır.

Archibong (2020) çalışmasında mekanik stabilizasyonu etkileyen faktörleri,

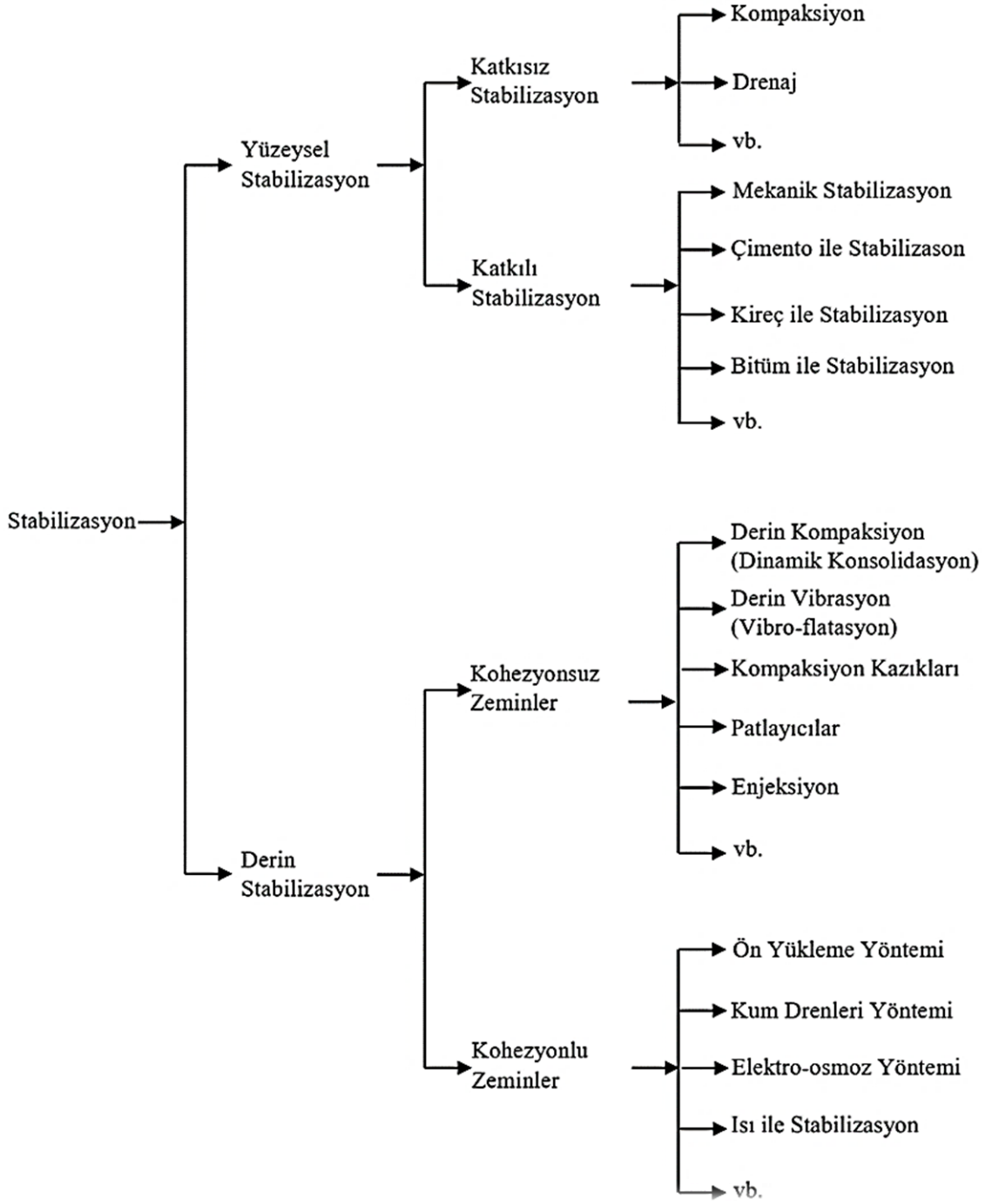
- Kullanılan agreganın mukavemeti
- Zemin içerisinde bulunan mineraller ve özellikleri
- Karışım gradasyonu
- Zeminin plastisite özellikleri
- Zemin sıkıştırma türü

olarak belirlemiştir.

Mitchell ve Gallagher, 1998 yılında yaptıkları çalışma ile zemin türlerine göre uygun olabilecek stabilizasyon türlerini belirlemişlerdir. Şekil 3 zemin stabilizasyonu için zemin türü ve stabilizasyon metodunu göstermektedir.



Şekil 3: Zemin Türlerine Göre Stabilizasyon Yöntemlerinin Belirlenmesi (Mitchell ve Gallagher, 1998)



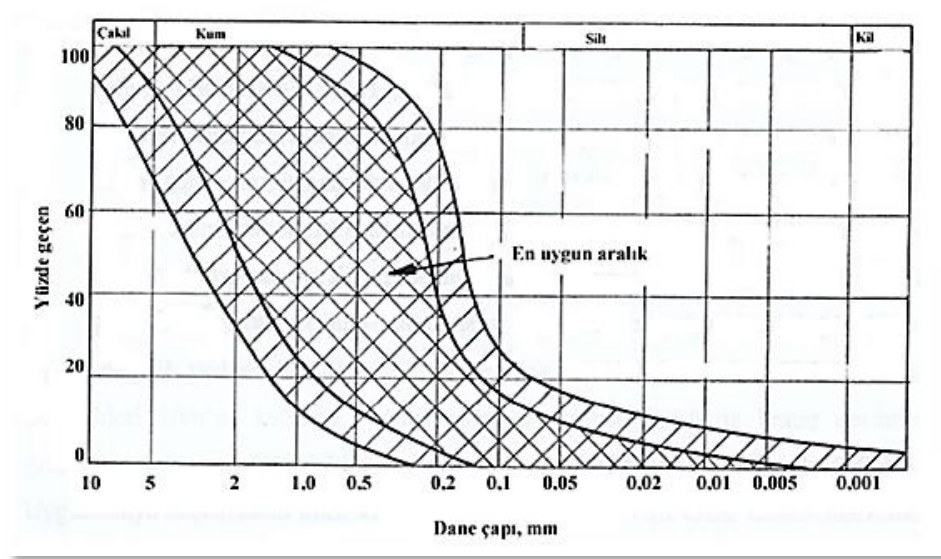
Şekil 4: Stabilizasyon Yöntemleri (Uzuner, 2013)

Tablo 2: Zemin Cinslerine Göre Stabilizasyon Yöntemleri (Hunt, 1986 ve 1994)

Zemin Türü		Uygun Stabilizasyon Metotları
Dolgu çeşitleri	Sığ	Kazı/Geri dolgu
	Derin	Dinamik kompaksiyon, kum kolonlar
Organik zeminler	Sığ	Kazı/Geri dolgu, geotekstil
	Derin	Sürşarj, geotekstil, kum kolonlar
	Tabakalı	Sürşarj, patlatma tekniği, dinamik kompaksiyon, kompaksiyon enjeksiyonu, kum kolonlar, taş kolonlar
Yumuşak zemin(killer)	Sığ	Kazı/Geri dolgu, geotekstil
	Derin	Sürşarj, geotekstil, kum veya kireç kolonlar
	Tabakalı	Sürşarj, dinamik kompaksiyon, kompaksiyon enjeksiyonu, kum veya kireç kolonlar
Kil zeminler		Mekanik stabilizasyon, kireç stabilizasyonu, termal (dondurma), elektro-osmoz, geosentetik, drenaj
Gevşek siltler	Sığ	Kazı/Geri dolgu, tuz katkısı
	Derin	Dinamik kompaksiyon, sürşarj, taş kolonlar, elektro-osmoz, vakum kuyular
Gevşek kumlar	Sığ	Çimento veya bitüm stabilizasyonu, dinamik kompaksiyon
	Derin	Vibroflatasyon, vibrokompaksiyon, dinamik kompaksiyon, enjeksiyon, taş kolonlar, drenaj kuyuları, termal (dondurma)
Sıvılaşılabilen zeminler		Dinamik kompaksiyon, enjeksiyon, taş kolonlar, drenaj
Şişen zeminler		Kireç stabilizasyonu, drenaj, çimento, uçucu kül, tuz, kimyasal katkılar
Çatlaklı kayalar		Enjeksiyon, ankraj, şatkrit, yüzey altı yatay drenaj

1.1.1.1. Mekanik stabilizasyon yöntemleri**Vibro kompaksiyon metodu**

Boşluk oranı yüksek zeminlerde, zemine içerisine vibroflot cihazıyla dolgu malzemesi yerleştirilir. Dolgu malzemesi sıkıştırılarak, zeminin boşluk oranı azaltılır. Şekil 5 Vibrokompaksiyon için uygun gradasyonu göstermektedir. Kıyı, liman inşaatlarında kullanılır.



Şekil 5: Vibrokomaksiyonun Uygun Olduğu Gradasyon Eğrisi (Tunçdemir, 2004)

Patlatma metodu

Zemine belirli aralıkla yerleştirilen patlayıcılar ile zeminin sıkıştırılması hedeflenmektedir. Zemine yerleştirilen patlayıcılar patladığında ortaya çıkan kinetik ve ısı enerjisi zeminin hareket eder ve zeminde sıkıştırma gerçekleşir. Tünel inşaatlarında kullanımı yaygındır.

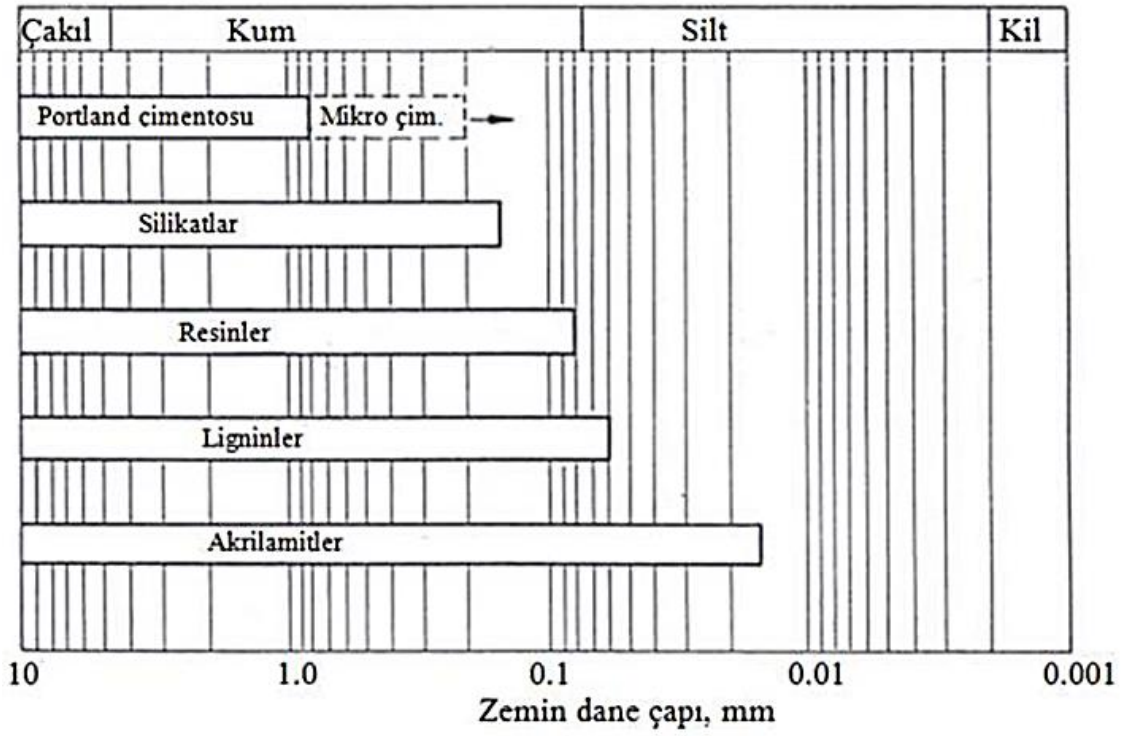
Dinamik kompaksiyon

Zemini iyileştirmek için 10 m yükseklikten bırakılan yaklaşık 5-10 ton ağırlığında beton veya çelikler ağırlıklar ile zemin sıkıştırılır. Dinamik kompaksiyon ile;

- Zayıf zeminler sıkıştırılabilir.
- Zemin taşıma kapasitesi artar.
- Ekstrem sahalardaki toprak koşullarını, sığ temellerin derin kazı veya kazık yapmadan kullanılabileceği ölçüde iyileştirebilir.

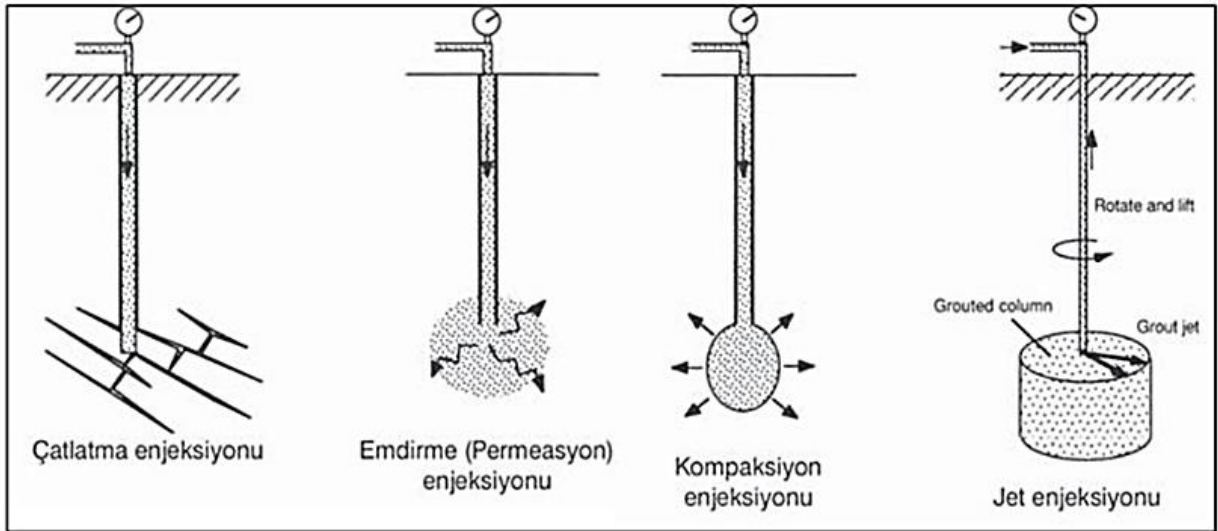
Enjeksiyon ile kompaksiyon

Enjeksiyon ile stabilizasyon metodu zemini iyileştirmek için zemin içerisine emülsiyon, süspansiyon veya çözelti halindeki maddelerin çeşitli mekanik aletlerle uygulanması işlemidir. Enjeksiyon kullanılması zeminin boşluk miktarını azaltır ve zeminin yük taşıma kapasitesini artırır. Şekil 6 Enjeksiyonda kullanılan katkı malzemelerinin etki edebildiği dane çapını göstermektedir.



Şekil 6: Enjeksiyon ile Kompaksiyon Yönteminde Kullanılan Katkıların Nüfus Edebildiği Dane Çapı (Tunçdemir, 2004)

Enjeksiyon türleri; Şekil 7’de görüldüğü üzere çatlatma enjeksiyonu, permeasyon enjeksiyonu, kompaksiyon enjeksiyonu ve jet grot olmak üzere dört çeşittir. Şekil 8 ise zemin türüne göre uygun enjeksiyon metodunu göstermektedir.



Şekil 7: Enjeksiyon Türleri (Tunçdemir, 2004)

Çatlatma enjeksiyonu; çimentolu harç kullanılarak zemin sıkıştırılır. İnce taneli zeminlerde kullanılır. Çimento harcı zemine önce yüksek basınç ile verilir daha sonra oluşan çatlaklarda çimento harcı ile doldurulur.

Little John (2017), permeasyon enjeksiyonunu, ince infeksiyonlar zeminin nüfus edecek şekilde enjekte edilir. Genellikle kimyasal enjeksiyon gerçekleşir. Yeraltı su bariyerleri oluşturmak için ve kazı veya tüneller yapılmadan önce kullanılır olarak tanımlamıştır.

Rubrich (2018), sıkıştırma enjeksiyonu; dolgu oluşturmak için zemine borular yardımıyla uygulanması işlemidir. Bu yöntem aşırı oturmaya maruz kalan zeminlerin onarımı ve iyileştirilmesi için kullanılır.

Bell (1993), jet grotu 1960'lı ve 1970'li yıllarda Japonya'da geliştirilmiş en son enjeksiyon metodu olarak ifade etmiştir. Enjeksiyonlar toprağı yüksek basınçta enjekte eden yatay jetlerle donatılmış özel borular kullanılır. Yeraltı suyu kontrolü, tünel açma gibi işlemlerde kullanılır.

Ercan (2017), jet grot uygulamasının yüksek plastisiteli silt zemin üzerinde kullanılabilirliğini incelemiştir. Erzurum İli atık su arıtma tesisinde gerçekleştirilen çalışmada 2107 jet grout kolonu kullanılmıştır. İslah edilecek zeminin başlangıçta zemin oturma değeri 11 ila 27 cm arasında değişirken jet grot uygulamasından sonra zemin oturma değeri 1 cm'ye indirgenmiştir. Jet grot uygulaması zemine uygulanan sıvılaşma analizleri sonrasında konsolidasyon ve standart penetrasyon deneyleri ile kontrol edilmiştir. Çalışma sonucunda yüksek plastisiteli silt zeminde jet grot uygulamasının kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Reolojik Kategori	Partiküler Süspansiyonlar (Bingham Akışkanları)		Çözeltiler (Newton Akışkanları)			Gaz Emülsiyonları
	Kararlı	Kararsız	Koloit Çözeltiler (Viskozite zamanla artmakta)	Saf Çözeltiler (Viskozite zamanla değişmemekte)		
Enjeksiyon Malzemelerinin Ana Türleri	Sadece Çimento	Bentonit veya kil ile birlikte çimento	Topaklaşmamış Bentonit	Kimyasal Enjeksiyon Malzemeleri		Şişebilen Enjeksiyon Malzemeleri
				Sodyumsilikat Bazlı	Organik Reçineler Bazlı	
				Yüksek dayanımlı	Orta-düşük dayanımlı	Çimento Bazlı
Uygulama Alanları	Çatlaklı kaya ve duvar	Çakıl	Kaba Kumlar	Mikrofisürlü ve geçirimli kaya		Organik Ürünler Bazlı
				GRANÜLER ZEMİNLER		
				Orta-İnce Kum	İnce Siltli Kumlar (Kumlu Siltler)	Büyük Boşluklar veya Oyuklar
Geçirimlilik katsayısı, k, (m/s)		$>5.10^{-4}$	$>5.10^{-5}$	$>5.10^{-5}$	$>1.10^{-6}$	Boşluklar ve hızlı akan sızıntı suları
Özgül Yüzey, Ss, (m ² /N)		<0.5	<1.5	<1.5	<10	
Temel Enjeksiyon Tekniği	Yüksek Basınç	Kontrollü hacim ve basınç				Düşük Basınç (Boşlukların doldurulması)

Şekil 8: Enjeksiyon Türleri ve Uygun Zemin Türleri

1.1.2. Kimyasal Stabilizasyon

Kimyasal stabilizasyon zemin özelliklerini iyileştirmek için zemin içerisine kimyasal ya da kimyasal olmayan katkı malzemelerinin karıştırılmasıyla yapılan stabilizasyon türüdür. Kimyasal stabilizasyonda katkı malzemesi olarak kireç, çimento, uçucu kül, bitüm, geopolimerler, tuz vs. kullanılır. Kimyasal stabilizasyonda temel bağlayıcı olarak kullanılan kireç, bitüm ve çimento ile yapılan çalışmalar incelendiğinde zemin iyileştirmede;

- Kireç kullanımı ile ilgili 126000,
- Çimento kullanımı ile ilgili 183000,
- Bitüm kullanımı ile ilgili 25700,

çalışma olduğu görülmektedir. Bu veriler zemin stabilizasyonunda bu üç katkı malzemesinin önemini açıkça göstermektedir.

1.1.2.1. Kireç ile stabilizasyon

Yapılan çalışmalar incelendiğinde kirecin tüm ortamlarda reaksiyona girebileceği görülmüştür. Uygun şartlar sağlandığında kireç zemin stabilizasyonunda oldukça efektif sonuçlar vermektedir. Kirecin zeminin plastisitesini ve şişmeyi azalttığı; işlenebilirliği ve zeminin dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Johnsson (1948), kirecin zemin stabilizasyonunda kullanımının 20.yy. dayandığı görülmektedir.

Lambe ve Whitman (1979), kireç ile zemin karıştırıldığında zeminin her bir parçası kation ve anyon yüklü olması sebebiyle kimyasal reaksiyon gerçekleşir.

Garg (2007), kireç ıslak zemin ile reaksiyona girdiğinde sodyum veya hidrojen iyonlarının yerini kalsiyum iyonları alır ve baz değişimi gerçekleşir. Kireç stabilizasyonu etkili bir şekilde zeminin likit limitinde azalmaya ve bunun yanında plastik limitinde artışa neden olmaktadır. Bu durum ise plastisite indisinin düşmesine ve stabilitesi yüksek zemin elde edilmesine neden olur. Stabil olmayan killi zeminlerde kullanılmaktadır.

Arora (2011), stabilizasyon için gerekli olan kireç miktarı zeminin plastisite endeksine bağlı olarak belirlenir. Genellikle %1 ile %3 arasında değişir. Plastisite endeksi değeri arttıkça gereken kireç oranı da artmaktadır.

Rogers (2000), modern zamanlarda kara yolları ve demir yollarının genişletilmesiyle zemin stabilizasyonunda kireç kullanımı arttığı ve bu durumun özellikle kirecin kısa ve uzun vadede maliyetinin uygunluğu ve iyileştirme özelliğinin de sağladığı fayda olduğu ek olarak

kireç ile stabilizasyon zemin tipi, zemin mineralojisi, kireç içeriği, kür süresi, kür sıcaklığı, sülfat içeriği parametrelerine bağlı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Hilt vd. (2018) yaptıkları çalışmada killi kireç eklediğinde önce zeminin afinitesini tatmin etme eğilimindedir bu afinite Ca^{+2} iyonlarının kil mineralleri tarafından absorbe edilmesiyle başlar. Bu ana kadar puzolanik reaksiyonun gerçekleşmediği sonucuna varmışlardır.

Tablo 3: Zemin Sınıfına Göre Uygun Kireç İçeriği (Tunç, 2012)

Zemin Türü	Kullanılabilecek Kireç miktarı
İyi Derecelenmiş Killi Çakıl	3
Organik Zeminler	Uygun değil
Kumlu Kil	5
Siltli Kil	2-4
Plastik Kil	3-8
Yüksek Plastisiteli Kil	3-10
Kumlar	Uygun değil

Tunç (2012) yaptığı çalışmada, zemin türlerine göre optimum kireç içeriğini Tablo 3'te gösterilmiştir. Veriler göstermektedir ki, organik içeriğe sahip zeminlerde ve kum zeminlerde kireç kullanımı uygun değilken, kil zeminlerde kireç kullanımı etkin rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır.

1.1.2.2. Çimento ile stabilizasyon

Behzad (2008), çimento ile zemin stabilizasyonunda, toz haline getirilmiş Portland çimentosu su ile zeminle karıştırılır ve sıkıştırılır çimentoyla stabilizasyon zeminin mukavemetini ve dayanıklılığını artırırken nem değişimlerini minimum seviyeye indirir.

Gary (2007), yapmış olduğu çalışmada stabilizasyon da çimento kullanımının kil hariç diğer tüm zemin türlerinde etkili olduğunu belirlemiştir.

Mitchell (1961), yapmış olduğu çalışmada zemin de çimento kullanımının etkisini araştırmıştır. Zemin stabilizasyonunda kullanılan çimentoyu üç grupta kategorize etmiştir. Birinci grup: normal zemin çimentosu, zemine hacimce yaklaşık %5-%14 oranında katılır. Kullanılan su miktarı çimento hidrasyonunu sağlayacak miktardadır çünkü zemindeki fazla su stabilizasyonu olumsuz etkilemektedir. Kumlu zeminler ve düşük plastisiteli zeminler için

uygundur. İkinci grup: plastik zemin çimentosu, hacimce yaklaşık %5- %14 oranında katılır. Normal zemin çimentosundan farkı daha fazla su içeriğine sahip olmasıdır. Su kanalları ve rezervuarları su geçirmez hale getirmek için ve dik yokuşları suyun aşındırıcı etkisinden korumak amacıyla yapılır. Üçüncü grup: çimento modifiyeli zemin, hacimce %5’ ten az çimento içermektedir bu nedenle zemine tutarlı bir bağlılık söz konusu değildir. Bu grup çimento silt ve kil ile etkileşime girer ve suya olan afinitesi sebebiyle şişme etkisini azaltır.

Arora (2011), yaptığı çalışmada çimento ile yapılan zemin stabilizasyonu, zemin tipi, çimento kalitesi, suyun kalitesi ve miktarı, karışım özelliği, sıkıştırma ve kür sıcaklığına ve kullanılan katkı malzemesi parametrelerine bağlı olduğu sonucuna varmıştır.

Tunç (2012) yaptığı çalışmada AASHTO ve USCS zemin sınıflandırma metodlarına göre zemine eklenecek çimento içeriğini ağırlıkça ve hacimce olarak belirlemiştir. Sonuçlar Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4: Zemin Sınıfına Uygun Çimento İçeriği (Tunç, 2012)

AASHTO Zemin Sınıfı	Birleştirilmiş Zemin Sınıfı	Tipik Çimento İçeriği (% Ağırlıkça)	Çimento İhtiyacı Sınırları	
			%Hacimce	%Ağırlıkça
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	5	5-7	3-5
A-1-b	GM, GP, SM, SP	6	7-9	5-8
A-2	GM, GC, SM, SC	7	7-10	5-9
A-3	SP	9	8-12	7-12
A-4	CL, ML	10	8-12	7-12
A-5	ML, MH, CH	10	8-12	8-13
A-6	CL, CH	12	10-14	9-15
A-7	MH, CH	13	10-14	10-16

1.1.2.3. Bitüm ile stabilizasyon

Bitüm, sahip olduğu viskoelastik yapısı sayesinde iyi bir bağlayıcıdır. Bu sebeple zemin stabilizasyonunda da tercih edilmektedir bilhassa yolların alt zemininin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır.

Karayolu Araştırma Kurulu: Zemin Bitüm Yollar Komitesinin araştırmasına göre kullanılacak bitüm oranları

200 No'lu elekten geçen malzeme oranı en az %25

Kum eşdeğeri en az %25

Plastisite indeksi en az 6

olacak şekilde belirlenir.

Archibong (2020) kohezyonsuz zeminlerde bitüm zemin parçacıklarını birbirine bağlarken, kohezyonlu zeminlerde ise boşlukları doldurarak zemini ıslah eder. Böylece zeminin nem içeriği korunmakta ve taşıma kapasitesi artmaktadır. Bitim içeriği karışıma ağırlıkça %4 - %7 oranında kullanılmaktadır.

Arora (2011) Amerika kara yolları araştırma kurulu bitümü zemin de dört farklı şekilde kullanımının mevcut olduğunu belirlemiştir.

1. Zemin bitümü: kohezyonlu zemin sisteminde kullanılır.
2. Kum bitümü: kohezyonsuz zemin sisteminde kullanılır.
3. Su geçirmez kil bitüm: uniform dağılımlı zemin sisteminde kullanılır.
4. Yağlı zemin bitümü: silt-kil malzemeden oluşan zemini su geçirmez hale getirir. Püskürtme metodu emisyon ile kullanılır.

1.1.3. Geleneksel Olmayan Katkı Malzemeleri ile Stabilizasyon

1.1.3.1. Tuz

İnorganik tuzlar zemin stabilizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Killi zeminlerde uygulanan karışım içerisinde bulunan katyonik iyonlar ile zeminde bulunan çok değişkenli katyonlar arasında iyon değişimi gerçekleşmesine dayanır.

Turkoz (2014) yaptığı çalışmada tuz içeriğindeki artış ile zemin boşluklarında bulunan tuz konsantrasyonunun arttığını bu sayede parçacıklar arasında toplanmanın arttığı absorbe edilen suyun azaldığı sonucuna varmıştır.

Gleeson (1997), yapmış olduğu çalışmada killi zeminlerde kullanılan tuzun zeminin likit limit, plastisite indisi ve şişme potansiyelini azalttığı sonucuna ulaşmıştır.

1.1.3.2. Geopolimer

Khadka (2018), inorganik bir malzeme olan geopolimerin, yumuşak zeminlerin stabilizasyonunda yenilikçi ve çevre dostu bağlayıcı olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Rovnanika (2010), yüksek sıcaklıkta sentezlenen geopolimerlerin ilk aşamada yüksek mukavemet sağlarken yüksek sıcaklıkta zayıf bağların oluşumu sebebiyle uzun dönemde iyileştirilmiş zeminin dayanıklılığını azaltabileceği sonucuna ulaşmıştır.

1.1.3.3. Uçucu kül

Uçucu kül kömür yakıtlı elektrik üretimi tesislerinin yan ürünü olarak ortaya çıkan malzemedir. Uçucu küller üretildiği kömür türüne göre C ve F türü olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürden üretilirler. İçeriğindeki toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ içeriği %70'den fazladır. Pozolanik özellik gösterirler. C sınıfı uçucu küller ise linyit kömürden üretilirler. İçeriğindeki $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oranı %50'den fazladır. CaO içeriği %10'dan fazladır. Pozolonik ve bağlayıcı özelliği gösterirler.

1.1.3.4. Yüksek fırın cürufu

Demir üretimi sonrasında açığa çıkan yan üründür. Yüksek fırın cürufu soğutma, granülasyon, genleşme ve öğütme işlemine tabi tutulurak üretilir.

1.1.3.5. Pozolanlar

Temelde bağlayıcılık özelliği olmayan ,yüksek oranda silis ve alümi içeren malzemelerdir. Pozolanlar kireç varlığında su ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanırlar.

1.1.3.6. Termal stabilizasyon

Zeminin özelliklerine bağlı olarak ısıtma ve soğutma işlemine dayanır. Isıtma işleminde Zemin içerisinde bulunan su azalır. Kil parçacıkları arasındaki elektriksel kuvvet azalarak kilin mukavemeti arttırılır. Dondurma işlemi ise özellikle kil zeminde dayanım azalmasına neden olur. Soğutma işlemi erime noktasına kadar düşürülürse zeminin boşluk suyu basıncı donar ve zemin kararlı bir duruma gelerek stabizasyon sağlanır.

1.1.3.7. Elektriksel stabilizasyon

Elektriksel stabilizasyon işlemi killi zeminlerde elektroosmos olarak bilinir. Killi zeminlerde ani bir akım geçirilerek boşluk suyu basıncının negatif elektrotta doğru geçişi sağlanır. Sudaki pozitif iyonlar katoda soğru çekilir. Su zeminden uzaklaştığından zeminin mukavemeti önemli oranda artar. Zemin drenajı için kullanılır.

1.2. KALSINASYON İŞLEMİ

Kalsinasyon işlemi malzemenin 800°C-1200°C sıcaklıklarda ısıtılarak ısıtılarak aktif hale getirilmesi işlemidir. Kalsinasyon işleminin inşaat sektöründe en bilinen ve sıklıkla kullanılan malzemesi şüphesiz kireçtir. Kireç kullanımı 20 yy. başlarında bilimin gelişmesi ile hızla artmaktadır. Doğada CaCO_3 olarak bulunan ve kireçtaşı olarak bilinen malzeme 900°C ve 1000°C fırınlarda ısıtılarak ısıtılarak CaO (kireç) elde edilir.

Kalsinasyon işleminde reaksiyon gerçekleştirileceği sıcaklık önemli rol oynamaktadır. Nitekim, düşük sıcaklıklarda kalsinasyon reaksiyonu tam olarak gerçekleşemeyebileceği gibi yüksek sıcaklıklarda ise reaktivite azalabileceğinden reaksiyon optimum sıcaklıklarda gerçekleştirilmelidir. Diğer bir husus ise reaksiyonun dış katmandan iç katmana doğru gerçekleşiyor olmasıdır. Bu özellik reaksiyonun dış yüzeylerde daha yüksek sıcaklık gerektirdiğini, iç katman (çekirdek) ise daha düşük sıcaklık gerektirdiğini göstermektedir.

Ayışkan (1972) fosfat maddesini kalsinasyon etkisini ve kalsinasyon işleminde karşılaşılabilecek sorunları (problemleri) incelemiştir. Çalışma kapsamında kalsinasyon işleminde uygun sıcaklığın belirlenmesi için tahkikler gerçekleştirmiştir. Kalsinasyon sıcaklığı 700°C-710°C yükseldiğinde fosfatın kimyasal yapısının bozulduğu ve içeriğindeki CO_2 , SO_3 , F mineralleri fosfattan uzaklaşmış ve mineralojik yapısı değişmiştir.

Görhan (2020) yaptığı çalışmada kaolin kilinin metakaoline dönüştürülmesinde gerçekleştirilen kalsinasyon reaksiyonlarının sıcaklık etkisi araştırmıştır. Deneyler 700°C-900°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, sıcaklık değerindeki artışların dayanım değerinde net bir artış veya azalış sağlamazken, yüksek sıcaklıklarda kilin yapısının bozulması sebebiyle dayanım kısmi olarak azalmıştır sonucuna ulaşmıştır.

Onyelow (2021) yapmış olduğu çalışmada kil zemin stabilizasyonunda puzolanik reaksiyonların etkisini araştırmıştır. Çalışma kil zeminde bulunan kalsiyum, alüminyum ve silikon gibi malzemelerin kil tanelerindeki etkisi incelenmiştir. Kalsinasyon reaksiyonu, metalik ve metalik olmayan süreçler ile sağlamıştır. Kalsinasyon reaksiyonunda hidrojen iyonlarının ve sodyum iyonlarının yer değiştirmesinin kil zeminin nem absorpsiyonu ve büzülme potansiyeli ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada yüksek kil oranına sahip zeminin hidrasyon, kalsinasyon ve karbonik reaksiyonlar ile gerçekleştirilen puzolanik reaksiyonun, zeminin yoğunluk ve flokulent yapısı üzerinde etkili olduğu ve zeminde Van der Waals bağlarını güçlendirdiği sonucuna varılmıştır.

Öksüzer (2023) volkanik tüfün kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla geopolimer kompozitlerin üretiminde atıklardan iki farklı tüf ve bu tüflerin kalsine edilmiş türleri

kullanmıştır. Bu çalışma, iki farklı doğal puzolanlar kullanılarak hafif bir geopolimer üretilmiştir. Kullanılan iki puzolanın 800 °C'de 3 saat kalsine edilmesiyle kalsinasyon etkisi araştırılmıştır. Normal ve kalsine volkanik tüflerden iki farklı miktarda aktivatör kullanılarak geopolimer kompozitler üretilmiştir. Yoğunluk, su emme, basınç dayanımı, yüksek sıcaklıktan sonra basınç dayanımı değişiklikleri, XRD ve FT-IR ile incelenmiştir. Normal tüf numunelerinde en yüksek dayanım Tüf-1 karışımlarında 34 MPa olarak belirlenirken, kalsinasyon sonrası Tüf-2 karışımlarında yaklaşık 57 MPa olarak ölçülmüştür. Üretilen numunelerin yoğunlukları kalsine tüf daha yüksek, su emme oranları ise daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılacak olan Bayburt taşı, saf halde ve kalsine edilmiş halde kullanılarak zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği araştırılacaktır.

1.3. LİTERATÜR ÖZETİ

Çalık (2012) zemin stabilizasyonu ile ilgili yapmış olduğu çalışmada perlit ve kireç kullanımının etkisini araştırmıştır. Çalışmada killi zemin kullanılmıştır. Perlit ve kireç kullanımının zeminin mühendislik özelliklerine olumlu yönde etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Doru (2014) çalışmasında killi bir yol zemininin iyileştirilmesinde uçucu kül ve çimento kullanımının zeminin mühendislik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Karışımlarda %10 oranında uçucu kül kullanılarak oluşturulan numunelerin deney test sonuçlarının daha iyi olduğu fakat 28 gün sonunda yapılan testlerde ise bu etkinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kalem (2015) zemin stabilizasyonunda uçucu kül ile kentsel dönüşümlerden elde edilen atıkların kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma yumuşak killi zemin üzerinde test edilmiştir. Temel bağlayıcı olarak kireç kullanılmıştır. Numuneler % 0, %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında uçucu kül ve kentsel dönüşüm atıklarıyla karıştırılarak oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda zeminin taşıma gücünün %500 (5 kat) arttığı görülmüştür.

Shooshpasha (2015), İran'da yapmış olduğu çalışmada kumlu zemin stabilizasyonunda kireçli katkılı Portland çimentosu kullanımını araştırmıştır. Kireç katkılı Portland çimentosu ağırlıkça %2.5, %5 ve %7,5 oranlarında eklenerek numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kompaksiyon, doğrudan kesme deneyleri yapılmıştır ve numunelerin optimum nem içeriği, maksimum kuru birim ağırlıkları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda kireç katkılı Portland çimentonun kullanılması elastisite modülünde artış ve kırılma anındaki şekil değiştirmelerin azaldığını sonucuna varılmıştır.

Fidan (2016) kil zemin stabilizasyonunda puzolanik katkı malzemesi olan perlit'in etkisini araştırmıştır. Numunelerde temel bağlayıcı maddesi olarak %6 oranında kireç kullanılmıştır. Bunlara ek olarak çalışmada perlit'in tane boyutunun zeminin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda görülmüştür ki, inceltirilmiş perlit kullanılarak üretilen numunelerin zeminin mekanik özelliklerini daha çok iyileştirmiştir.

Yeşilçiçek (2016) yüksek kil içeriğine sahip yol zeminini iyileştirmek için kolemanitin işlenmesi sonucu oluşan atıkların kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneyin numuneleri kireç kullanılarak ve kireç kullanılmadan sadece kolemanitin atığı ile kombine edilerek hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda sadece kolemanitin kullanılarak hazırlanan numunelerin katkısız numunelere göre daha iyi mühendislik özellikleri gösterdiği, kireç ve kolemanitin atığı kullanılarak hazırlanan numunelerin ise sadece kolemanitin kullanılan numunelerden daha iyi özellikler gösterdiği görülmüştür.

Swaidani (2016), Suriye'de yapmış olduğu çalışmada ülkenin büyük bir bölümünü oluşturan killi zeminin stabilizasyonunda kireç ve puzolan kullanımının etkisini araştırmıştır. Doğal zemine kireç %0, %4 ve %8 oranlarında, doğal puzolan ise %0, %10 ve %20 oranlarına eklenerek numuneler oluşturulmuştur. Deney numunelerinin mühendislik özelliklerine etkisini belirlemek için CBR, kıvam limitleri, kompaksiyon, yoğunluk ve büzülme deneyleri yapılmıştır. Numunelerin yapısında meydana gelen değişiklikleri görüntülemek için SEM ve EDX kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kireç ve doğal puzolanın birlikte kullanımında puzolan oranı arttıkça PI değerinin azaldığı, mukavemetin arttığı ve şişme miktarının azaldığı görülmüştür. Numunelerin mikro yapısı incelendiğinde doğal puzolanların kireç ile kullanımının bilhassa uzun dönemde çok daha kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Kocabey (2019) kil zemin stabilizasyonunda kireç tane boyutunun etkisini incelemiştir. Kireci 20 mikron altına kadar zeminde kullanılır hale getirmiştir. Çalışmada öğütülmüş ve öğütülmemiş kireç farklı yüzde oranlarında kullanılmıştır. Çalışma sonucunda öğütülmüş ve öğütülmemiş kireç numunelerinde maksimum basınç dayanımı %6 kireç içeriğinde elde edilmiştir. Bununla beraber kirecin tane boyutunun inceltilmesinin zeminin mühendislik özelliklerini daha efektif hale getirdiği ve zemin stabilizasyonu için kullanılabilirliğinin daha uygun olduğu görülmüştür.

Nazaroghlu (2019) zemin stabilizasyonunda uçucu külün illit kili ile kullanımının zemin özelliklerine etkisini incelenmiştir. Uçucu kül ve kil karışımında eşit miktarda ve farklı oranlarda kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler sadece kilin kullanıldığı numuneler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada uçucu kül ve kil karışımının %15

oranında olduğu numunelerin geçimlik katsayısı en düşük iken %5 oranındaki karışım içeriğinde direncin arttığı görülmüştür.

Türkel (2019) kum zeminin stabilizasyonunda farklı oranlarda çimento (%2.5, % 5, %10) ve farklı oranlarda bazalt fiberlerin (%1, %2, %3, %4) kombinasyonu ile oluşturulan numuneler test edilmiştir. Testler sonucunda %10 çimento ve %3 bazalt fiber içeriğine sahip karışım numunesinin maksimum kayma direnci sağladığı görülmüştür. Maksimum basınç dayanımına ise %10 çimento ve %4 bazalt fiber kombinasyonu ile oluşturulan numuneler de ulaşılmıştır.

Çelik (2020) düşük plastisiteli kil zeminin stabilizasyonunda pomza taşının tane boyutunun etkisini incelemiştir. Deneyde farklı oranlarda öğütülmüş ve öğütülmemiş pomza taşı kullanılmıştır. Bununla beraber çalışmada pomza taşının kireçle birlikte kullanılabilirliği de araştırılmıştır. Çalışma sonucunda görülmüştür ki pomza taşının tane boyutunun inceltilmesi ve kireçle birlikte kullanılabilirliği zeminin mühendislik özelliklerini olumlu olarak etkilemiştir.

Duman (2020) zemin stabilizasyonunda Midyat taşı atığının zeminin mühendislik özelliklerine etkisini incelemiştir. Midyat taşı doğal zemine ve %6 oranında kireç ile birlikte kullanarak deneysel numunelerini hazırlamıştır. Midyat taşının etkisini araştırmak için her iki türde de farklı oranlarda Midyat taşı eklenmiştir. Çalışmalar sonucunda Midyat taşı ve kirecin beraber kullanılarak hazırlanan numunelerin dayanım ve durabiliteyi artırdığı ve bilhassa %6 oranında kireç ve %10 oranında Midyat taşının kullanıldığı numuneleri basınç dayanımının yaklaşık olarak %40 arttığı belirlenmiştir.

Taş (2020) çalışmasında Zemin stabilizasyonunda uçucu kül Bayburt taşı ve mermer tozunun birlikte kullanımının zeminin mühendislik özellikleri açısından incelemiştir. Çalışmada uçucu kül temel katkı malzemesi olarak Bayburt taşı ve mermer tozu ile hazırlanan numunelerin her ikisinde de kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar da uçucu kül ve mermer tozu kullanılarak elde edilen numunelerin dayanım özellikleri daha efektif iken, uçucu kül ve Bayburt taşı kullanılarak elde edilen numunelerin durabilite özelliklerinin daha efektif olduğu görülmüştür.

Gençoğlu (2022) yapmış olduğu deneysel çalışmada yüksek plastisiteli kil zeminin stabilizasyonunda uçucu külün tane boyutunun etkisini incelemiştir. Deney numunelerinde kullanılmak üzere F tipi uçucu külü doğal halde ve öğütülmüş halde kullanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda öğütülmüş halde kullanılan uçucu külün zemin basınç dayanımını artırdığı ve zemin stabilizasyonunda kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

İkbal (2022) zemin stabilizasyonunda sıvı hale getirilmiş PET kullanımının etkisini incelemiştir. Çalışmada kötü derecelenmiş kum zemin seçilmiştir. Çalışmalar çevrimli ve çevrimsiz olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak maksimum basınç dayanımına %5 içerikte ve çevrimli durumda ulaşılırken diğer bütün içeriklerde maksimum basınç dayanımına çevrimsiz durumda ulaşılmıştır.

Qayumi (2022) yaptığı çalışmada killi zemin stabilizasyonunda atık ambalajı olarak kullanılan polyesterin etkisini incelemiştir. Çalışma verilerine göre polyester liflerle donatılan killi zeminin basınç dayanımı arttığı ve zemin geçimlik katsayısını kısmi olarak iyileştirdiği görülmüştür.

Topçu (2022) çalışmasında uçucu kül ve NaNo-SiO₂ Kullanımının zemin stabilizasyonundaki etkisini yüksek plastisiteli kil zemin üzerinde incelemiştir. Farklı oranlarda uçucu kül içeren karışıma %1 ve %1,5 oranlarında NaNo-SiO₂ ekleyerek kıvam limitleri, kompaksiyon, şişme ve konsolidasyon üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda NaNo-SiO₂ içeriğini az olduğu karışımda mühendislik özelliklerinin daha iyi oldu belirlenmiştir.

Tuğlu (2022) zemin stabilizasyonu ile ilgili yapmış olduğu çalışmada, stabilizasyon da tuğla tozu atıklarının kullanılabilirliğini incelemiştir. Deneysel çalışmaları düşük plastisiteli kil zemin özelinde gerçekleştirmiştir. Çalışmada kullanılan tuğla tozunun etkisi temel bağlayıcı olarak %6 oranında kireç ile birlikte kullanılabilirliği de incelenmiştir. Deney sonuçları maksimum basınç dayanımına %6 oranında kireç ile birlikte %10 oranının da tuğla tozu içeren karışımda ulaşılmıştır.

Tümer (2022), zemin stabilizasyonunda yeşil Bayburt taşının tane boyutunun zemin dayanımına etkisini incelemiştir. Çalışmada Bayburt ilinden temin edilmiş düşük plastisiteli kil zemin kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda temel bağlayıcı olarak %6 oranında kireç kullanılmıştır. Zemini iyileştirmede etkisi araştırılan yeşil Bayburt taşı ise karışıma öğütülmüş ve öğütülmemiş olarak farklı oranlarda eklenmiş olup kıvam limitleri, serbest basınç dayanımı ve kompaksiyon deneyleriyle zeminin mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yeşil Bayburt taşının tane boyutunun zemin stabilizasyonunda kıvam limitleri ve kompaksiyon üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmezken, dayanımı ise arttırdığı görülmüştür.

Özdemir (2023) yaptığı çalışmada zemin stabilizasyonunda mermer tozu, uçucu kül, kenevir lifi ve sentetik liflerin etkisini araştırmıştır. Yüksek plastisiteli kil zemin kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada mermer tuzlu ve uçucu kül ayrı ayrı ve beraber kullanılmıştır. Mermer tozu ve uçucu kül katkılı numunelerde su içeriği azalırken basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Bunun yanında mermer tozu ve uçucu kül katkılı numuneler serbest basınç

deneyinde kırılırken kenevir ve sentetik lifli numunelerde bu malzemeler donatı görevi görmüş ve numunelerin sünek bir davranış göstermesini sağlamıştır.

Arslan (2005), yaptığı çalışmada Eosen havzasında bulunan Bayburt taşının özelliklerini incelemiştir.

Yılmaz (2015), yapmış olduğu çalışmada yeşil, beyaz ve sarı olmak üzere üç türü bulunan Bayburt taşının üretimin sonucu açığa çıkan atıkların zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada yeşil beyaz ve sarı renklerde bulunan Bayburt taşı atığı karışıma % 0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Karışımda kirecin stabilizasyon da ki etkisi de araştırılmıştır ve kirecsiz ve %6 oranında temel bağlayıcı olarak kireç kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda, Bayburt taşı atıklarının kireç ile kullanılmasının kirecsiz ve sadece kireç kullanılarak üretilen numunelere göre daha iyi mekanik özellikler gösterdiği görülmüştür. Bunlara ek olarak en iyi dayanım değeri %10 beyaz Bayburt taşı atığı kullanılarak üretilen kireçli numunelerden elde edilirken, maksimum durabilite de değeri %10 yeşil Bayburt taşı atığının kireç ile birlikte kullanılarak üretilen numunelerden elde edilmiştir sonucuna varılmıştır.

Tekin (2017), yaptığı çalışmada Bayburt taşının beton da agrega olarak kullanımını araştırmıştır. Çalışma sonucunda Bayburt taşı kullanılarak üretilen betonun beton sınıfı C12/15 olmuştur. Bu durum göstermektedir ki Bayburt taşı kullanılarak üretilen betonun dayanımı oldukça düşüktür ve yapıda kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Aykut (2017), çalışmasında Bayburt taşının geopolimer tuğla üretiminde kullanımını incelemiştir. Bayburt taşı kullanımı priz süresini kısaltmıştır. Bunun yanında aşınma direncinin düşük olması sebebiyle aşınma etkisinin yüksek olduğu alanlarda kullanıma uygun değildir. Bayburt taşı kullanılarak üretilen tuğlanın yoğunluğu düşüktür bu sebeple yapı yükünü hafifleteceği sonucuna varmıştır.

Tekin (2017), yapmış olduğu çalışmada Bayburt taşının süper akışkanlaştırıcılar ile çimentoda kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışmada Bayburt taşının süper akışkanlaştırıcılar ile kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

Serencam (2018), yaptığı çalışmada Bayburt taşının kobalt (Co) ile adsorban olarak kullanımını istatistiksel metotlar kullanarak incelemiştir. Çalışma sonucunda Bayburt Taşı adsorban olarak kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Oztaş (2003), donma çözülme etkisinin zeminin agrega stabilitesine etkisini araştırmıştır. Farklı agrega tane boyutları arasında deneyi gerçekleştirmiştir. Deneyde 3-6-9 çevrim olmak üzere 3 farklı çevrim üzerinde çalışmıştır. Islak agrega stabilitesinin genellikle

donma çözölme çevrim sayısının 3'ten 6'ya çıktığında arttığı, bu noktadan sonra azaldığı sonucunu elde etmiştir.

Taşpolat (2006), zemin iyileştirmede katkı malzemesi olarak farklı oranlarda kullandığı atık mermer tozunun donma çözölme direncine etkisini araştırmıştır. 12 çevrim olarak gerçekleştirdiği deneyde katkı malzemesinin %5 oranında kullandığında optimum sonuca ulaştığı ve zeminin donma çözölme dayanımının arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Yarbaşı (2007), çalışmasında silis dumanı, uçucu kül karışımlarının zemin iyileştirilmesinde etkisini araştırmıştır. Farklı oranlarda kullandığı katkı malzemelerine 28 günlük kür süresi sonunda donma çözölme deneyi yapmıştır. Donma sıcaklığının -18°C , çözölme sıcaklığını 18°C olarak belirlemiştir 2,5 saat dondurma 2,5 saat çözme işlemini bir çevrim olarak belirlemiştir. Çalışma sonunda katkı malzemelerinin zeminin donma çözölmesi dayanıklılığını artırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Şahin (2008), tuzla sadık zeminlerde katkı malzemesi olarak uçucu kül ve kanalizasyon çamuru kullanmıştır. Bu katkı malzemelerinin donma çözölme çevrimleri zeminin mekanik özelliklerini etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda dokuzuncu donma çözölme çevriminden sonra yoğunluğun azaldığı, dokuzuncu çevrim sonunda geçimliliğin %20-%30 oranında arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Ghazavi (2010), çalışmasında kaolinit kiline çelik ve polipropilen fiberler katarak donma çözölme ve serbest basınç dayanımı deneyleri yapmıştır. Donma sıcaklığının -20°C çözölme sıcaklığını $+25^{\circ}\text{C}$ e olarak belirlemiştir. 6 saat dondurma 6 saat çözme işlemini bir çevrim olarak belirlemiştir. 1,2, 3,4, 5,6, 7,8, 9, 10 çevrimi yapmıştır. 1-7 çevrim sayıları arasında zeminde önemli değişiklikler olurken 7-10 çevrim aralarında önemli bir değişim olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Jarfari (2012), yapmış olduğu çalışmada yüksek plastisiteli kil zemine kireç ile beraber atık lastik kort ilave edilerek zemin stabilizasyonu etkisini Donma çözölme ve serbest basınç dayanımı deneyleriyle araştırmıştır. Donma çözölme deneyinde bir çevrimden sonra numune sertliğinde çok etki görülmezken 2 çevrimden sonra ise lif takviyesi ile sertliğin arttığı görülmüştür.

Zaimoğlu (2013), yapmış olduğu çalışmada ince taneli zeminler üzerine geleneksel yöntem ve yüke maruz bırakılmış numuneler üzerine donma çözölme deneyinin çevrim etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak geleneksel yöntemde çevrim sayısının artması durumunda zemin dayanımının azaldığı sonucuna ulaşmıştır.

Ural (2015), çalışmasında farklı gradasyon aralığında kullanılan mermer atıklarının zemine etkisini donma çözülme ve CBR deneyi özelinde araştırmıştır. 5 farklı karışım üzerinde anlık ve 7 günlük kür süresi sonunda deneyini gerçekleştirmiştir. Su muhtevası 20. çevrimde artmıştır. 12 çevrim sonunda çatlaklar oluşmuştur. CBR deney sonuçlarına göre her iki kür süresi için genel olarak ilk 4 çevrimde dayanım sonuçlarında artma görülürken 12. ve 20. çevrimlerde dayanımda azalma olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Liu (2016), siltli kum zeminin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde donma çözülme etkisini araştırmıştır. Deneyde kopma mukavemeti, elastisite modülü, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerini donma çözümü öncesi ve sonrası değerleriyle karşılaştırmıştır. Mekanik özelliklerin donma çözülme çevrim sayısından belirgin derecede etkilenirken ısıtma soğutma sıcaklığının etkisinin önemli olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Lu (2016), çalışmasında görüntü işleme tekniğini kullanarak donma çözülme işlemi sonunda zeminde meydana gelen su kaybı ve yüzey çatlaklarının modellenmiştir.

Keskin (2017), yapmış olduğu çalışmada kil zeminin donma çözülme etkisini farklı katkı malzemesi ve farklı kür sürelerinin etkisini araştırmıştır. Kür süresi olarak anlık, 48 saat, bir hafta ve bir aylık süre belirlemiştir. Çevrim sayısı olarak ise 1 ve 2 çevrim yapmıştır. 2 çevrim sonunda serbest basınç dayanımının arttığını bunun nedeninin ise deneyin gerçekleşmesi için 48 saatin geçtiğini ve bu sırada zemin içerisinde yeni bağların oluşması ile sonuçlandırmıştır.

Zhou (2018), yapmış olduğu çalışmada donmuş lős zemin üzerinde donma çözülme etkisine farklı donması sıcaklığı ve farklı çevrim sayılarıyla analiz etmiştir. Çalışma sonucunda farklı dondurma sıcaklığının belirgin bir etkisinin olmadığı ve çevrim sayısı arttıkça zeminin elastisite modülünün azaldığı sonucuna ulaşmıştır.

Çalık (2019), yapmış olduğu çalışmada farklı oranlarda polipropilen liflerin oranları ve uzunluklarının kil zeminin farklı çevrim sayılarında donma çözümü etkisini araştırmıştır. Çevrim sayısının artması serbest basınç dayanımı değerini azaltırken 10 çevrim sayısında polipropilen uzunluğunun artması ile serbest basınç dayanımının arttığı sonucunu elde etmiştir.

Yılmaz (2020), yaptığı çalışmada düşük plastisiteli kil zemine temel bağlayıcı olarak %25 oranında uçucu kül ara bağlayıcı olarak farklı oranlarda mermer tozu ekleyerek elde etmiş olduğu numunelere 28 günlük kür süresi sonunda 12 çevrim donma çözülmeye tabi tutulan numunelere tek eksenli basınç dayanımı testi uygulamıştır. Çalışma sonucunda uçucu küle mermer tozunun katılmasının zemin özelliklerini iyileştirdiği bilhassa %10 mermer tozu kullanımında basınç dayanım değeri maksimum değere ulaştığı sonucuna ulaşmıştır.

Roustei (2021), farklı oranlarda lif kullanımını düşük plastisiteli ki zemin üzerinde donma çözülme çevrim etkisini araştırmıştır. Katkılı ve katkısız tüm numunelerde çevrim sayısının artması mukavemet değerini azalttığı sonucuna ulaşmıştır.

Liu (2024), deneysel çalışmasında üç farklı donma sıcaklığında ve bu sıcaklıklara uygun seçilen farklı çevrimlerde deneysel çalışmasını gerçekleştirmiştir. Numunelerde donma çözülme çevriminden sonra 100-200-300 kPa üç eksenli test uygulamıştır. Donma sıcaklığının özellikle düşük basınç değerinde önemli bir etkisinin olmadığı elastisite modülünün ise 7.ve 9. çevrimde minimum değere ulaştığı sonucuna ulaşmıştır.



İKİNCİ BÖLÜM

2. MATERYAL VE YÖNTEM

‘Kil Zemin Stabilizasyonunda Bayburt Taşı Atıklarının Kalsinasyonunun Dayanım ve Durabiliteye Etkisi’ adlı tez çalışmasında beyaz Bayburt taşı atığı ve sarı Bayburt taşı atığı kalsinasyon işlemine tabi tutularak kalsine hale getirilmiştir. Doğal kil zemine her bir katkı malzemesi %5, %10, %15 ve %20 oranlarında eklenerek kil zeminin mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde doğal kil zemine %6 oranında kireç katılarak katkı malzemelerinin kireç ile kullanımının zemin mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmalar ile atık halde bulunan Bayburt taşının ve yüksek sıcaklıklarda kalsine edilerek kararlı hale getirilen kalsine Bayburt taşının zemin özelliklerini iyileştirmesi amaçlanmıştır.

2.1. MALZEMELER

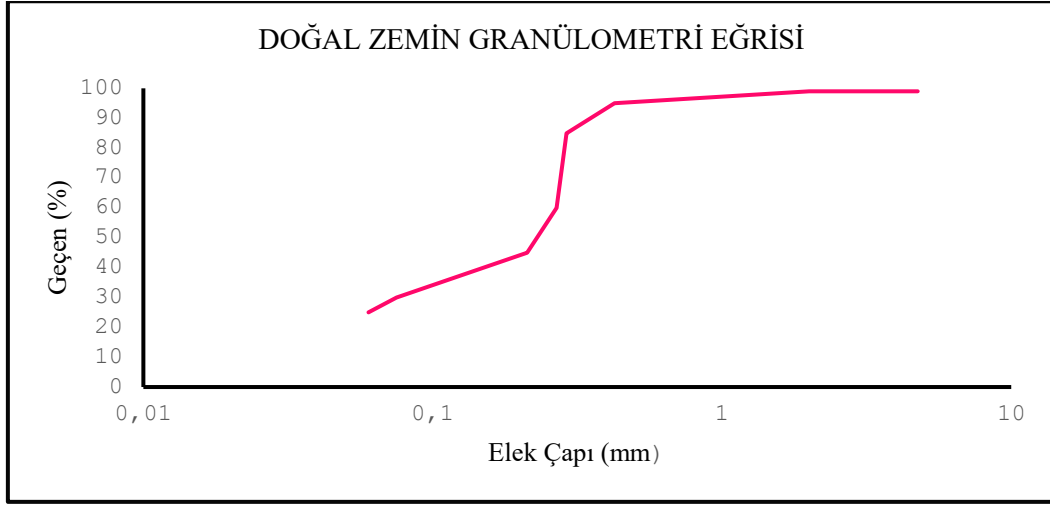
Deneysel çalışmada kullanılan doğal kil zemin Erzurum ili Pasinler ilçesinden yaklaşık 3-4 metre derinlikten temin edilmiştir. Deneysel çalışma boyunca kullanılan doğal kil zemin 104 ± 5 °C sıcaklıkta 24 saat etüvde bekletilmiştir. Doğal halde bulunan kil zemin Los Angeles Aşındırma cihazında öğütülüp elenerek kullanılmıştır. Beyaz Bayburt taşı atığı ve sarı Bayburt taşı atığı Bayburt il merkezinden temin edilmiştir. Herhangi bir işleme tabi tutulmadan deneylerde %5, %10 %15 ve %20 oranlarında eklenerek kullanılmıştır. Sönmüş kireç ise Erzurum ilinde Murat Sakman yapı malzemeleri firmasından temin edilmiştir. Sönmüş kireç zemine %6 oranında eklenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan tüm malzemeler ve karışımlara ait notasyonlar Tablo 5’te detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1.1. Doğal Kil Zemin

Zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek ve iyileştirmek için yapılan deneylerde kullanılan zemin Erzurum ili Pasinler ilçesinden getirilmiştir. Doğal hali kesek şeklinde olan kil zemin Los Angeles Aşındırma cihazında öğütülmüştür. İşlem sonunda öğütülmüş zemin 4 No’lu elekten elenerek deneylerde kullanılmıştır. Zemin sınıfını belirlemek amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır. Yapılan elek analizine ait granülometri eğrisi Şekil 9’da gösterilmiştir. Doğal zemin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne göre zemin yüksek plastisiteli kil zemin olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sistemine göre CH olarak sembolize edilmektedir. Doğal zeminin optimum su muhtevası ve birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki Şekil 10’da sunulmuştur. Kil zemine ait mühendislik özellikleri aşağıda Tablo 6’da belirtilmiştir

Tablo 5: Tez Çalışmasında Kullanılan Karışım Notasyonları

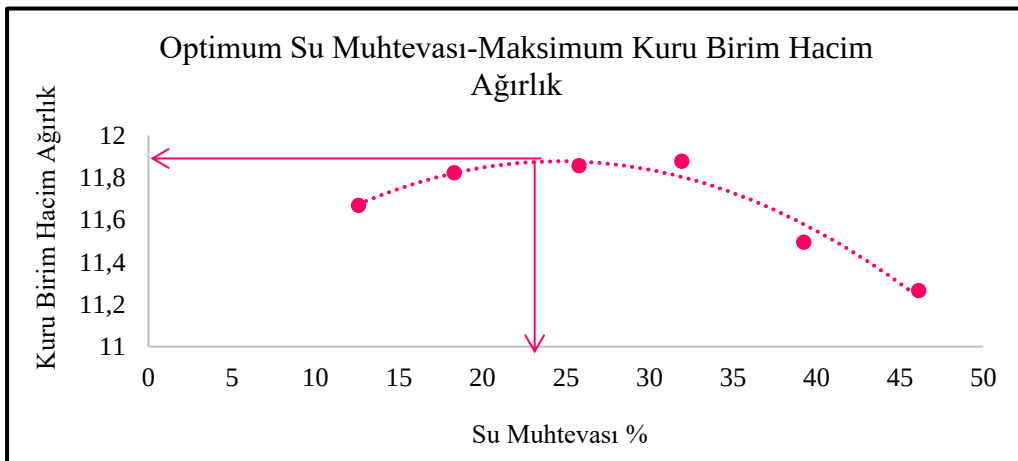
KARIŞIM	NOTASYON
Zemin	Z
Zemin + %5 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBT5
Zemin + %10 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBT10
Zemin + %15 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBT15
Zemin + %20 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBT20
Zemin + %5 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBT5
Zemin + %10 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBT10
Zemin + %15 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBT15
Zemin + %20 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBT20
Zemin + %5 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBT5
Zemin + %10 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBT10
Zemin + %15 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBT15
Zemin + %20 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBT20
Zemin + %5 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBT5
Zemin + %10 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBT10
Zemin + %15 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBT15
Zemin + %20 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBT20
Zemin + Kireç	Z + K
Zemin + %6 Kireç + %5 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBTK5
Zemin + %6 Kireç + %10 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBTK10
Zemin+ %6 Kireç + %15 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBTK15
Zemin+ %6 Kireç + %20 Beyaz Bayburt Taşı Atığı	BBTK20
Zemin + %6 Kireç + %5 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBTK5
Zemin + %6 Kireç + %10 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBTK10
Zemin + %6 Kireç + %15 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBTK15
Zemin + %6 Kireç + %20 Sarı Bayburt Taşı Atığı	SBTK20
Zemin+ %6 Kireç + %5 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBTK5
Zemin+ %6 Kireç + %10 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBTK10
Zemin+ %6 Kireç + %15 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBTK15
Zemin+ %6 Kireç + %20 Kalsine Beyaz Bayburt Taşı	KBBTK20
Zemin+ %6 Kireç + %5 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBTK5
Zemin+ %6 Kireç + %10 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBTK10
Zemin+ %6 Kireç + %15 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBTK15
Zemin+ %6 Kireç + %20 Kalsine Sarı Bayburt Taşı	KSBTK20



Şekil 9: Doğal Zemin Granülometri Eğrisi

Tablo 6: Doğal Zemine Ait Mühendislik Parametreleri

PARAMETRE	DEĞER
Likit limit (%)	65,9
Plastisite indisi	24,27
Kuru birim hacim ağırlık	11,875
Optimum su muhtevası (%)	23,75
Özgül ağırlık	2,75
Zemin sınıfı	CH



Şekil 10: Doğal Zemin Kompaksiyon Sonuçları

2.1.2. Bayburt Taşı

40°37' kuzey enlemi, 40°45' doğu boylamı ve 39°52' güney enlemi, 39°37' batı boylamları arasında yer alan Bayburt ili eski çağlardan günümüze kadar Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgeleri arasındaki konumu başta olmak üzere önemli bir yere sahiptir. Bayburt ili 1551 yılında Erzurum iline 1881 yılında Erzincan iline daha sonra 1927 yılına kadar tekrar Erzurum iline bağlanmıştır. 1927-1989 yıllarında Gümüşhane'nin ilçesi durumunda olan Bayburt 1989 yılında il statüsüne kavuşmuştur. Çoruh Nehri ve sahip olduğu yeraltı zenginlikleri önemli bir geçim kaynağıdır.

Tez çalışmasında kullanılacak olan Bayburt Taşı, Bayburt ilinin yeraltı kaynağıdır. Bayburt Taşı sarı, yeşil ve beyaz renklerde temin edilmektedir. Şekil 11 Bayburt Taşı türlerini göstermektedir. Bu renkler taşın fiziksel özelliklerinin yanı sıra mineralojik ve kimyasal özelliklerinde de belirgin farklılıklara neden olmaktadır.



Şekil 11: Bayburt Taşı Türleri (beyaz, sarı, yeşil) (Yılmaz, 2015)

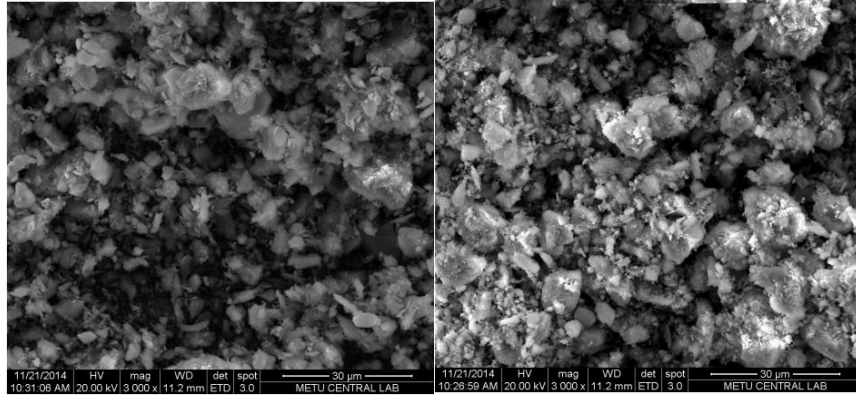
MTA tarafından, beyaz sarı ve yeşil Bayburt taşları Bayburt ili Toptepe, Sırataşlar, Gevenli, Konakdağ ve Gümüşdamla sahalarında yapılan çalışmalar sonucunda Bayburt taşının tahmini blok verimlerine göre rezervleri;

Görünür rezerv: 2 535 729 ton

Muhtemel rezerv: 643 070 ton

Mümkün rezerv ise: 599 200 ton olarak hesaplanmıştır.

Yılmaz (2015) yaptığı doktora tezi kapsamında beyaz Bayburt taşı ve sarı Bayburt taşı atığı kullanarak ürettiği numunelerine SEM analizi yaparak katkı malzemelerinin mikro yapısını incelemiştir. Şekil 12 BBT ve SBT atıklarına ait SEM analizini göstermektedir.



Şekil 12: Beyaz ve Sarı Bayburt Taşlarının SEM Analizi (Yılmaz, 2015)

Beyaz Bayburt Taşı atığı, kuvars plajiyoklaz ve kaya parçalarından oluşmaktadır. Bununla beraber kayaç içeriğinde feldispat, demir oksit ve aliterasyon içeren mineral oluşumları da gözlenmektedir.

MTA tarafından kimyasal, fiziksel ve mineralojik yapısı incelenen sarı Bayburt Taşı, 1,7 g/cm³ yoğunluk değerine, 2,37 g/cm³ özgül ağırlık değerine, eğilme direncinin 125 kgf/cm², darbe direncinin 8 kgf.cm/cm³ ve sertlik değerinin 4-5 Mohs olduğu Tablo 7’de detaylı olarak görülmektedir. Tablo 8 ve Tablo 9 beyaz Bayburt taşı atığının kimyasal ve fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Tablo 7: Beyaz Bayburt Taşı Atığı Mineralojik Özellikleri (MTA, 2014)

Özellik	Birim-Oran	Büyüklük
Plaka verme durumu	-	İyi
Kenar köşe kesilmesi	-	İyi
Cila alma durumu	-	Orta
Özgül ağırlık	g/cm ³	2,37
Sertlik	Mohs	4-5
Birim hacim ağırlık	g/cm ³	1,7
Atmosfer basıncında su emme oranı	ağırlıkça %	12,2
Atmosfer basıncında su emme oranı	hacimce %	20,6
Kaynar suda su emme durumu	hacimce %	21
Basınç direnci	kgf/cm ²	450
Donma sonrası basınç direnci	kgf/cm ²	440
Donma kaybı	%	0,34
Darbe direnci	kgf.cm/cm ³	8
Eğilme direnci	kgf/cm ²	125

Tablo 8: Beyaz Bayburt Taşı Atığının Kimyasal Özellikleri (MTA, 2014)

Toplam SiO ₂	%	69,96
Al ₂ O ₃	%	12,25
Fe ₂ O ₃	%	0,33
CaO	%	2,52
MgO	%	1,2
SO ₃	%	0,05
K ₂ O	%	2,43
Na ₂ O	%	0,57
Kızdırma Kaybı	%	10,08
Cl	%	0,0280

Tablo 9: Beyaz Bayburt Taşı Atığının Fiziksel Özellikleri (MTA, 2014)

Fiziksel Özellikler	Birim-oran	Değer
45 µ elek analizi	%	7,0
Özgül ağırlık		2,32
Blaine	cm ² /gr	7194
Puzoloik aktivite		8,8

Sarı Bayburt Taşı Atığı, çeşitli değişikliklere uğramış volkanik tüflerden oluşmuştur. Kayaç içeriği incelendiğinde temel olarak kuvars, plajiyoklaz ve kaya parçalarından oluştuğu görülür.

MTA tarafından kimyasal, fiziksel ve mineralojik yapısı incelenen sarı Bayburt Taşı, 1,84 g/cm³ yoğunluk değerine, 2,71 g/cm³ özgül ağırlık değerine, eğilme direncinin 60 kgf/cm², darbe direncinin 4 kgf.cm/cm³ ve sertlik değerinin 2-3 Mohs olduğu Tablo 10’ da detaylı olarak görülmektedir. Tablo 11 ve Tablo 12 sarı Bayburt Taşı atığının kimyasal ve fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Tablo 10: Sarı Bayburt Taşı Atığının Kimyasal Özellikleri (MTA, 2014)

Özellik	Birim-Oran	Büyüklik
Plaka verme durumu	-	
Kenar köşe kesilmesi	-	İyi
Cila alma durumu	-	Orta
Özgül ağırlık	g/cm ³	2,71
Sertlik	Mohs	2-3
Birim hacim ağırlık	g/cm ³	1,84
Atmosfer basıncında su emme	ağırlıkça %	13
Atmosfer basıncında su emme	hacimce %	24
Kaynar suda su emme durumu	hacimce %	24,3
Basınç direnci	kgf/cm ²	282
Donma sonrası basınç direnci	kgf/cm ²	285
Donma kaybı	%	0,14
Darbe direnci	kgf.cm/cm ³	6
Eğilme direnci	kgf/cm ²	4

Tablo 11: Sarı Bayburt Taşı Atığının Kimyasal Özellikleri (MTA, 2014)

Kimyasal Özellikler	Birim-Oran	Değer
Toplam SiO ₂	%,	70,26
Al ₂ O ₃	%	16,91
Fe ₂ O ₃	%	2,97
CaO	%	0,37
MgO	%	0,81
SO ₃	%	0,05
K ₂ O	%	3,29
Na ₂ O	%	0,3
Kızdırma Kaybı	%	4,25
Cl	%	0,0280

Tablo 12: Sarı Bayburt Taşı Atığının Fiziksel Özellikleri (MTA, 2014)

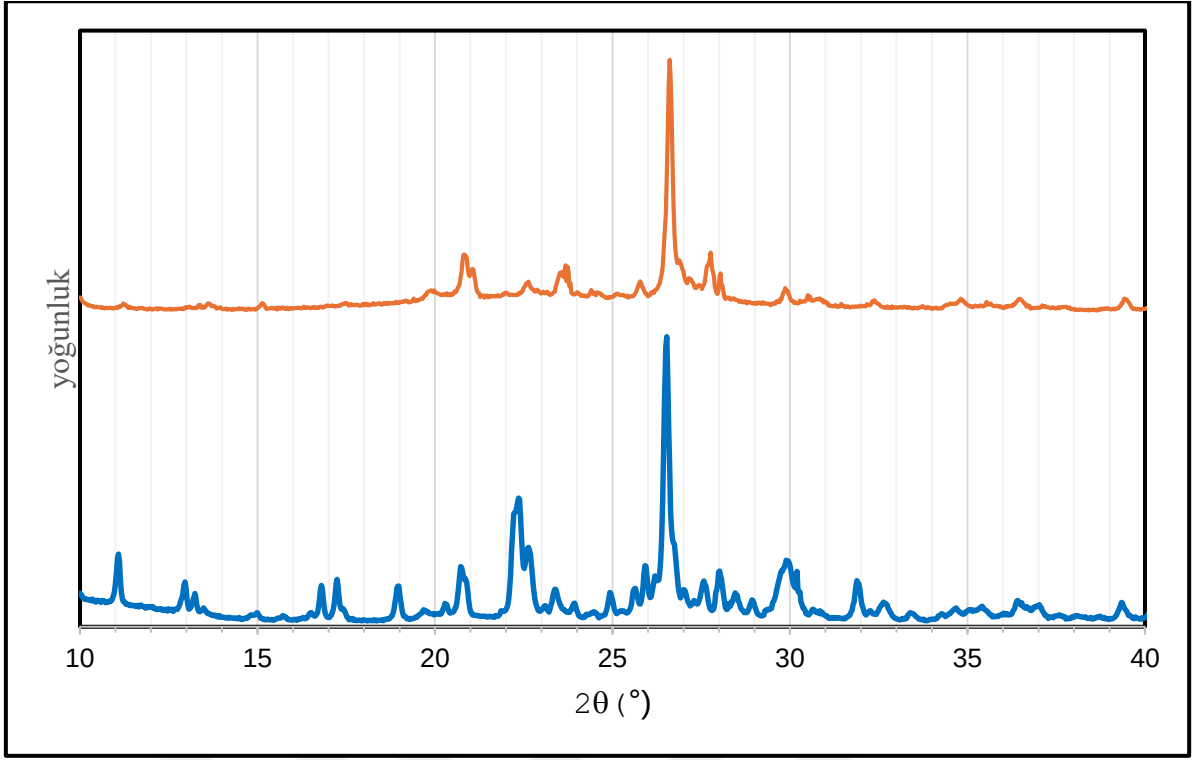
Fiziksel Özellikler	Birim-oran	Değer
---------------------	------------	-------

45 µ elek analizi	%	5,0
Özgül ağırlık		2,5
Blaine	cm ² /gr	7364
Puzolanik aktivite		1,4

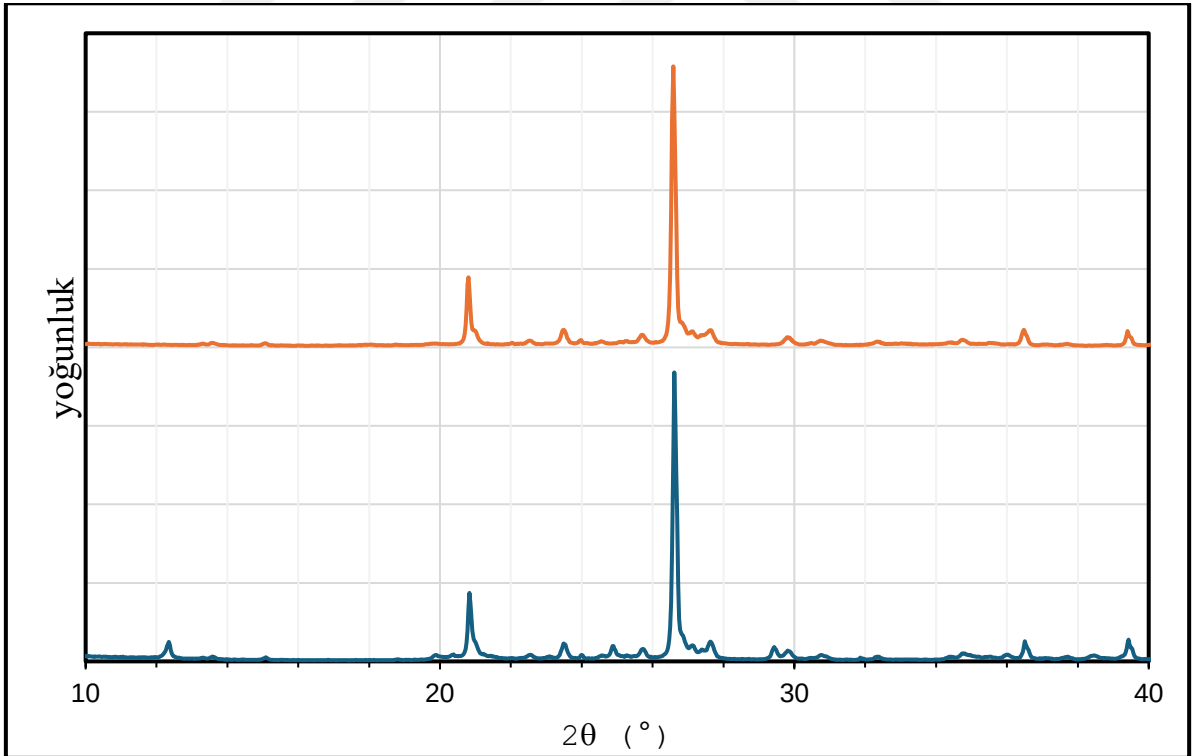
2.1.3. Kalsine Beyaz ve Sarı Bayburt Taşı

Kalsinasyon işlemi Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kalsinasyon işlemi 800 °C sıcaklıkta 3 saat bekletilen malzemelerin aniden soğutulmasıyla tamamlanmıştır.

Şekil 13 Öksüzer'in 2023 yılında yapmış olduğu çalışmaya ait beyaz Bayburt taşı atığı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemelerine ait XRD analizlerini göstermektedir. Şekil incelendiğinde kalsinasyondan önce beyaz Bayburt taşı atığının minerolojik yapısı içerisinde ağırlıklı olarak Quartz ve az miktarda feldispat bulurken kalsinasyon işlemi sonrasında minerolojik yapıda sadece Quartz olduğu görülmektedir. Şekil 14 sarı Bayburt taşı atığı ve kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemelerine ait XRD analizlerini göstermektedir. Şekil incelendiğinde kalsine olmamış sarı Bayburt taşı atığının minerolojik yapısında ağırlıklı olarak Quartz, çok miktarda da feldispat içerdiği açıkça görülmektedir. Kalsinasyon işlemine tabii tutulduktan sonra incelenen minerolojik yapıda ise feldispatın bulunmadığı sadece Quartz bulunduğu görülmektedir. Her iki katkı malzemesinde de açıkça görüldüğü gibi kalsinasyon işlemi sonrasında minerolojik yapıda belirgin farklılıklar olmaktadır.



Şekil 13: Beyaz Bayburt Taşı Atığı ve Kalsine Beyaz Bayburt Taşı XRD Grafiği
(Öksüzer, 2023)



Şekil 14: Sarı Bayburt Taşı Atığı ve Kalsine Sarı Bayburt Taşı XRD Grafiği (Öksüzer, 2023)

2.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında gerek zeminin mekanik özelliklerini belirlemek için gerek ise zemin iyileştirmesi için kullanılan katkı maddelerinin etkisini belirlemek için Tablo 13'te sunulan deneyler yapılmıştır.

Tablo 13: Tez Çalışmasında Uygulanan Deneyler ve Standartları

DENEY ADI	DENEY STANDARTI
Elek Analizi Deneyi	ASTM D 422 (2007)
Kıvam Limitleri Deneyi	ASTM D 4318 (2010)
Standart Kompaksiyon Deneyi	ASTM D 698 (2007)
Özgül Ağırlık Deneyi	ASTM D 854 (2010)
Donma-Çözülme Deneyi	ASTM D 560 (1996)
Serbest Basınç Deneyi	ASTM D 2166 (2006)
Islanma- Kuruma Deneyi	ASTM D 4546 (2008)

2.2.1. Elek Analizi Deneyi

Zeminin dane dağılımını belirlemek için yapılan deneydir. Dane boyutu 63 milimetreye kadar olan zeminlere uygulanır. 75 μ m den büyük dane dağılımını belirlemek için eleme metodu 75 μ m'den küçük dane dağılımını belirlemek için hidrometre metodu kullanılır. Dane çapı dağılımını belirlemek için silt ve kil oranı düşük olan ince kum ve daha iri taneli zeminlerde kuru eleme metodu uygulanır. İnce taneli zeminlerin dane dağılımını belirlemek için ise pipet metodu kullanılır. Doğal halde laboratuvara getirilen kil zemin etüvde 104 $\pm$ 5°C sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonra Los Angeles Aşındırma cihazında öğütülmüştür. Elek takımında bulunan elekler tek tek tartılarak boş elek kütleleri not alınmıştır. Elekler elek açıklığı büyükten küçüğe olacak şekilde standartta belirtilen şekilde yerleştirilmiş ve öğütülen zeminden belli miktarda alınarak tartılmıştır. Bu işlemin ardından deney aleti çalıştırılarak 12 dakika boyunca işleme devam edilerek deney bittikten sonra elek üzerinde kalan malzeme elek ile tartılmıştır. Standartta belirtilen hesaplamalar yapıldıktan sonra toplam geçen miktarına göre granülometri eğrisi çizilerek zemin tane dağılımı belirlenmiştir. Şekil 15'te elek analizi deneyi uygulama aşamalarını gösterilmiştir.



Şekil 15: Elek Analizi Deneyi Uygulama Aşamaları

2.2.2. Kıvam Limitleri Deneyleri

Kıvam limitleri, Atterberg tarafından tanımlanmış olup zeminleri su içeriğine bağlı olarak şekil değiştirmelerini tespit etmek amacıyla yapılan deneyleri ifade etmektedir. Atterberg tarafından tanımlanan kıvam limitleri viskoz akışın üst limiti, likit limiti, yapışkan limiti, kohezyon limiti, plastik limiti ve büzülme limiti olmak üzere altı tanedir fakat mühendislikte plastik limit ve likit limit yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.2.1. Likit limit deneyi

Kohezyonlu zeminlerdeki yarı sıvı ve plastik durumlar arasında belirlenmiş olan sınırdaki zeminin su içeriğidir. Likit limit ' w_l ' ile gösterilir. Yüzde olarak ifade edilir. Likit limit koni düşürme (penetrasyon) ve Casagrande deney aleti ile olmak üzere iki deney metodu ile tespit edilir. Likit limit değerini belirlemek için Casagrande deney aleti kullanıldı. Şekil 16 likit limit deneyinin yapılış aşamalarını göstermektedir.

40 No'lu elekten elenen 200 g zemin numunesi alınmıştır. Üzerine su eklenerek homojen hale gelene kadar iyice karıştırılmış ve homojen hale gelen zemin örneği 24 saat desikatörde bekletilmiştir. 24 saat sonunda desikatörden çıkarılan zemin örneği 40 dakika boyunca karıştırılmıştır. Zemin örneğinden bir miktar alınarak Casagrande deney aletine yerleştirilmiştir ve oyuk açma bıçağı ile deney aletinde bulunan zemin örneğini iki eşit parçaya bölecek şekilde oyuk açılmıştır. Deney aleti belirli bir hızla çevrilerek zemin örneğinin tabanında açılan boşluk kapandığı anda deney sonlandırılmış ve vuruş sayısı kaydedilmiştir. Zemin örneğinin optimum muhtevasını belirlemek amacıyla zeminden bir miktar alınarak tartılmıştır. Daha sonra alınan numune etüvde $104\pm5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda etüvden çıkarılarak tartılarak optimum su muhtevası belirlenmiştir. Zemine bir miktar su katılıp iyice karıştırıldıktan sonra deney tekrar edilmiştir. Her deneyde optimum su muhtevası ve vuruş sayısı kaydedilmiştir. Elde edilen değerler grafik üzerinde gösterilmiştir. 25 vuruşa denk gelen su içeriği zeminin likit limit değeri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 16: Likit Limit Deneyi Uygulaması

2.2.2.2. Plastik limit

Şekil 17 plastik limit deneyinin yapılışını göstermektedir. Desikatörde 24 saat bekletilen zemin numunesinden 20 g alınarak homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Zemin şekil verilebilecek düzeye geldiğinde 2 parçaya ayrılarak parçalardan biri hava izolasyonu sağlanan bir kaba koyulmuştur diğer parça ise cam bir plaka üzerinde silindir şeklini alana kadar yoğrulmuştur. Numune üzerinde çatlamlar oluşmaya başladığında kopma olmadan numuneden bir miktar alınarak numunenin optimum su muhtevası belirlenmiştir. Diğer parça için de aynı işlem tekrar edilmiştir. 2 değerın ortalaması plastik limit değeri olarak belirlenmiştir.



Şekil 17: Plastik Limit Deney Uygulaması

2.2.3. Özgöl Ağırlık Deneyi

4 No'lu elekten elenen zemin örneğinden 1 kg alınmıştır. Zemin örneği 2 ayrı tepsiye bölünmüştür. Zeminin üzerini geçecek şekilde su eklenmiş ve 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sürenin sonunda tepsi üzerinde kalan su dökülerek zemin örneği yüzey kuru hale getirilmiştir. Deneyde kullanılan piknometrelerin boş ağırlıkları ölçülmüştür. Piknometre çizgisine kadar su eklenmiş ve tartılmıştır. Piknometre kurutulduktan sonra zemin örneği piknometreye yerleştirilmiştir. Piknometre ve zemin ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir. Karışım üzerine su eklenerek homojen hale gelene kadar iyice çalkalanmıştır. Piknometre yüzeyinde oluşan köpük pamuk yardımıyla alınmıştır. Karışım tekrar tartılmıştır. Zemin piknometreden çıkarılmış ve 24 saat etüvde bekletilmiş, son ağırlığı tartılmış ve özgül ağırlığı belirlenmiştir. Şekil 18 özgül ağırlık deneyinin yapılışını göstermektedir.



Şekil 18: Özgül Ağırlık Deneyi Uygulaması

2.2.4. Standart Kompaksiyon Deneyi

Kompaksiyon deneyleri iri ve ince taneli zeminler için ayrı tokmak çeşitleri kullanılarak yapılmaktadır. İnce taneli zeminler için 2,5 kilogram ve 4,5 kg ağırlıklı tokmaklar kullanılmakta iken iri taneli zeminler için titreşimli tokmaklar kullanılarak deneyler gerçekleştirilmektedir. Şekil 19 kompaksiyon deneyinin laboratuvar ortamında yapılışını göstermektedir.

Kompaksiyon deneyi için 2,5 kilogram zemin örneği alınmıştır. Zemin örneğine 150 ml su katılarak homojen hale getirilerine kadar karıştırılmıştır. Zemin karışımından bir miktar alınarak çapı 105 mm boyu 115,5 mm olan kalıp boş ağırlığı tartılmıştır. Kalıp içerisindeki zemine 2,5 kilogram kütleli 305 milimetre yükseklikteki tokmak ile 25 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi 3 tabaka halinde ve toplamda 75 vuruş yapılarak tamamlanmıştır.

Kalıp içerisindeki sıkıştırılmış zemin tartılmış ve kaydedilmiştir. Daha sonra kalıp içerisinden alınan sıkıştırılmış zemin örneği tartılarak kütlesi kaydedilmiş ve etüvde 24 saat bekletilmiştir. Zemin örneğine 150 mililitre su katılarak aynı işlem 6 kez tekrar edilmiştir. Elde edilen değerler sonucunda standartta belirtilen hesaplamalar yapılarak su içeriği-kuru birim hacim ağırlık grafikleri çizilmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlığa denk gelen su içeriği optimum su muhtevası olarak belirlenmiştir.

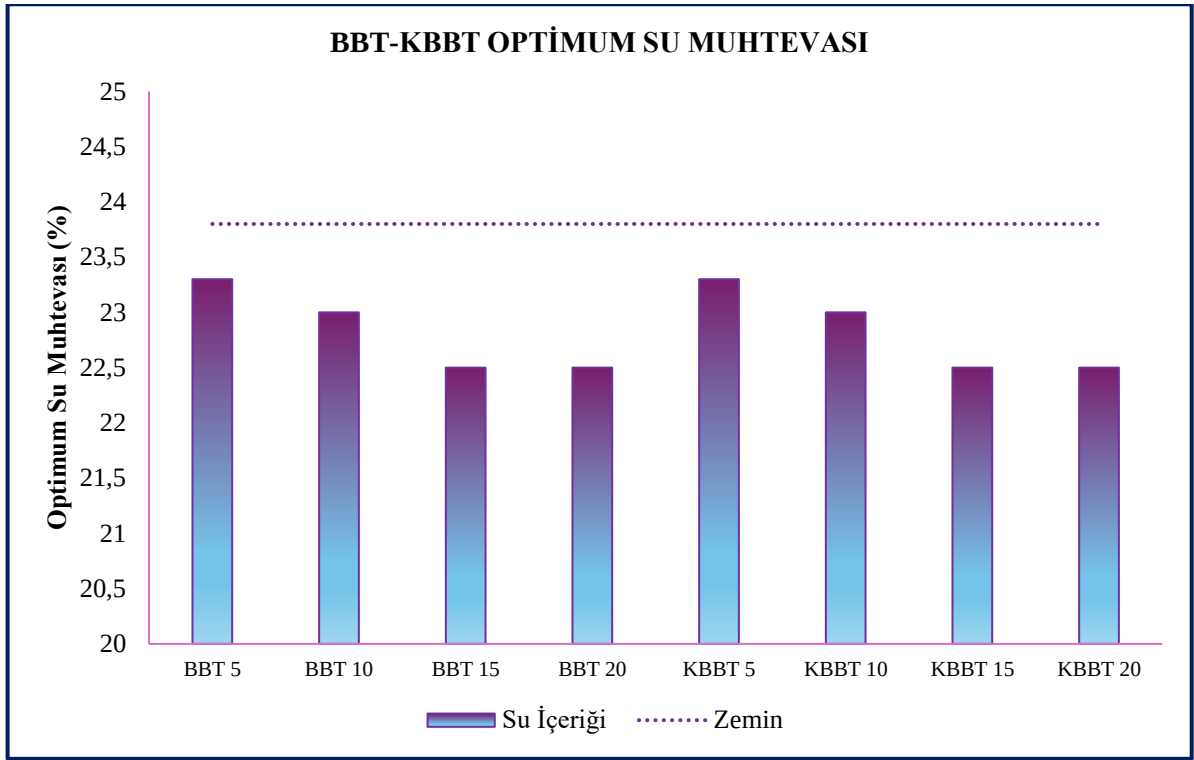
Şekil 20 beyaz Bayburt taşı atığı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemeleri kullanılarak üretilen numunelerin optimum su muhtevalarındaki değişimi göstermektedir. Zemine kıyasla optimum su muhtevası iki katkı malzemesinde de azalmış ve katkı oranı arttıkça her iki türde de su muhtevasının azaldığı görülmüştür.

Bununla beraber Şekil 21 sarı Bayburt taşı atığı ve kalsine sarı Bayburt taşının optimum su muhtevasının değişimini göstermektedir. BBT atığı ve KBBT numunelerinde görülen davranışın benzeri bu türlerde de görülmüştür.

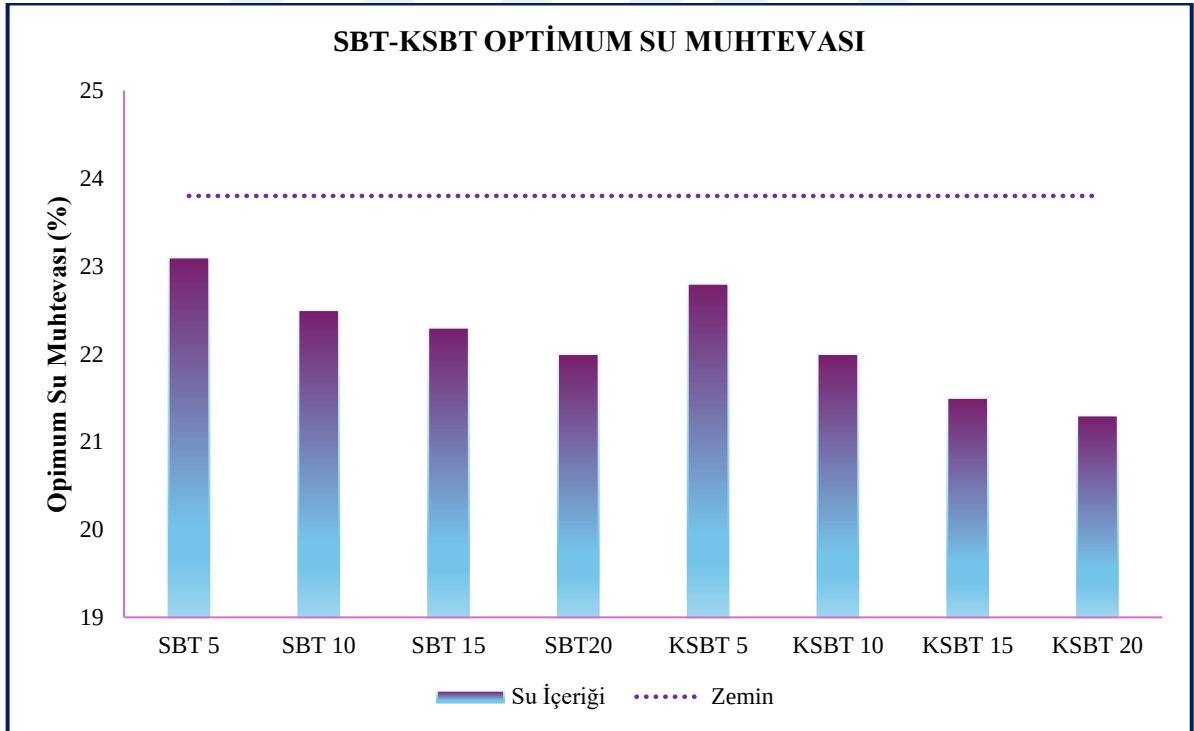
Şekil 22’ de BBTK ve KBBTK numunelerinin optimum su muhtevası, Şekil 23’te SBTk ve KSBTK numunelerinin optimum su muhtevası sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde kireç kullanımı doğal zemine kıyasla optimum su muhtevasını arttırmıştır. Katkı malzemelerinin kullanımı her dört kategoride de zemin içerisindeki katkı oranı arttıkça optimum su muhtevası azalırken, BBTK5, BBTK10, KBBTK5 ve SBTk5, SBTk10, KSBTK5, KSBTK10 numunelerinde optimum su muhtevası değerinin doğal zeminden fazla olduğu kireçli zemin karışımından az olduğu görülmüştür.



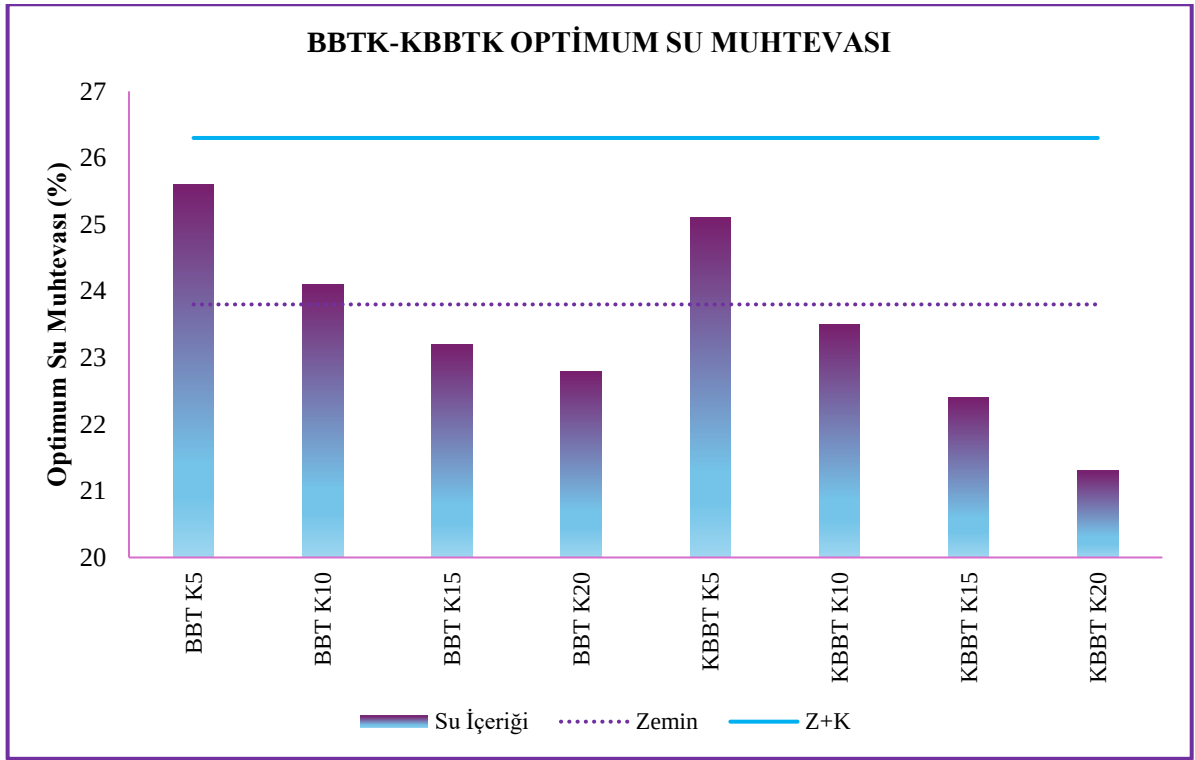
Şekil 19: Kompaksiyon Deneyi Uygulaması



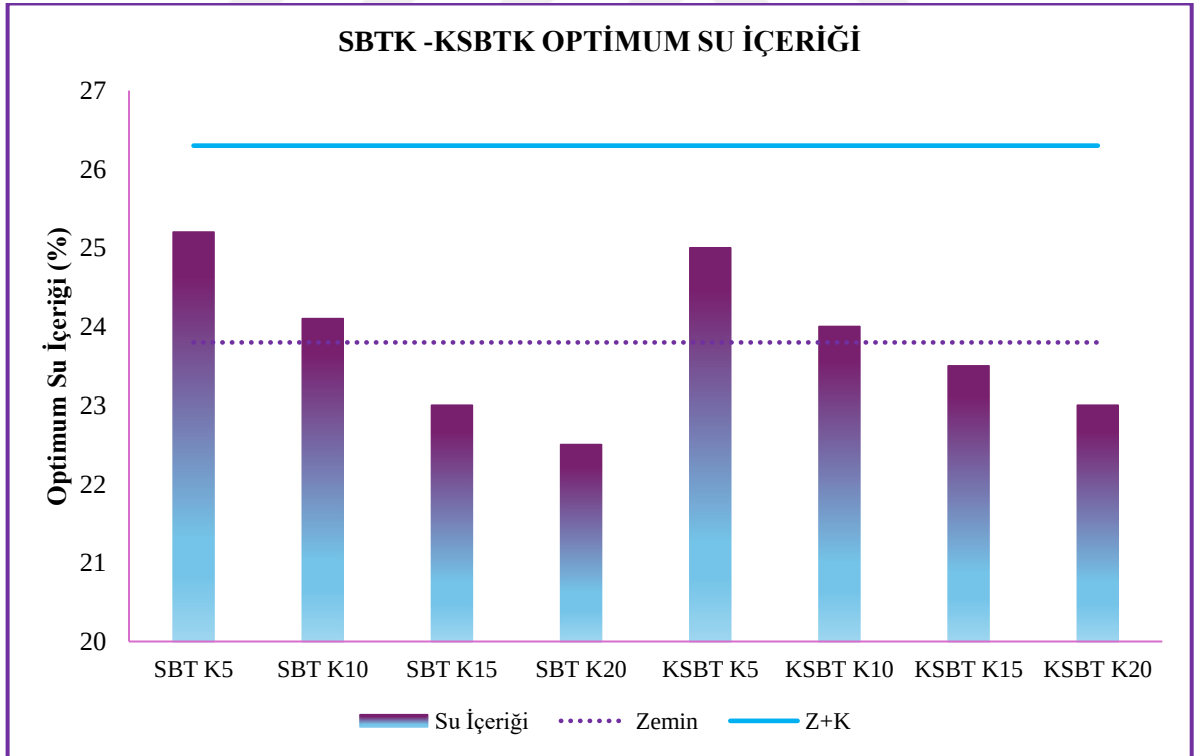
Şekil 20: BBT ve KBBT Numunelerinin Optimum Su Muhtevası



Şekil 21: SBT ve KSBT Numunelerinin Optimum Su Muhtevası



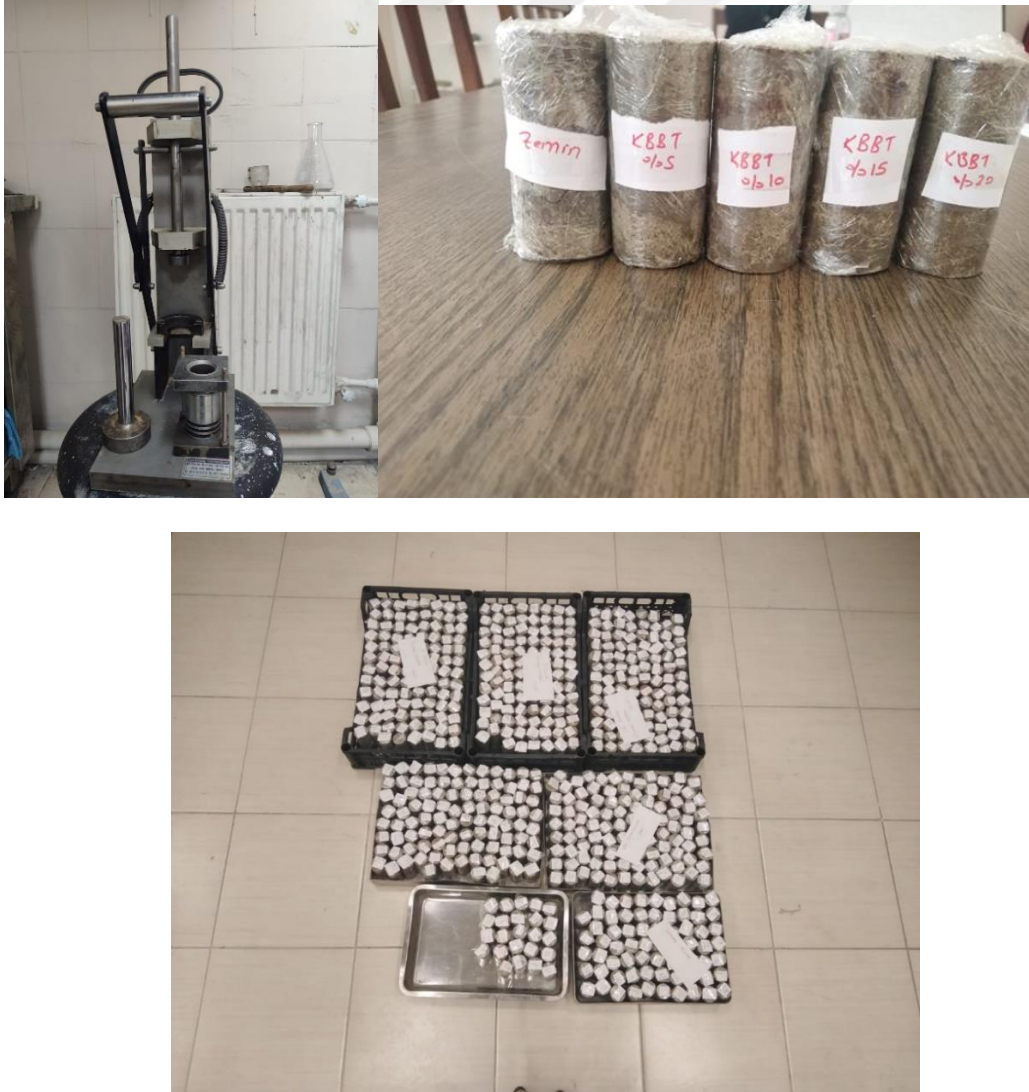
Şekil 22: BBTK ve KBBTK Numunelerinin Optimum Su Muhtevası



Şekil 23: SBTK ve KSBTK Numunelerinin Optimum Su Muhtevası

2.2.5. Numune Hazırlama

Serbest basınç dayanımı, donma çözülme ve ıslanma kuruma deneyleri için toplamda 782 numune hazırlanmıştır. Numuneler Harvard kompaksiyon deney aleti ile hazırlanmıştır. Numune ebatları 36x72 mm'dir. Numune üretimi için hesaplanan miktarda zemin örneğine belirlenen miktarlarda katkı malzemeleri eklenerek iyice karıştırılmıştır. Karışım üzerine standart kompaksiyon deneyi sonucu hesaplanan optimum su muhtevası oranında su eklenerek homojen bir hale gelene kadar karıştırılmıştır. Daha sonra karışımdan bir miktar alınarak önceden gres yağı ile yağlanan kalıba yerleştirilmiştir. Zemin toplamda 5 katmanda ve her katmana 15 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra kalıp Harvard kompaksiyon deney aletine yerleştirilmiştir. Uygulanan kuvvet ile numune kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan numune streç ile kaplanmış ve kür süresi tamamlanana kadar bekletilmiştir. Şekil 24'te Harvard Deney Aleti ile hazırlanan numuneler gösterilmiştir.

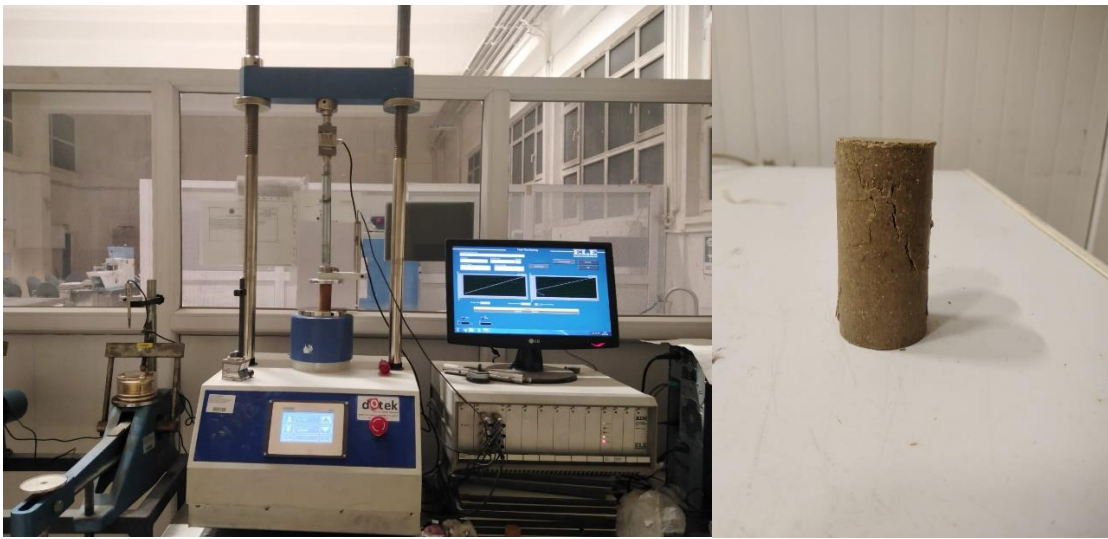


Şekil 24: Harvard Deney Aleti ve Hazırlanan Numuneler

2.2.6. Serbest Basınç Dayanımı

Serbest basınç dayanımı deneyi sıkıştırılmış halde bulunan zemin numunelerinin basınç dayanımının tespit edilmesini sağlar. Numuneler 50 milimetre çapında hazırlanır fakat numune çapı 38 mm de olabilir. Dikkat edilmesi gereken husus numunenin yüksekliğinin çapının 2 katı olmasıdır. Serbest basınç dayanımı deneyi kumlu zeminlere uygulanmamalıdır.

Deney Dotek marka deney aleti kullanılarak yapılmıştır. Deney aletinde yükleme hızı, yük-deformasyon ile ilgili ayarlar bilgisayar ortamında otomatik olarak yapılabilmektedir. Şekil 25'te serbest basınç dayanımı deney aleti ve serbest basınç deneyi sonrası kırılan numune sunulmuştur. Deneysel çalışmada yük uygulama hızı 0,8 mm/dk olarak ayarlanmış ve deney süresi boyunca değiştirilmemiştir.



Şekil 25: Serbest Basınç Dayanımı Deney Aleti ve Kırılan Zemin Numunesi Örneği

2.2.7. Donma Çözülme Deneyi

Deney donma çözülme sıcaklığı ve çevrim sayısı otomatik olarak ayarlanabilen deney aletinde gerçekleştirilmiştir. Donma çözülme deneyinde 28 günlük kür süresinin tamamlayan numuneler kullanılmıştır. Deneysel çalışmada donma sıcaklığı -21°C , çözülme sıcaklığı $+25^{\circ}\text{C}$ derece olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada zemin numunelerinde donma çözülme çevrim etkisi araştırılmıştır. 12 saat dondurma 12 saat çözdürme işlemi bir çevrim olarak ayarlanmıştır. Çevrim sayıları 3, 6, 9, 12 olarak belirlenmiştir. Çevrim sayısı tamamlanan numunelerin mühendislik özelliklerini belirlemek için serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Şekil 26 donma çözülme deney kabinini göstermektedir.



Şekil 26: Donma Çözülme Deney Kabini

2.2.8. Islanma Kuruma Deneyi

28 gün kür süresine tabi tutulan numunelerin ilk ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. 24 saat kür suyu içerisinde oda sıcaklığında bekletilmişlerdir. 24 saat sonunda sudan çıkarılan numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiş ve kütleleri ölçülerek kaydedilmiştir. Bu işlem 1 çevrim olarak adlandırılmış ve 12 kez tekrarlanmıştır. Şekil 27 ıslanma kuruma deneyinin yapılışını göstermektedir.



Şekil 27: Islanma Kuruma Deney Uygulaması

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULGULAR

3.1. TEK EKSENLİ SERBEST BASINÇ DAYANIMI SONUÇLARI

Şekil 28 farklı oranlarda BBT numunelerinin 7, 14 ve 28 gün kür süresi sonundaki basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Beyaz Bayburt taşı atığı kullanımı doğal zemine göre basınç dayanımını artırmıştır. Tablo 14 farklı oranlarda kullanılan beyaz Bayburt taşı atığının basınç değerlerini göstermektedir. 7 günlük kür süresinde en düşük basınç dayanımı değeri BBT15 karışımında 2,17 kat artmıştır. En yüksek artış ise BBT20 karışımında 2,62 kat artmıştır. Basınç dayanımı tüm karışım oranlarında 14 günlük kür süresinde 7 günlük kür süresine kıyasla belirgin derecede artış göstermiştir. 14 günlük kür süresi sonunda en yüksek basınç dayanımı değeri 3,04 kat artış gösteren BBT15 numunesinden elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı değeri ise 2,37 kat artış gösteren BBT5 numunesinden elde edilmiştir. 28 günlük kür süresi sonunda en yüksek basınç dayanımı değeri 3,27 kat artışın görüldüğü BBT15 numunesinden elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı değeri ise 2,46 kat artışın görüldüğü BBT5 numunesinden elde edilmiştir.

Beyaz Bayburt taşı atığının zeminin basınç dayanımını artırdığı görülmüştür. Tüm karışım oranlarında maksimum basınç dayanımı değerine 28 günlük kür süresi sonunda ulaşılmıştır. Maksimum basınç değerine 28 günlük kür süresi sonunda BBT15 numunesinde ulaşılmıştır.

Şekil 29 zemin iyileştirmesinde farklı oranlarda kullanılan SBT atığının etkisini göstermektedir. Deney sonuçları incelendiğinde kür süresi arttıkça zeminin basınç dayanımının arttığı açıkça görülmektedir. 7 günlük süresi sonunda en yüksek basınç dayanımına 2,3 kat artış gösteren SBT20 numunesinde ulaşılmıştır. En düşük basınç dayanımı değeri 1,74 kat artış gösteren SBT5 numunesinden elde edilmiştir. 14 günlük kür süresi incelendiğinde en yüksek basınç değerine 2,64 kat artış gösteren SBT20 numunesinde ulaşılmıştır. En düşük basınç dayanım değerine ise 1,93 kat artış gösteren SBT5 numunesinde ulaşılmıştır. 28 günlük kür süresi sonunda maksimum basınç dayanımına 3,35 kat artış gösteren SBT20 numunesinde ulaşılmıştır. En düşük basınç dayanımına ise 2,84 kat artış gösteren SBT5 ve SBT10 numunelerinde ulaşılmıştır. Zemin iyileştirmede SBT atığı kullanımı tüm karışım oranlarında basınç dayanımını arttırmıştır. 7,14 ve 28 günlük kür süreleri karşılaştırıldığında kür süresi arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı değerine SBT20 numunesinde ulaşılmıştır. Tablo 15 SBT numunelerine ait farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 14: BBT Numunelerinin Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

Katkı	7. Gün	14. Gün	28. Gün
Zemin	124,80	124,80	124,80
BBT5	271,72	296,28	306,83
BBT10	256,58	359,94	365,77
BBT15	270,62	378,97	407,56
BBT20	327,37	364,74	396,31

Tablo 15: SBT Numunelerinin Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

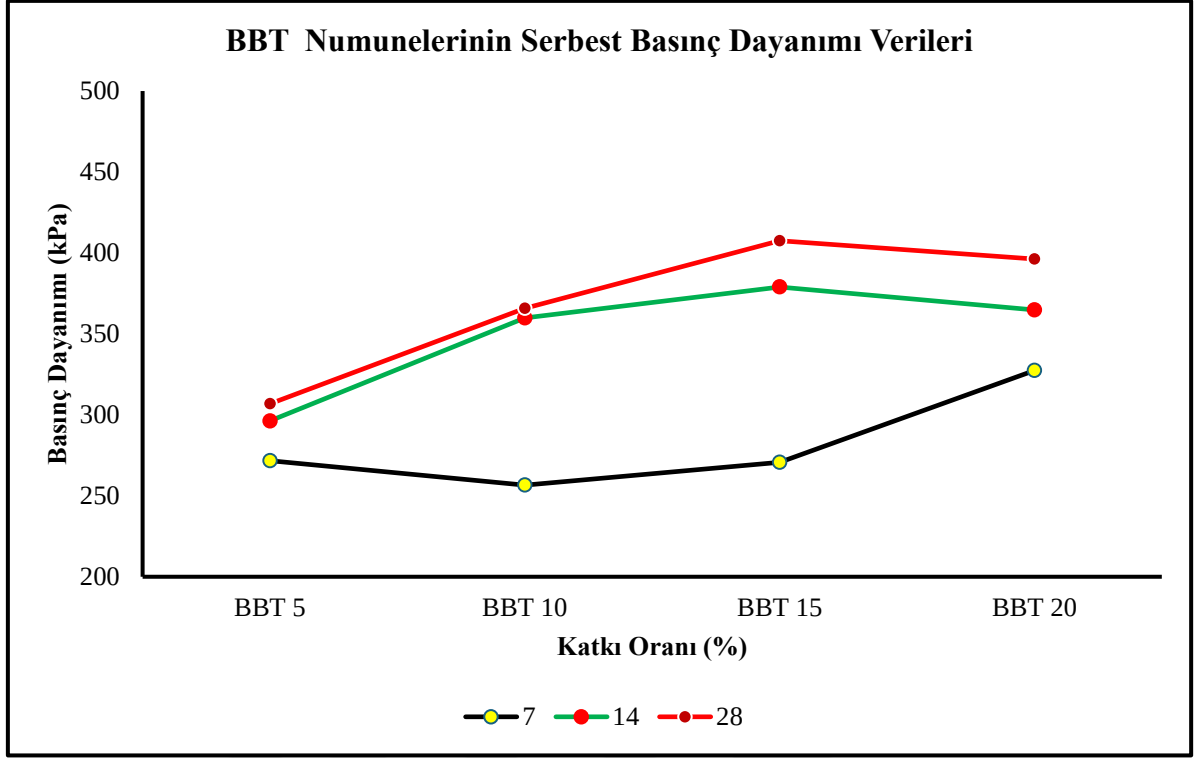
Katkı	7. Gün	14. Gün	28. Gün
Zemin	124,80	124,80	124,80
SBT 5	217,28	240,96	355,90
SBT 10	246,64	281,021	354,24
SBT 15	244,77	242,44	383,42
SBT20	287,53	329,05	417,72

Tablo 16: KBBT Numunelerine Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

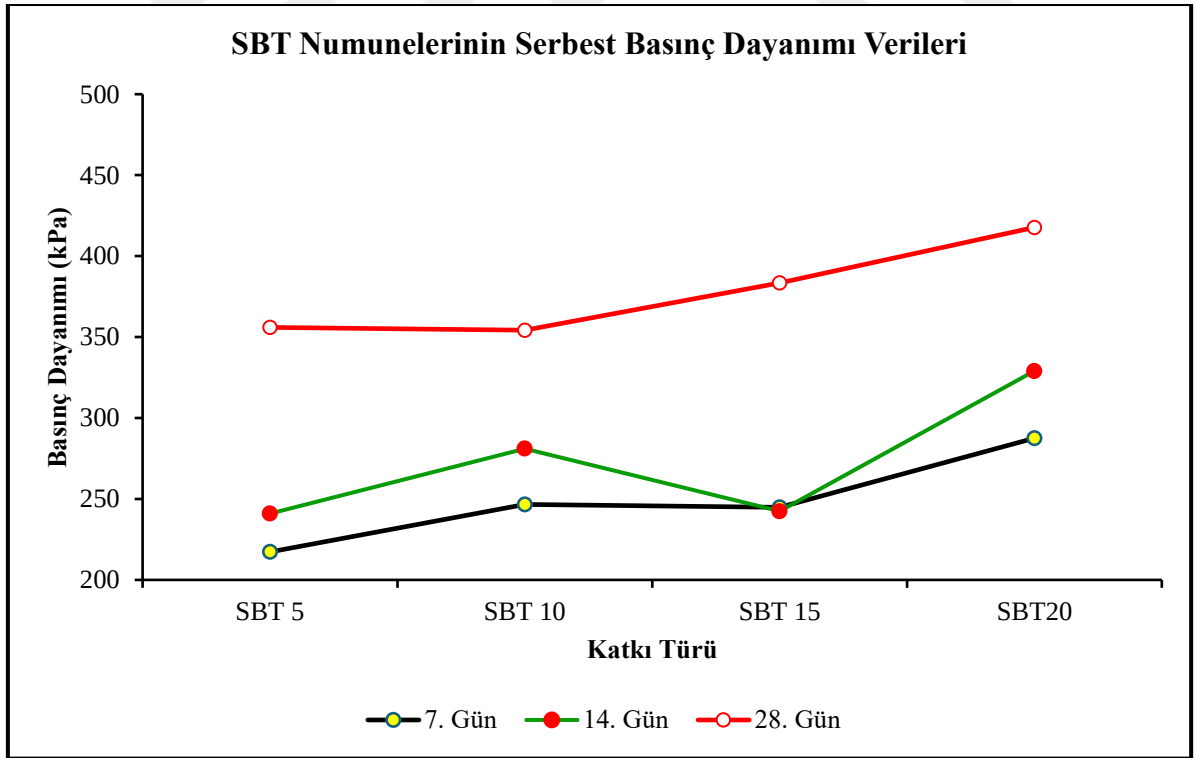
Katkı	7. Gün	14. Gün	28. Gün
Zemin	124,80	124,80	124,80
KBBT 5	554,26	565,09	584,19
KBBT 10	556,18	573,08	590,71
KBBT 15	572,66	583,19	617,17
KBBT 20	527,376	561,47	594,27

Tablo 17: KSBT Numunelerine Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

Katkı	7. Gün	14. Gün	28. Gün
Zemin	124,80	124,80	124,80
KSBT 5	528,76	601,02	700,60
KSBT 10	524,06	601,59	703,93
KSBT 15	518,61	571,70	662,16
KSBT 20	516,66	541,45	643,66



Şekil 28: Farklı Oranlarda BBT Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)



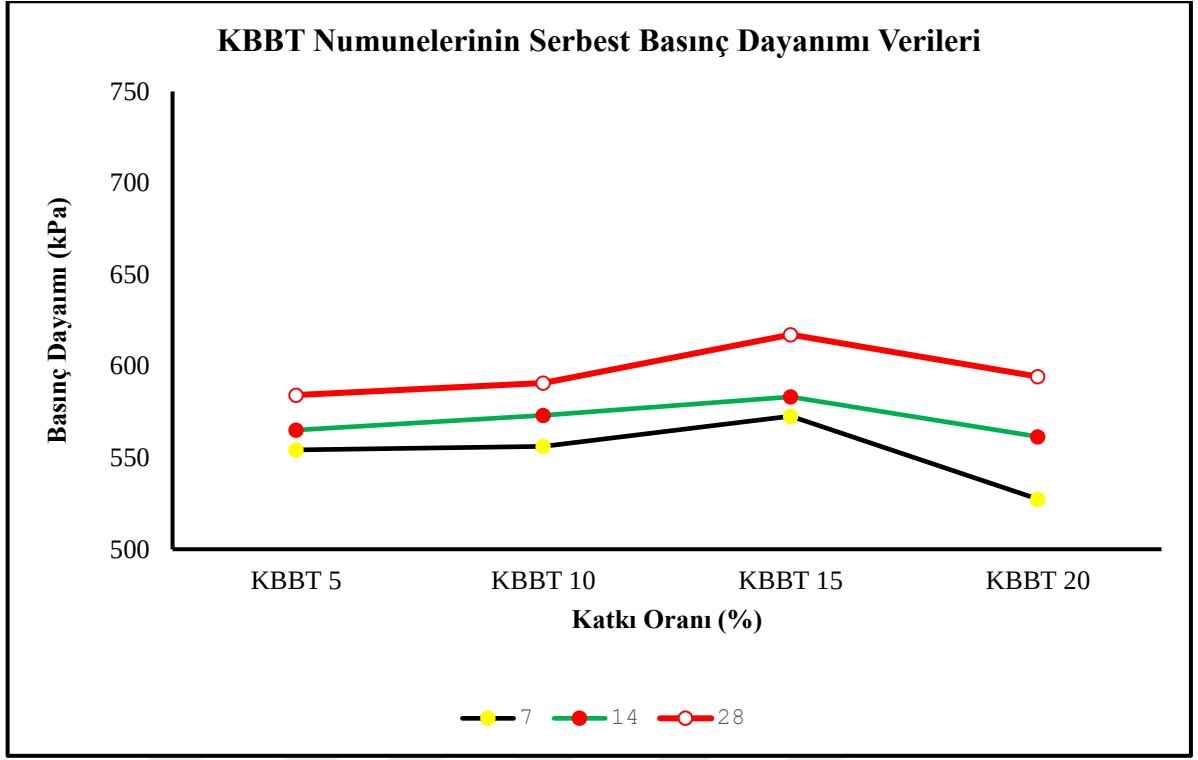
Şekil 29: Farklı Oranlarda SBT Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Şekil 30 KBBT numunelerinin farklı kür sürelerinde etkisini göstermektedir. KBBT numunelerinin tümünde serbest basınç dayanımının belirgin derecede arttırdığı görülmüştür. 7 günlük kür süresi sonunda maksimum basınç dayanımı değerine 4,59 kat artış gösteren KBBT 15 karışımında ulaşılmıştır. Minimum basınç dayanımı değerine ise 4,44 kat artış gösteren KBBT5 karışımında ulaşılmıştır. 14 günlük kür süresi incelendiğine maksimum basınç dayanımı değeri 4,67 kat artış gösteren KBBT15 numunesinde elde edilmiştir. Minimum artış ise 4,50 kat artış gösteren KBBT20 numunesinde elde edilmiştir. 28 günlük kür süresinde maksimum basınç değerine 4,95 kat artış gösteren KBBT15 numunesinde ulaşılmıştır. Minimum basınç dayanımı değerine ise 4,68 kat artış gösteren KBBT5 numunesinde ulaşılmıştır. Tablo 16 KBBT numunelerine ait farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı sonuçlarını göstermektedir.

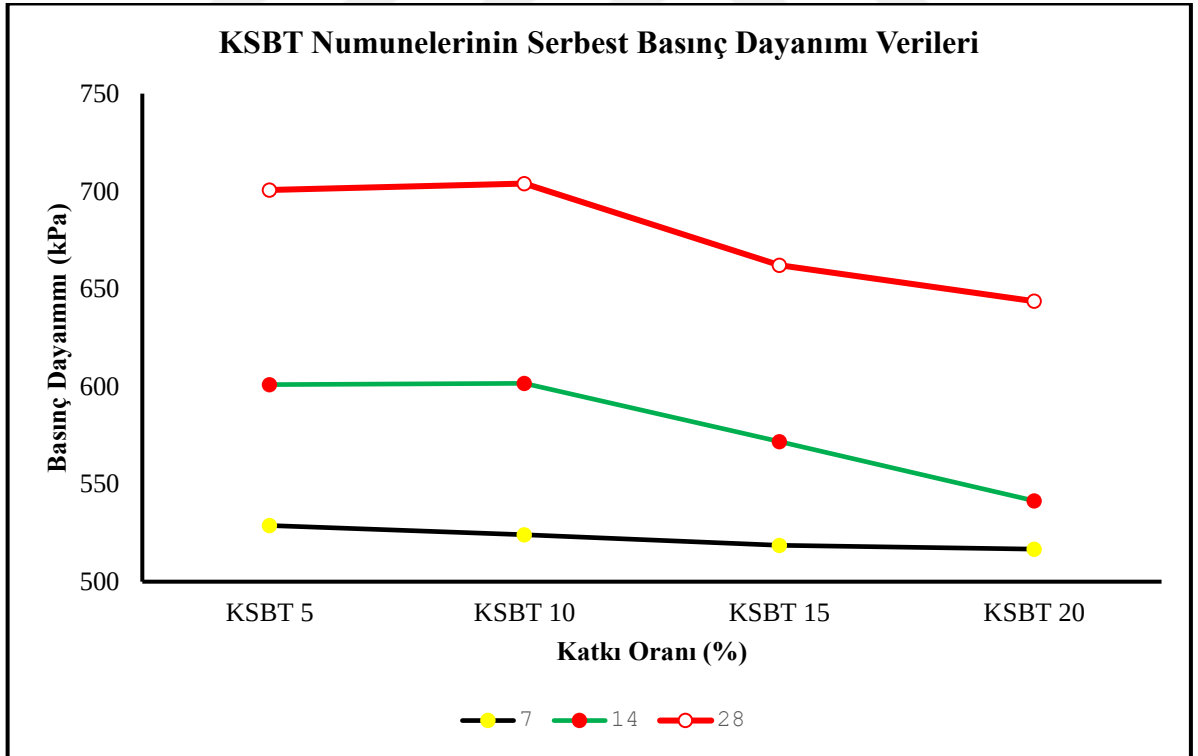
Farklı oranlarda kullanılan kalsine edilmiş beyaz Bayburt taşı atıklarının farklı oranlarda kullanıldığı tüm numunelerde serbest basınç dayanımı artmıştır. Kür periyodu uzadıkça basınç dayanımında net artışlar tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı değerine 28 günlük kür süresinde ulaşılmıştır. Kür süreleri incelendiğinde KBBT15 numunelerinde maksimum basınç dayanımı değerlerine ulaşılmıştır.

Şekil 31 kür süresinin KSBT numuneleri üzerindeki etkisini göstermektedir. 7 günlük kür süresi sonunda maksimum basınç dayanımı değerine 4,24 kat gösteren KSBT5 numunesinde ulaşılmıştır. Minimum basınç dayanımı değerine ise 4,14 kat artış gösteren KSBT20 numunesinde ulaşılmıştır. 14 günlük kür süresi incelendiğinde tüm karışım oranlarında 7 günlük kür süresine göre sürekli bir artış görülmüştür. 14 günlük kür süresinde maksimum basınç dayanımı değerine 4,82 kat artış gösteren KSBT5 ve KSBT10 numunelerinde ulaşılmıştır. Minimum basınç dayanımı değerine ise 4,34 kat artış gösteren KSBT20 numunesinde ulaşılmıştır. 28 günlük kür süresi sonunda maksimum basınç dayanımı değerine 5,64 kat artış gösteren KSBT10 numunesinde ulaşılmıştır. Minimum basınç dayanımı değerine ise 5,16 kat gösteren KSBT20 numunesinde görülmüştür.

Kür süresi KSBT numunelerinin basınç dayanımını etkilemiştir. En yüksek basınç dayanımı değerine 28 günlük kür süresinde ulaşılmıştır. Maksimum basınç dayanımı değerinin KSBT10 numunesi olduğu belirlenmiştir. Tablo 17 KSBT numunelerine ait farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı sonuçlarını göstermektedir.

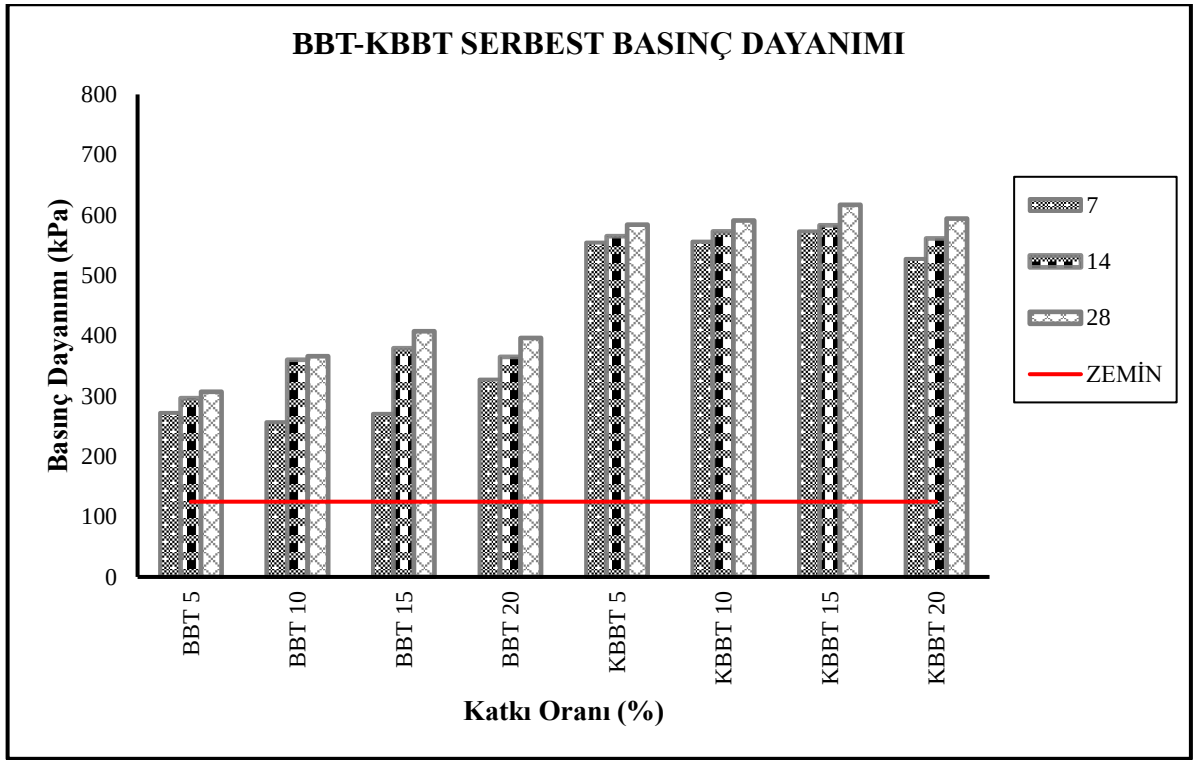


Şekil 30: Farklı Oranlarda KBBT Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

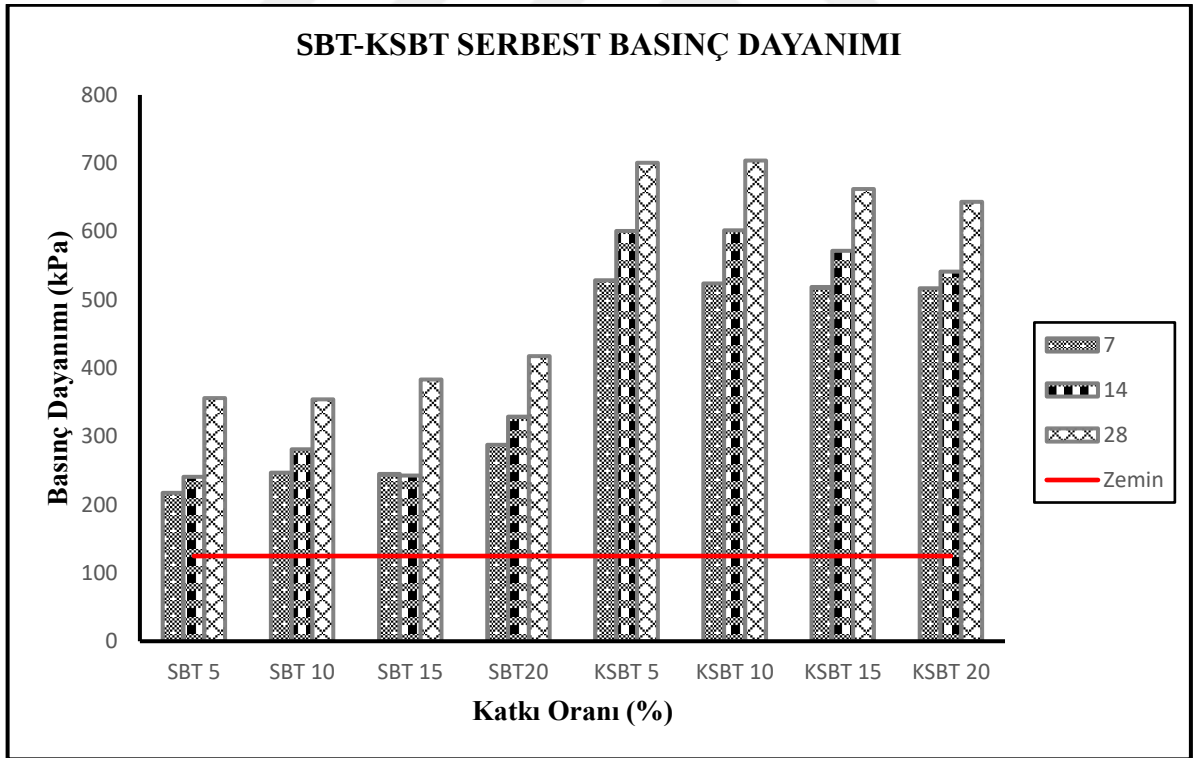


Şekil 31: Farklı Oranlarda KSBT Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Tez çalışmasının mihenk taşı oluşturarak kalsinasyon etkisinin araştırılması amacı ile kireçsiz kalsine ve kalsine olmayan numunelere ait serbest basınç dayanımı değerleri Şekil 32 ve Şekil 33'te gösterilmiştir. Aynı oranda katkı malzemeleri kullanılarak oluşturulan numuneler incelendiğinde 7 günlük kür süresi maksimum artış 2,17 kat artış KBBT10 numunesinde görülürken en düşük artış oranı 1,61 kat artış ile KBBT20 numunesinde görülmüştür. 14 günlük kür süresinde maksimum artış oranı 1,90 kat artış ile KBBT 5 numunesinde görülürken en düşük artış oranı 1,54 kat artış ile KBBT15 ile KBBT20 numunelerinde görülmüştür. 28 günlük kür süresinde maksimum artış oranına KBBT5 numunesinde minimum artış oranına ise 1,5 kat artış ile KBBT20 numunesinde ulaşılmıştır. BBT ve KBBT numuneleri incelendiğinde KBBT numunelerinin tüm karışım oranlarında BBT numunelerinden daha yüksek basınç dayanımına ulaştığı görülmektedir. Kür süresi incelendiğinde 28 gün kür süresi sonunda 7 ve 14 günlük kür süresine kıyasla daha büyük bir artış olduğu açıkça görülmektedir. Numunelerin maksimum basınç dayanımına 28 günlük kür süresi sonunda ve KBBT15 numunesinde ulaşıldığı belirlenmiştir. SBT ve KSBT numuneleri incelendiğinde KSBT numunelerinin zeminin dayanımını arttırdığı görülmektedir. Maksimum artış oranı 7 günlük kür süresi sonunda KSBT5 numunesinde görülürken maksimum basınç dayanımı değerine 516,66 kPa ile KSBT20 numunesinde ulaşılmıştır. 7 günlük kür süresi sonunda elde edilen basınç dayanımı verileri ışığında maksimum artış oranı 4,99 kat artış gösteren KSBT5 numunesinde görülmüştür. En düşük artış oranı ise 3,93 kat artış gösteren KSBT20 numunesinde görülmüştür. 14 günlük kür süresi sonunda maksimum artış basınç dayanımının 4,92 kat arttığı KSBT5 ve KSBT15 numunelerinde görülmüştür. En düşük artış oranı ise 3,82 kat artış gösteren KSBT20 numunesinde görülmüştür. 28 günlük kür sonunda KSBT10 numunesinde 3,99 kat artış ile maksimum artış görülürken 3,70 kat artış oranı ile KSBT5 numunesinde minimum artış görülmüştür. Kalsinasyonun zemin iyileştirmede etkisi incelendiğinde hem KBBT hem KSBT numunelerinin basınç dayanımını belirgin ölçüde artırdığı görülmüştür. 7 ve 14 günlük kür süreleri sonunda basınç dayanımında yüksek oranlarda artış görülürken 28 günlük kür süresi sonunda artış oranı daha az olurken basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Karışım oranları incelendiğinde KBBT ve KSBT numuneleri için maksimum dayanım değeri KBBT numunelerinde %15 katkı oranında elde edilmişken KSBT numunelerinde %20 oranında elde edilmiştir.



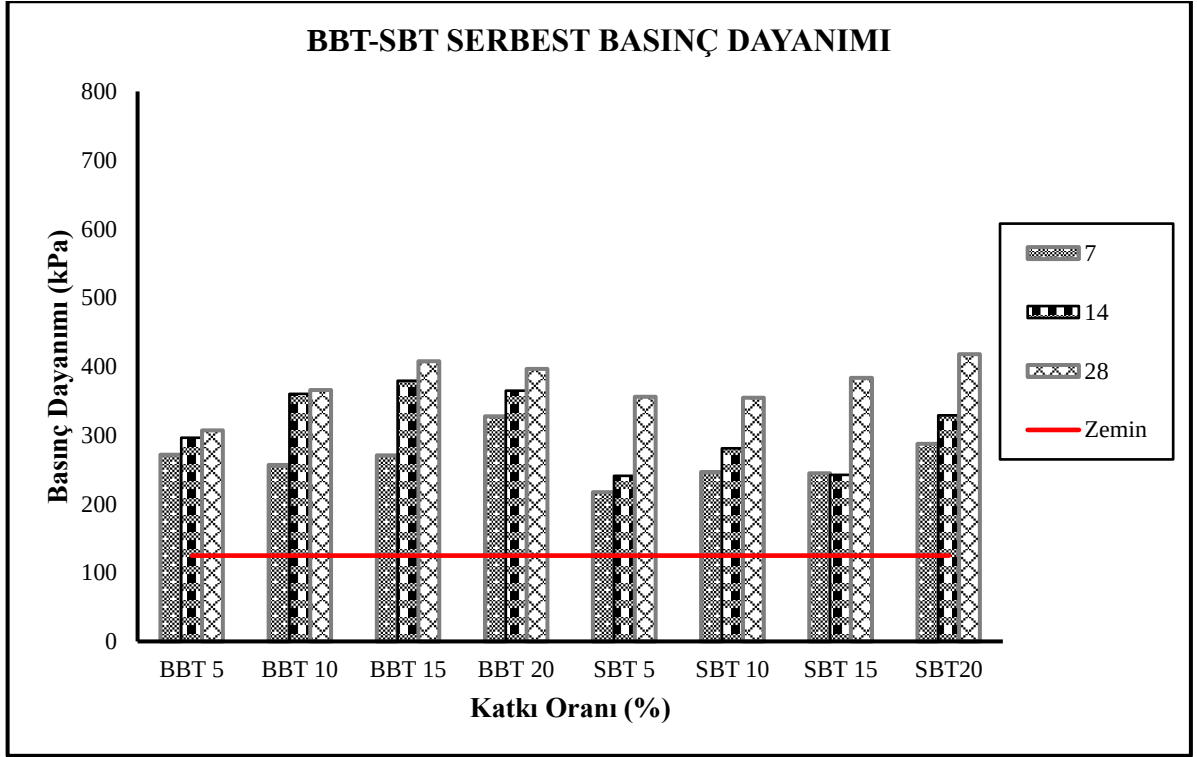
Şekil 32: BBT-KBBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması (kPa)



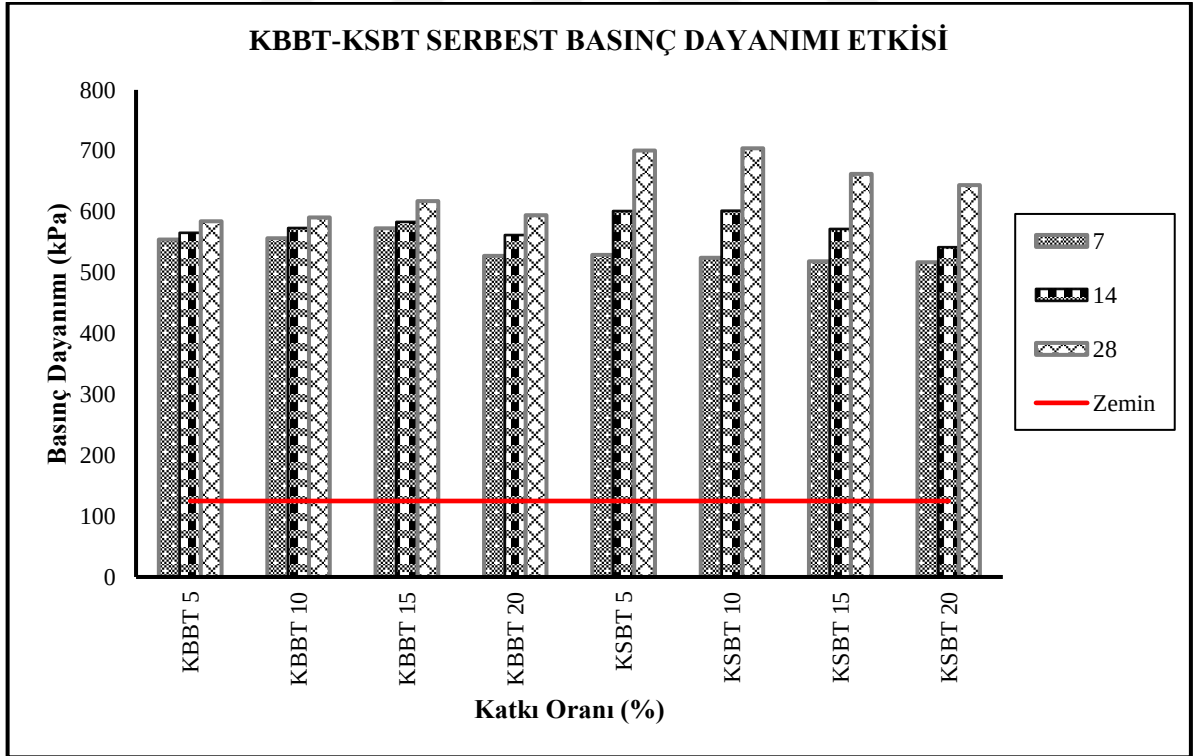
Şekil 33: SBT-KSBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması (kPa)

Şekil 34 incelendiğinde zemin iyileştirmede katkı malzemesi olarak kullanılan sarı Bayburt taşı atığı ve beyaz Bayburt taşı atığı doğal zemine kıyasla basınç dayanımını arttırmıştır. Sarı Bayburt taşı atığı kullanımı beyaz Bayburt taşı atığına göre basınç dayanımını daha fazla arttırmıştır. 28 günlük kür süresi sonunda SBT20 numunesinde maksimum basınç dayanımı değerine ulaşıldığı görülmüştür. Şekil 35 zemin iyileştirmede kalsine edilmiş beyaz Bayburt taşı ve sarı Bayburt taşı atığının 7,14 ve 28 günlük kür süresi sonunda zemine etkisini göstermektedir. Doğal zemine göre ortalama 5-6 kat artış olduğu görülmektedir. 7 günlük kür süresinde KBBT numunelerinde, KSBT numunelerine göre daha fazla artış göstermektedir. 14 günlük kür süresi sonunda %5 ve %10 katkı oranında 1,05 kat artış görülürken %15 ve %20 katkı oranında ise ortalama 0,97 kat artış görülmektedir. 28 günlük kür süresi incelendiğinde ise KSBT numunelerinin dayanımının KBBT numunelerine göre sürekli bir artış gösterdiği açıkça görülmektedir. Katkı oranları incelendiğinde KBBT numuneleri için en efektif katkı oranının %15 olduğu, KSBT numuneleri için ise %10 katkı oranının olduğu görülmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında zemine temel bağlayıcı olarak eklenen %6 oranında sönmüş kirecin katkı malzemeleri ile davranışı incelenmiştir. Tablo 18 BBTK karışımına, Tablo 19 KBBTK karışımına, Tablo 20 STK karışımına, Tablo 21 KSBTK karışımına ait farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı sonuçlarını göstermektedir. Şekil 36' da kireç ile birlikte kullanılan beyaz Bayburt taşı katkısı kullanılarak üretilen karışımların 7,14 ve 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanımları incelendiğinde kür süresi uzadıkça serbest basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Maksimum artış 28 günlük kür süresi sonunda BBTK5 numunesinde 6,83 kat artış oranı elde edilmiştir. Kireç ile birlikte kullanılan beyaz Bayburt taşı ile kireçli zemin karışımının basınç dayanımları karşılaştırıldığında 7 günlük kür süresi sonunda 1,29 kat artış ile BBTK5 karışımında, 14 günlük kür süresi sonunda 1,25 kat artış ile BBTK10 karışımında, 28 günlük 1,20 kat artış oranı ile BBTK5 karışımında ulaşılmıştır. Şekil 37 zemine farklı oranlarda ilave edilen kalsine beyaz Bayburt taşı katkısına ek olarak %6 oranında eklenen kirecin zemin dayanım özelliklerine etkisini göstermektedir. 7 günlük kür süresi sonunda kireç katkısı ile zeminin basınç dayanımı 4,45 kat artmıştır. 14 günlük kür süresinde ise artış oranı 5,15 kat artmıştır. 28 günlük kür süresi sonunda zeminin basınç dayanımı 5,64 kat artmış ve 703,93 kPa değerine ulaşmıştır. Bu artış oranları zemin iyileştirmede temel bağlayıcı olarak kullanılan kirecin ne kadar efektif sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Sonuçlar göstermiştir ki doğal zemine %6 oranında eklenen kireç zeminin basınç dayanımını ciddi oranda arttırmaktadır.



Şekil 34: SBT ve BBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması (kPa)



Şekil 35: KSBT ve KBBT Numunelerinin Serbest Basınç Dayanımı Karşılaştırması (kPa)

Tablo 18: BBTK Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

Katkı	7. Gün	14 Gün	28. Gün
Z+K	556,23	642,80	703,92
BBT K5	725,90	755,68	848,97
BBT K10	719,98	750,14	844,13
BBT K15	715,72	786,15	836,45
BBT K20	716,85	800,98	843,87

Tablo 19: KBBTK Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

Katkı	7. Gün	14 Gün	28. Gün
Z+K	556,23	642,80	703,92
KBBT K5	826,36	918,33	1088,41
KBBT K10	887,96	931,58	1100,92
KBBT K15	916,65	990,90	1121,21
KBBT K20	936,48	1046,40	1275,36

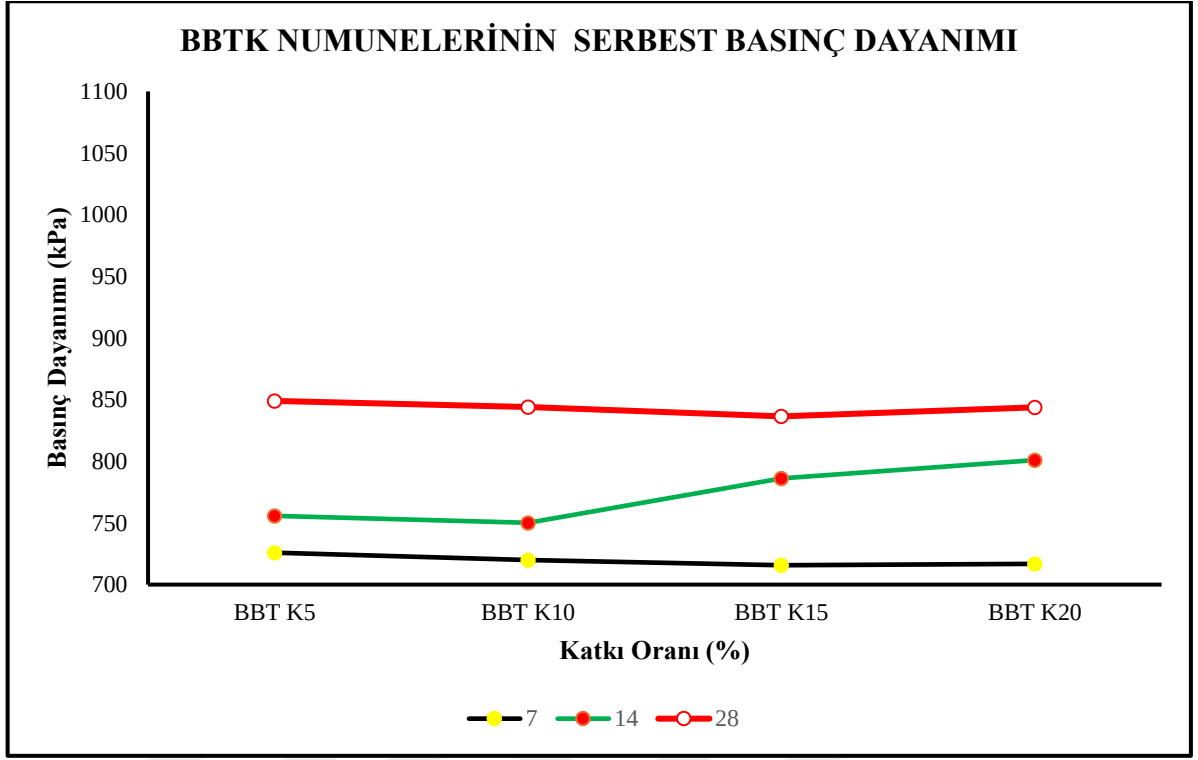
Tablo 20: SBTk Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

Katkı	7. Gün	14 Gün	28. Gün
Z+K	556,23	642,80	703,92
SBT K5	734,03	790,92	1013,82
SBT K10	813,61	892,84	995,59
SBT K15	821,94	888,28	990,93
SBT K20	841,75	920,56	989,49

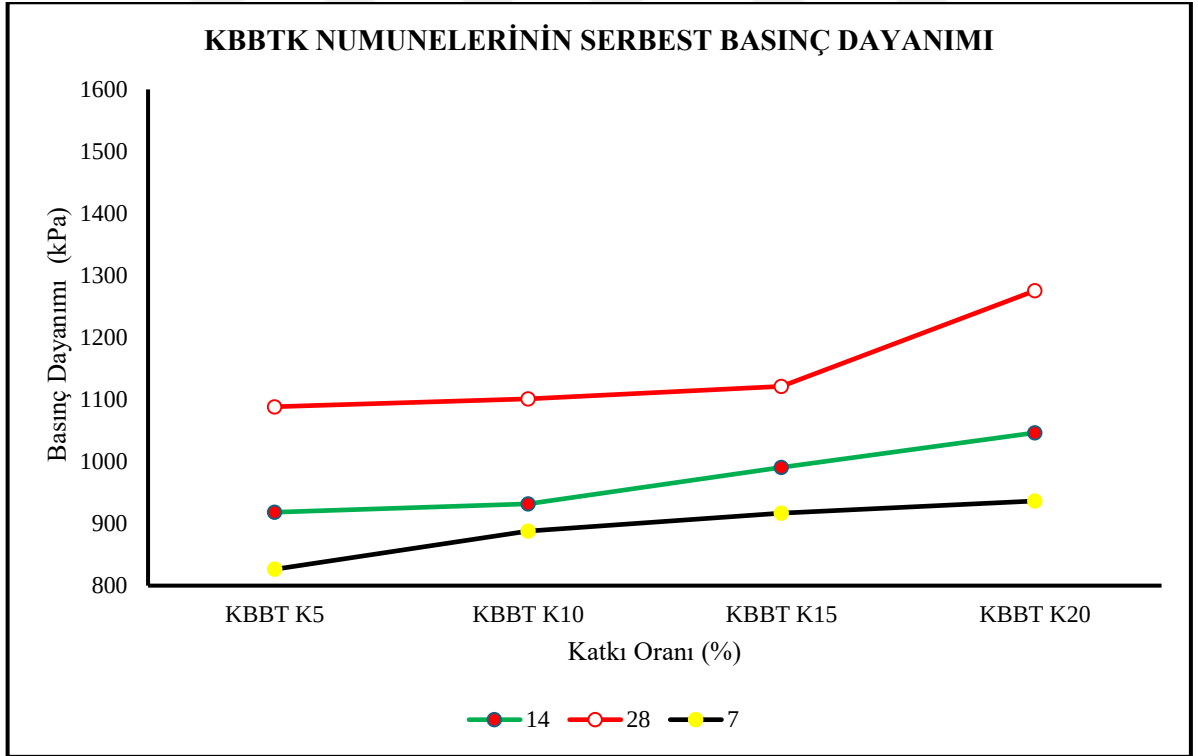
Tablo 21: KSBTK Karışımına Ait Farklı Kür Sürelerinde Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları (kPa)

Katkı	7. Gün	14 Gün	28. Gün
Z+K	556,23	642,80	703,92
KSBT K5	1083,54	1186,49	1317,31
KSBT K10	1082,56	1187,85	1413,36
KSBT K15	1113,55	1193,87	1442,46
KSBT K20	1131,29	1256,19	1565,36

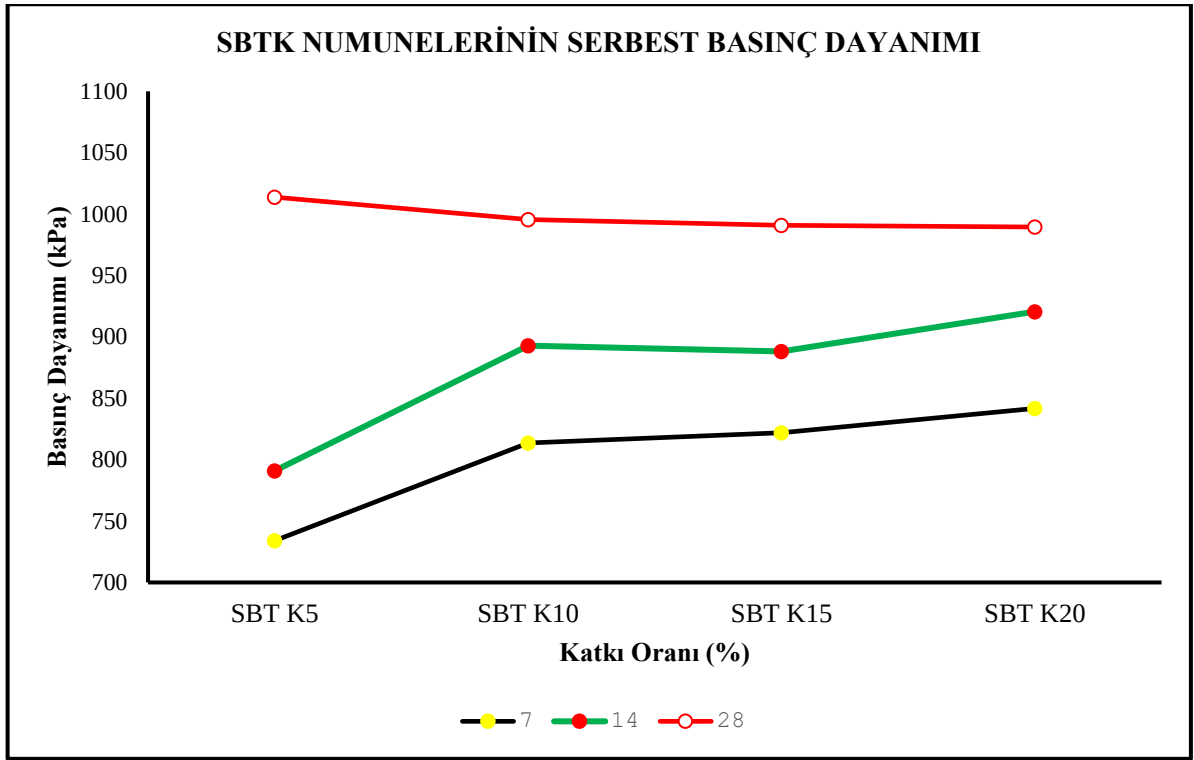
Kalsine beyaz Bayburt taşı ve kirecin birlikte kullanımı incelendiğinde zeminin basınç dayanımı değerinin yüksek oranda arttığı görülmüştür. 7 günlük kür süresi sonunda doğal zemine göre en fazla artış zeminin basınç dayanımını 7,5 kat arttığı KBBTK20 numunesinde elde edilmiştir. Bununla beraber kalsine beyaz Bayburt taşı oranı arttıkça zeminin basınç dayanımı değeri de artmıştır. 14 günlük kür süresi sonunda zeminin basınç dayanımı artmaya devam etmiştir. En fazla artış zeminin basınç dayanımı değerini 8,38 kat arttıran KBBTK20 numunesinde görülmüştür. Bununla beraber minimum artış oranı ise 7,36 kat gösteren KBBTK5 numunesinde görülmüştür. Zemine ilave edilen kalsine beyaz Bayburt taşı değeri arttıkça zeminin basınç dayanımı artmıştır. 28 günlük kür süresi sonunda zeminin basınç dayanımı artmaya devam etmiştir. KBBTK20 numunesinde zeminin basınç dayanımı 10,22 kat artarak 1121,21 kPa değerine ulaşmıştır. Minimum artış ise basınç dayanımını 8,72 kat arttığı KBBTK5 numunesinde elde edilmiştir. Kalsine beyaz Bayburt taşı oranı arttıkça zeminin basınç dayanımı sürekli bir artış göstermiştir. Tablo 20 SBTk karışımına ait farklı kür sürelerinde serbest basınç dayanımı sonuçlarını göstermektedir. Şekil 38 yardımıyla zemin iyileştirmede temel bağlayıcı olarak kireç ile farklı oranlarda sarı Bayburt taşı kullanımının basınç dayanımına etkisi sunulmuştur. 7 günlük kür süresi sonunda tek eksenli basınç dayanımı testi yapılan numunelerde maksimum artış 6,74 kat artış gösteren SBTk20 numunesinden elde edilmiştir. Minimum artış oranı ise 5,88 kat artış gösteren SBTk5 numunesinden elde edilmiştir. Bununla beraber 7 günlük kür süresi sonunda zemine eklenen sarı Bayburt taşı oranı arttıkça basınç dayanımının sürekli bir artış gösterdiği görülmüştür. 14 günlük kür süresi sonunda SBTk20 numunesi basınç dayanımında 7,38 kat artış göstermiştir. Minimum artış ise 6,34 kat artış gösteren SBTk5 numunesinde görülmüştür. 28 günlük kür süresi sonunda tüm katkı oranları zeminin basınç dayanımını ciddi oranda arttırmıştır. Buna ek olarak maksimum artış 8,12 kat artış SBTk5 numunesinde görülürken en az artış oranı ise 7,93 kat artışın görüldüğü SBTk20 numunesinde görülmüştür. 28 gün kür sonunda zemine eklenen sarı Bayburt taşı oranı arttıkça zeminin basınç dayanımı azalmıştır.



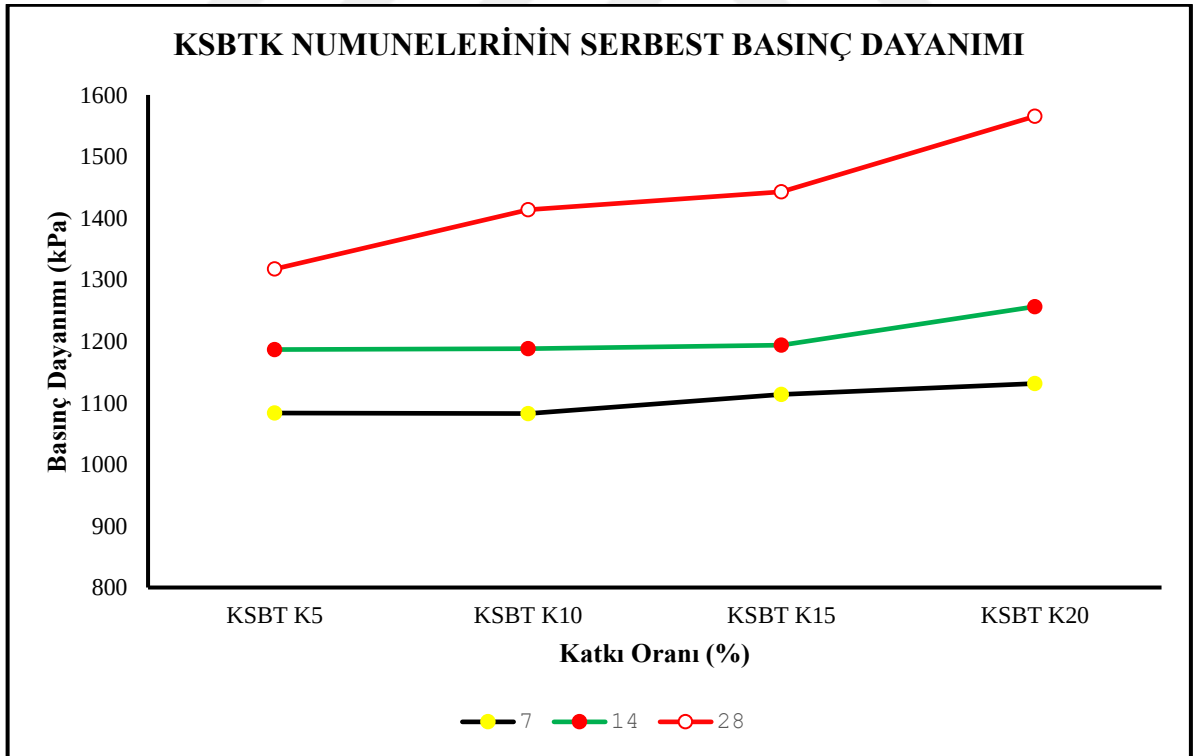
Şekil 36: Beyaz Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)



Şekil 37: Kalsine Beyaz Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)



Şekil 38: Sarı Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)



Şekil 39: Kalsine Sarı Bayburt Taşı ve Kireç Kullanılarak Üretilen Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Şekil 39 zemin iyileştirmede temel bağlayıcı olarak %6 oranında kireç ile birlikte farklı oranlarda kalsine sarı Bayburt taşı kullanımının basınç dayanımına etkisini göstermektedir.

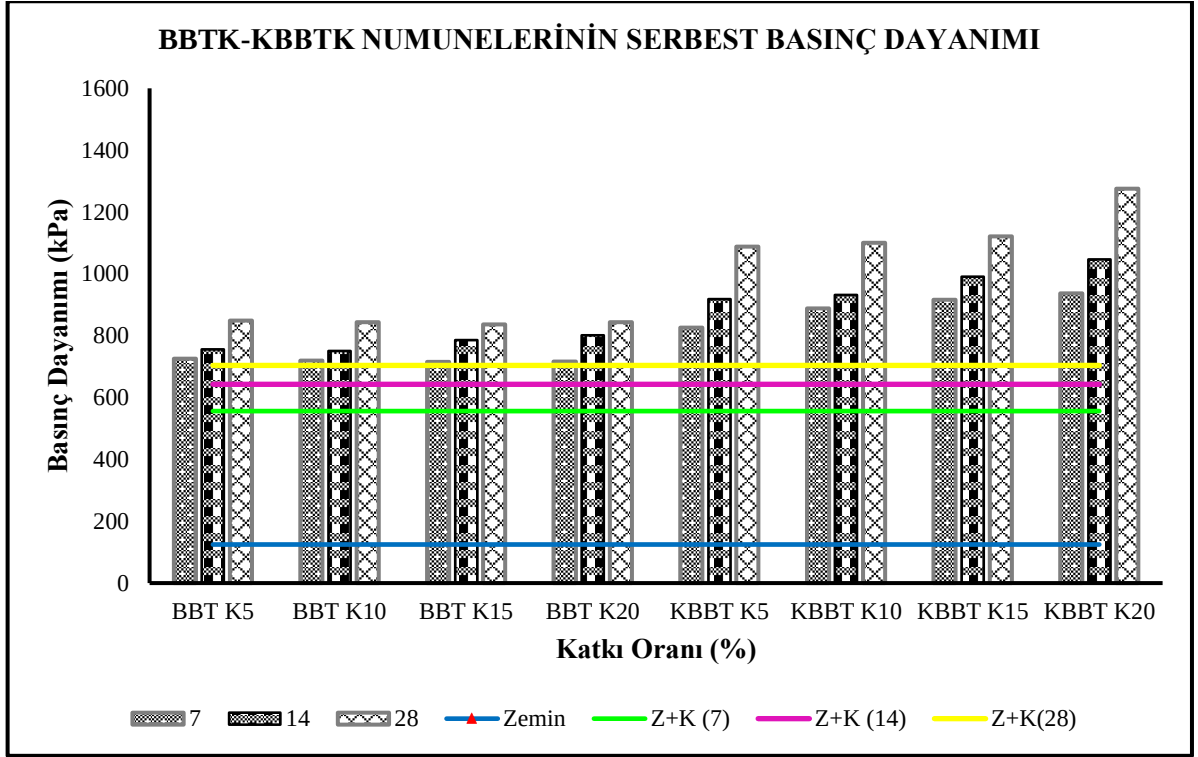
7 günlük kür süresi incelendiğinde kalsine sarı Bayburt taşı ile kirecin birlikte kullanımının zeminin basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür. Bununla beraber artış oranlarının birbirine oldukça yakın olduğu açıkça görülmektedir. Maksimum artış oranı KSBTK20 numunesinde görülmüştür.

14 günlük kür süresi sonunda yapılan deneyler sonucunda kullanılan kalsine sarı Bayburt taşı oranı arttıkça basınç dayanımı da sürekli bir artış göstermiştir. KSBTK20 numunesinde doğal zemine göre 10 kat bir artış olmuştur. 28 günlük kür süresi sonunda zeminin basınç dayanımı değerinde 7 ve 14 günlük kür sürelerine göre her karışım oranında artış görülmüştür. Bununla beraber katkı oranı arttıkça basınç dayanımı değeri artmıştır. Maksimum artış oranı zeminin basınç dayanımının 12,54 kat arttığı KSBTK20 numunesinde görülürken minimum artış oranı 10,56 kat artış gösteren KSBTK5 numunesinde görülmüştür. Bu veriler dikkate alındığında kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesi kireç ile kullanımında zeminin basınç dayanımını sürekli arttırdığı görülmüştür.

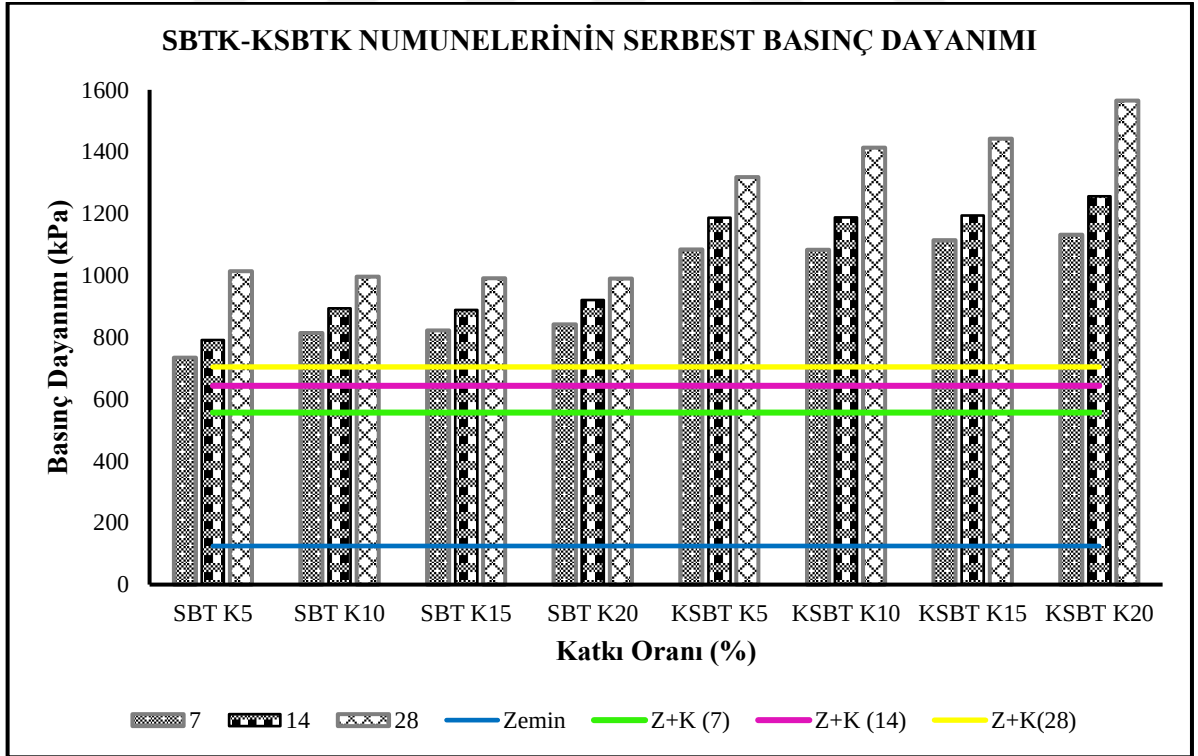
Şekil 40 kireç ile farklı oranlarda beyaz Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkısı kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımını göstermektedir. KBBTK numuneleri BBTK numunelerine kıyasla basınç dayanımını daha az arttırmıştır. Kalsine edilen beyaz Bayburt taşı atığının daha kararlı iç yapıya ulaşması bu durumu açıklayabilir. Özellikle 28 günlük kür süresi sonunda görülen yüksek artış oranı bu varsayımı destekler niteliktedir. Kireçli kalsine beyaz Bayburt taşı malzemesi kirecsiz kalsine beyaz Bayburt taşı malzemesine göre basınç dayanımını daha fazla arttırmıştır.

Kirecsiz kullanılan kalsine beyaz Bayburt taşı katkısı Z+K numuneleri ile yaklaşık aynı basınç dayanımı değerinde iken kireçli kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemesi ile üretilen numunelerin basınç dayanımları çok daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 41 farklı oranlarda kullanılan kireçli sarı Bayburt taşı ve kireçli kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemeleri ile üretilen numunelerin basınç dayanımındaki etkisini belirgin bir şekilde göstermektedir. Tüm katkı oranlarında kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesinin kireç ile kullanılması zeminin basınç dayanımını sarı Bayburt taşı atığına göre daha fazla arttırmıştır. 7,14 ve 28 günlük kür sürelerinin tamamında bu artış görülmektedir. Bunlara ek olarak 28 günlük kür süresi sonunda elde edilen basınç dayanımı değerlerindeki artış ise kalsine sarı Bayburt taşı katkısının kireçle birlikte kullanılabilirliğini açıkça göstermektedir.



Şekil 40: BBTK ve KBBTK Numunelerinin Basınç Dayanımına Karşılaştırılması (kPa)



Şekil 41: SBTK ve KSBTK Numunelerinin Basınç Dayanımı Karşılaştırılması (kPa)

Beyaz Bayburt taşı atığı kullanımının zeminin dayanım değerini artırdığı daha önce yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Bunun yanı sıra zemine sadece kireç katkısı kullanılarak elde edilen numunelerin basınç dayanımı değeri BBT numunelerinden daha yüksektir. Tez çalışmasında beyaz Bayburt taşı atığı ve kirecin birlikte kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar beyaz Bayburt taşı atığının kireç ile birlikte kullanıldığında bilhassa uzun kür süresi periyodunda daha etkili olacağını göstermiştir.

Sarı Bayburt taşı atığı kullanımı doğal zemine göre basınç dayanımını arttırırken %6 kireç kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımları çok daha yüksektir. Sarı Bayburt taşı atığı ile temel bağlayıcı olarak kullanılan kirecin basınç dayanımını üç farklı kür süresinde de arttırdığı görülmüştür.

3.2. DONMA-ÇÖZÜLME DENEY SONUÇLARI

Zeminin donma çözölmeye karşı dirençli olması zeminin mühendislik özelliklerinde temel parametrelerden biridir. Deneysel çalışmada sarı Bayburt taşı atığı, beyaz Bayburt taşı atığı, kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemeleri farklı oranlarda kullanılarak kalsinasyonun donma çözölmeye dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonraki süreçte ise katkı malzemeleri ve oranları değiştirilmeden zemine %6 oranında kireç eklenmiştir. Kireç ile katkı malzemeleri arasında gerçekleşen kimyasal süreçlerin donma çözölmeye dayanımına etkisi araştırılmıştır.

Donma çözölmeye deneyinde çevrim etkisini araştırmak için 3 çevrim, 6 çevrim, 9 çevrim, 12 çevrim olmak üzere dört farklı çevrim üzerinde çalışılmıştır. Deneyde donma sıcaklığı -21°C , çözölmeye sıcaklığı $+25^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Numuneler 12 saat dondurma, 12 saat çözölmeye işlemine tabii tutulmuştur. Her katkı oranı ve her bir çevrim için 3 numune olmak üzere toplam 408 numune üretilmiştir. Hazırlanan numuneler 28 günlük kür süresi sonunda deney kabinine yerleştirilmiştir.

Tablo 22 beyaz Bayburt taşı atığı ile oluşturulan karışımların, Tablo 23 sarı Bayburt taşı atığı ile oluşturulan karışımların, Tablo 24 kalsine beyaz Bayburt taşı katkısı ile oluşturulan karışımların, Tablo 25 kalsine sarı Bayburt taşı katkısı ile oluşturulan karışımların farklı donma çözölmeye çevrimlerine ait basınç dayanımı değerlerini göstermektedir.

Beyaz Bayburt taşı atığı kullanılarak hazırlanan numunelerin farklı çevrim sayılarındaki davranışları incelenmiştir. Şekil 42 beyaz Bayburt taşı atığının donma çözölmeye çevrim etkisini göstermektedir.

3 çevrim sonucunda numunelerin davranışları incelendiğinde çevrime tabii tutulmayan numunelere göre yaklaşık aynı davranışını gösterdiği görülmüştür. Bu davranış öngörülen bir davranış olup literatür çalışmalarında da sık sık karşılaşılan bir davranıştır. BBT15 numunesinde basınç dayanımında 1,04 kat artış görülmüştür.

6 çevrime tabii tutulan numunelerde basınç dayanımında belirgin azalma olduğu görülmüştür. Sonuçlar 6 çevrim sonunda doğal zeminin dayanımı ile karşılaştırıldığında 3-4 kat fazla olduğu görülürken, azalış oranlarında ise yaklaşık aynı davranış görülmüştür.

9 çevrim sonunda zeminin basınç dayanımının %30'unu kaybettiği belirlenmiştir. BBT atığı kullanılarak üretilen numunelerinde basınç dayanımları azalırken maksimum basınç dayanımı BBT 15 numunesinde görülmüştür. 12 çevrim sonucunda numunelerin basınç dayanımı sürekli olarak azalmıştır. Minimum azalma oranı 1,65 kat azalma gösteren BBT 20 numunesinde görülmüştür.

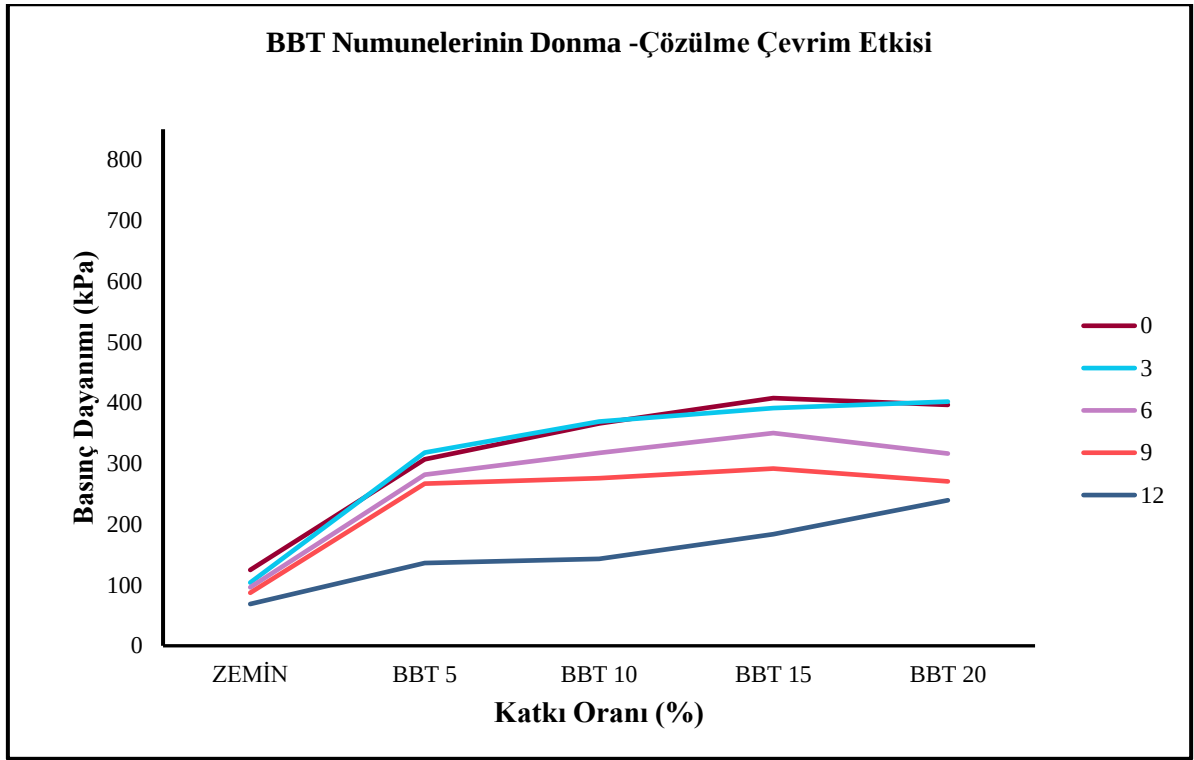
Şekil 43 sarı Bayburt taşı atığı kullanımının donma çözülme çevrim etkisini göstermektedir. Beyaz Bayburt taşı atığında olduğu gibi benzer davranış sarı Bayburt taşı atığında da görülmüştür. Çevrim sayısı arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Zemin içerisinde kullanılan sarı Bayburt taşı oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır.

Tablo 22: Beyaz Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

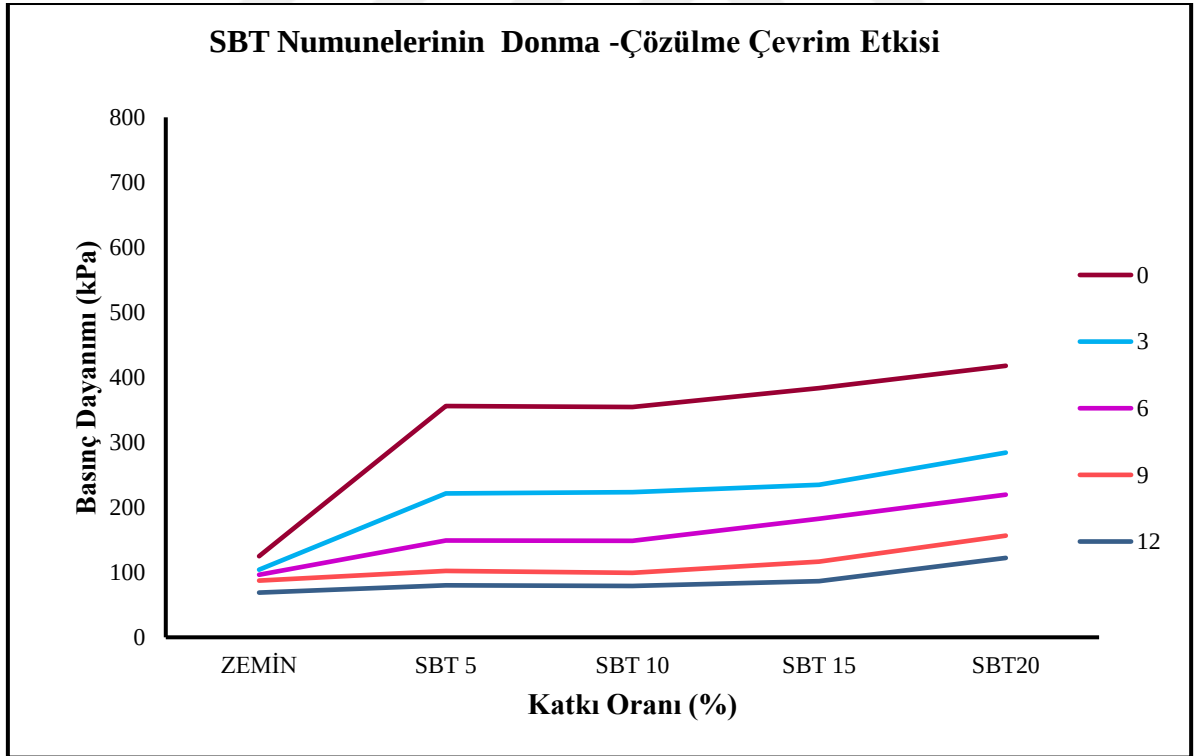
Katkı	0	3	6	9	12
Zemin	124,80	104,02	96,23	87,23	68,77
BBT 5	306,83	317,95	281,57	266,65	136,16
BBT 10	365,77	368,89	317,14	275,85	142,79
BBT 15	407,56	391,34	350,01	291,60	183,79
BBT 20	396,31	401,80	316,51	270,75	239,46

Tablo 23: Sarı Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Katkı	0	3	6	9	12
SBT 5	355,98	221,44	149,10	101,96	80,20
SBT 10	354,24	223,14	148,61	99,37	79,16
SBT 15	383,42	234,80	182,47	116,54	86,37
SBT20	417,72	284,12	219,45	156,41	122,14
Zemin	124,80	104,04	96,23	87,23	68,77



Şekil 42: Beyaz Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözölme Çevrim Etkisi



Şekil 43: Sarı Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözölme Çevrim Etkisi

Zemin iyileştirmede kullanılan kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemelerinin zeminin basınç dayanımını arttırdığı serbest basınç dayanımı deneyinde görülmüştür. Kalsinasyonun donma çözülme deneyinde etkisi incelenmiştir. Şekil 44 ve Şekil 45 kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkılarının donma çözülme çevrim etkisini göstermektedir.

3 çevrime tabii tutulan KSBT numuneleri incelendiğinde çevrime tabii tutulmayan numunelere göre basınç dayanımında artış olduğu görülmüştür. KBBT numuneleri ise çevrim uygulamayan numuneler ile yaklaşık aynı davranışı göstermiştir. KBBT numunelerinin 3 çevrim sonundaki davranışı incelendiğinde %20 katkı oranına kadar basınç dayanımının arttığı görülürken KSBT numunelerinde ise sürekli bir artış görülmüştür.

Tablo 24: Kalsine Sarı Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Katkı	0	3	6	9	12
KSBT 5	700,60	728,74	612,45	462,50	396,02
KSBT 10	703,93	707,20	584,25	505,13	403,71
KSBT 15	662,16	735,80	675,51	501,53	401,38
KSBT 20	643,66	787,73	708,10	581,74	429,64
Zemin	124,80	104,02	96,23	87, 23	68,77

Tablo 25: Kalsine Beyaz Bayburt Taşı Atığı Kullanılarak Üretilen Numunelerin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Katkı	0	3	6	9	12
KBBT 5	584,19	505,09	414,0	352,71	339,89
KBBT 10	590,71	522,05	481,08	378,51	334,34
KBBT 15	617,17	561,54	453,99	361,85	318,48
KBBT 20	594,27	490,49	397,96	308,84	285,16
Zemin	124,80	104,02	96,23	87,23	68,77

6 çevrim sonucunda KSBT ve KBBT numunelerinin basınç dayanımında azalmalar görülmüştür. Sonuçlar 6 çevrime tabii tutulan doğal zemin ile karşılaştırıldığında kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının %10 katkı oranında 4,99 kat artış ile maksimum artış oranı görülürken, %20 katkı oranında 4,13 kat artış ile minimum artış görülmüştür. Kalsine sarı Bayburt taşı numuneleri ile doğal zemin karşılaştırıldığında maksimuma artış oranı 7,36 kat artış oranı ile %20 katkı oranında, minimum artış oranı ise 6,07 kat artış ise %10 katkı oranı ile KSBT10

numunesinde görülmüştür. Her iki katkı malzemesi de doğal zemine göre basınç dayanımı belirgin derecede arttırdığı görülmüştür. Bununla beraber kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesi kalsine beyaz Bayburt taşı katkısına göre daha efektif sonuçlar vermiştir.

9 çevrimin basınç dayanımına etkisi incelendiğinde dayanım değerlerinde düşüşlerin devam ettiği görülmüştür. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemesinde maksimum basınç dayanımı 378,51 kPa değeri ile KBBT10 numunesinde görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değeri ise 308,84 kPa değerine sahip olan KBBT20 numunesinde görülmüştür. Kalsine sarı Bayburt taşı katkısında ise minimum basınç dayanımı değeri 462,5 kPa değeri ile KSBT5 numunesinde görülürken maksimum basınç dayanımı değerine 581,74 kPa değeri ile KSBT20 numunesinde ulaşılmıştır. 9 çevrim uygulanan doğal zeminin ise basınç dayanımı 87,2369 kPa olarak belirlenmiştir. Tüm veriler karşılaştırıldığında her iki katkı malzemesinin de basınç dayanımına etkisi açıkça görülmektedir.

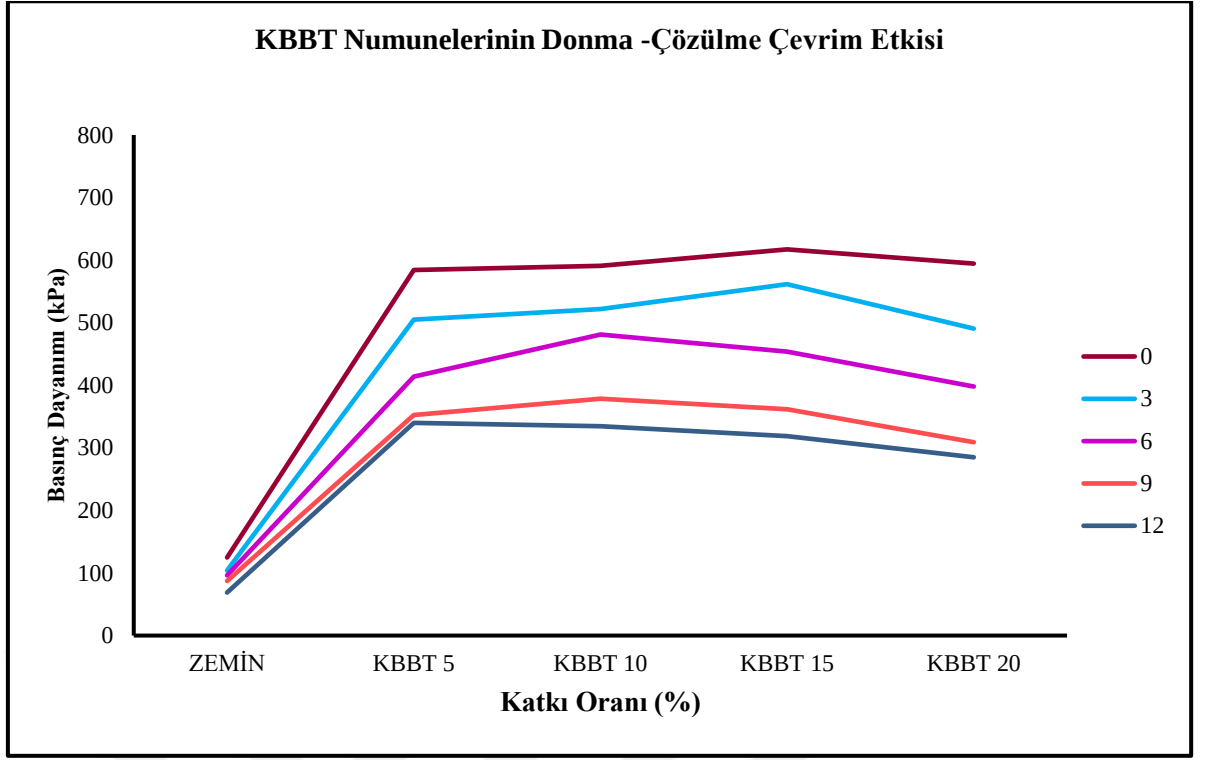
12 çevrim uygulanan numuneler incelendiğinde tüm katkı türlerinde ve katkı oranlarında basınç dayanımında düşüşler meydana geldiği görülmüştür. Doğal zeminin basınç dayanımı %55 oranında azalmıştır. Kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkıları kullanılarak hazırlanan numunelerinde basınç dayanımında azalmalar görülmüştür. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının donma çözülme davranışı incelediğinde dayanım değerinin azaldığı görülmüştür. Buna rağmen 12 çevrim uygulanan doğal zemine kıyasla basınç dayanımında ciddi artışlar görülmüştür. Kalsine sarı Bayburt taşı katkısının etkisi incelendiği ise basınç dayanımının çevrim uygulanmayan kalsine sarı Bayburt taşı numunelerine göre azaldığı görülmüştür. Bununla beraber 12 çevrim uygulanan numunelerin tümünün basınç dayanımı değeri çevrim uygulanmayan zemin ile kıyaslandığında basınç dayanımında yüksek artış oranları görülmüştür.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde çevrim sayısı arttıkça zeminin basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu durum donma çözülme deneyinde çevrim etkisinin ne denli mühim olduğunu açıkça göstermiştir. Çalışmada kalsine edilen katkı malzemelerinin hem doğal zemine göre hem de kalsine edilmemiş katkı malzemelerine basınç dayanımını belirgin derecede arttırdığı görülmüştür.

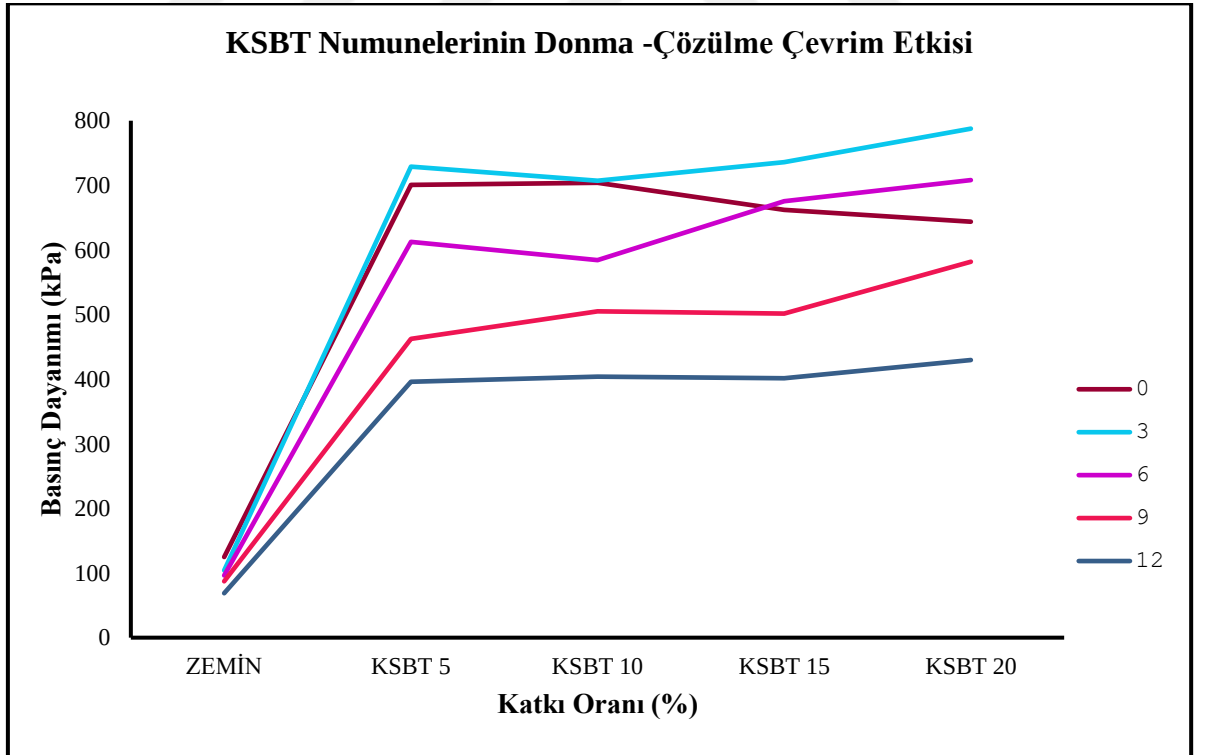
Kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemesinin çevrim sayısına göre davranışı incelendiğinde çevrim sayısı arttıkça basınç dayanımında azalmalar olmuştur. Çevrim uygulanmayan numunelerde maksimum basınç dayanımı KBBT15 numunesinde görülürken çevrim sayısı değiştikçe maksimum basınç değeri KBBT10 numunesinde görülmüştür. Tüm bu değerler göz önüne alındığında kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemesinin zemin iyileştirmede kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesinin farklı oranlarda kullanılarak üretilen numunelere uygulanan deneysel işlemler sonucunda kalsine sarı Bayburt taşı katkısının zeminin donma çözülme dayanımını yüksek oranda arttırdığı görülmüştür. Kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesinin davranışı incelendiğinde zemin içerisinde bulunan kalsine sarı Bayburt taşı oranı arttıkça basınç dayanımı sürekli olarak artmıştır. Çevrim sayısı arttıkça kalsine sarı Bayburt taşı içeriği yüksek olan numunelerin basınç dayanımı değeri de artmıştır. 12 çevrim uygulanan kalsine sarı Bayburt taşı katkısı ile çevrim uygulanmayan doğal zemin karşılaştırıldığında basınç dayanımı değeri 3,55 kat daha fazla olduğu görülmüştür.





Şekil 44: Kalsine Beyaz Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi



Şekil 45: Kalsine Sarı Bayburt Taşı Kullanılarak Üretilen Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi

Kalsine edilen beyaz Bayburt taşı ve sarı Bayburt taşı atığının serbest basınç dayanımına etkisi çalışmanın ilk bölümünde açıklanmıştır. Donma -çözülmede çevrim sayısı değişikçe kalsine edilen malzemelerin dayanıma etkisi çalışmanın ikinci aşamasında araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçları özet olarak Şekil 46 ve Şekil 47’ de gösterilmiştir. Gerek kalsine edilmiş beyaz Bayburt taşı atığı gerek kalsine edilmiş sarı Bayburt taşı atığının donma çözülmeye karşı gösterdiği dayanım yadsınamaz bir gerçektir.

Her iki katkı oranında çevrim sayısı arttıkça basınç dayanımı düşmesine rağmen minimum basınç değeri bile zeminin çevrim uygulanmayan dayanımından fazla olduğu görülmüştür. Beyaz Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı davranışı incelendiğinde katkı oranı arttıkça dayanım oranı da artmıştır. %20 katkı oranında ise basınç dayanımının tüm çevrim sayılarında azaldığı görülmüştür.

3 çevrim sonucunda çevrim uygulanmayan numunelere kıyasla beyaz Bayburt taşı atığının dayanımında artışlar görülürken kalsine beyaz Bayburt taşı katkısında azalmalar görülmüştür. Beyaz Bayburt taşı atığının kullanım oranı artıkça basınç dayanımı artmıştır. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının oranı arttıkça basınç dayanımı %20 katkı oranına kadar artmış sonra azalmaya başlamıştır. Bu durum kalsine beyaz Bayburt taşı kullanımı için optimum oranın %10 ile %15 arasında olduğunu göstermiştir.

6 çevrime tabii tutulan numuneler incelendiğinde beyaz Bayburt taşı atığı için 3 çevrimde görülen sürekli artışın bozulduğu katkı oranı değişikçe basınç dayanımında artışlar ve azalışların olduğu görülmüştür. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısında ise 3. çevrimde görülen davranışa benzer davranış görülmüştür. 6 çevrime tabii tutulan zeminin basınç dayanımı 96,23 kPa iken katkı kullanılan numunelerde en düşük basınç dayanımı 281,57 kPa değeri ile BBT5 numunesinde, en yüksek basınç dayanımı ise 481,08 kPa değeri ile KBBT10 numunesinde görülmüştür.

9 ve 12 çevrim sonunda numunelerin basınç dayanımında ciddi azalmalar olmuştur. 12 çevrim sonunda zeminin basınç dayanımı 68,78 kPa değerine düşmüştür. BBT20 örneğinin basınç dayanımı zemine kıyasla 3,48 kat artmıştır. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının ise basınç dayanımı beyaz Bayburt taşı atığına kıyasla çok daha efektiftir. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısı gerek beyaz Bayburt taşı atığı gerek doğal zemin ile karşılaştığında zemin iyileştirmede oldukça etkili olduğu ve kullanılabilir olduğu görülmüştür.

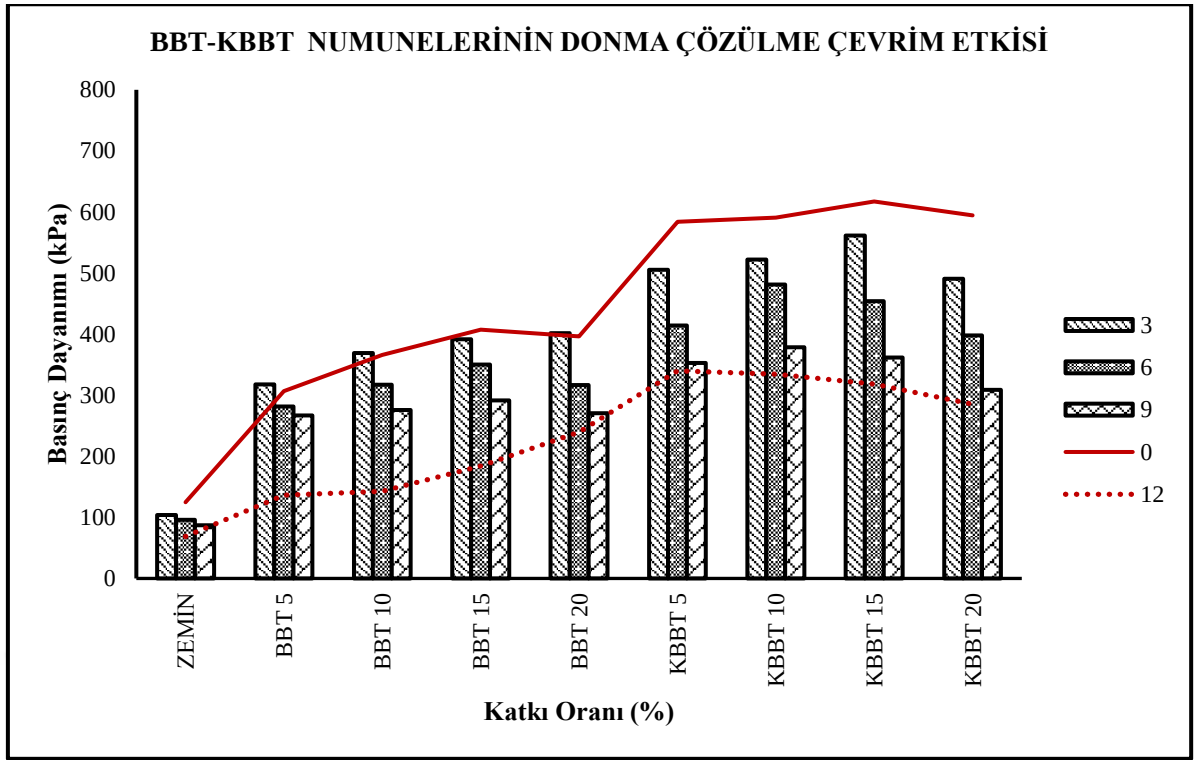
Sarı Bayburt taşı atığının kullanımı ile beyaz Bayburt taşı atığı kullanımı çevrim uygulanmadan yaklaşık olarak aynı davranışı gösterdiği görülmüştür. Çevrim sayısı arttıkça sarı Bayburt taşı numunelerinin dayanımı azalmıştır. Kalsinasyon işlemi uygulanması sonucu üretilen numunelerde dayanım değerinde görülen artış aşıkardır. KBBT ve KSBT numuneleri karşılaştırıldığında kalsine sarı Bayburt taşı katkısı kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımının KBBT numunelerinden çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Çevrim sayısı arttıkça tabii olarak basınç dayanımında azalmalar olmuştur. Azalma oranları incelendiğinde kalsine sarı Bayburt taşı katkısındaki azalışların diğer katkı türlerinden daha az olduğu görülmüştür.

3 çevrim uygulanan sarı Bayburt taşı atığı ve kalsine sarı Bayburt taşı numuneleri karşılaştırıldığında zeminde kullanılan sarı Bayburt taşı atığı o oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Çevrimsiz numuneler ile karşılaştırıldığında sarı Bayburt taşı numunelerinin basınç dayanımında azalmalar olurken KSBT numunelerinde artışlar olduğu görülmüştür. KSBT20 numunesinde 3 çevrim sonunda %18 dayanım artışı görülmüştür.

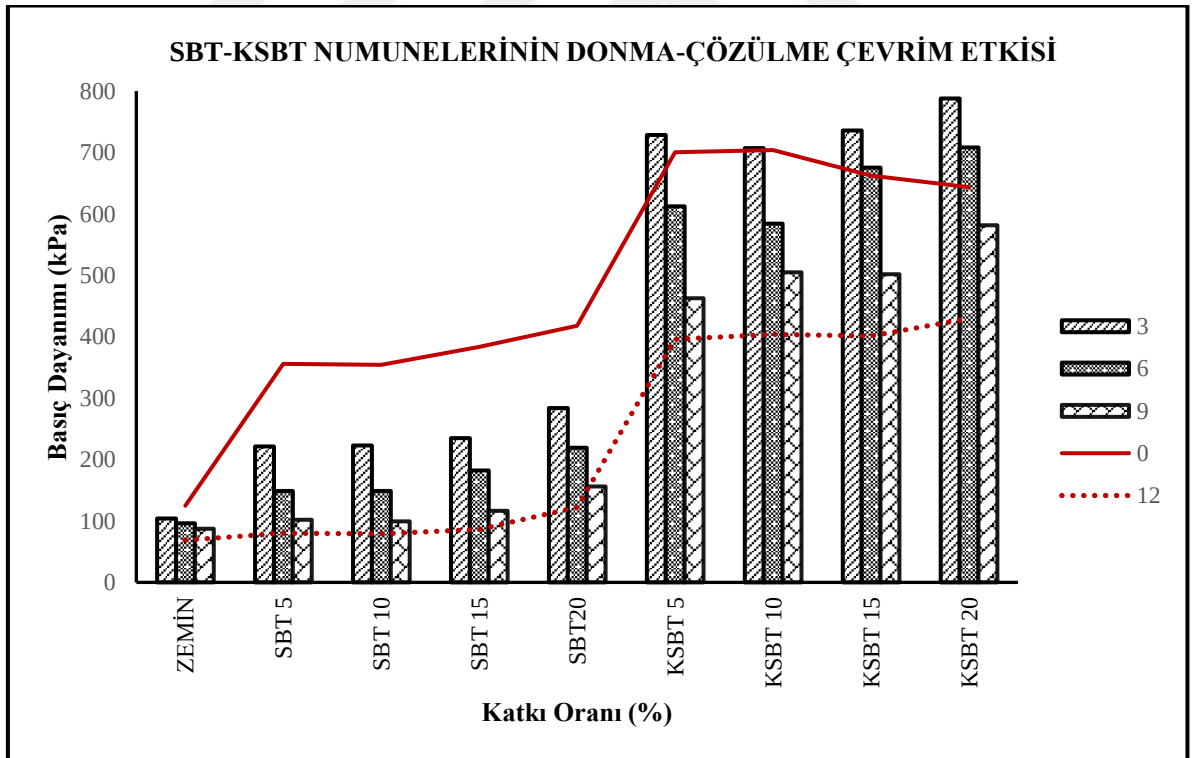
6 çevrimin sarı Bayburt taşı atığı ve kalsine sarı Bayburt taşı numunelerine etkisi incelendiğinde tüm katkı oranlarında ve katkı türlerinde azalmalar olduğu belirlenmiştir.

9. ve 12. çevrim sonunda basınç dayanımı oldukça düşmüştür. Bu oran incelendiğinde SBT numunelerinin dayanımının yaklaşık %70 oranında azaldığı görülmüştür. KSBT numunelerinde azalış oranı ortalama %38'dir. Bu veriler bile zeminin donma çözülme dayanımında kalsinasyonun ne kadar etkili olduğunu göstermiştir.

Çalışmanın bu bölümünde zemin iyileştirme de kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı özelinde kalsinasyonun etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları her iki katkı türünde donma çözülme dayanımını arttırdığını göstermiştir. Çevrim sayısı arttırıldıkça basınç dayanımında görülen düşüşler karşılaştırıldığında kalsine sarı Bayburt taşı katkısının daha kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bununla beraber 12 çevrim sonunda KSBT numunesinde görülen minimum basınç dayanımı 396,02 kPa'dır bu değer çevrim uygulanmayan tabii zeminin basınç dayanımının 3,173 katıdır. Bu değer bile kalsinasyonun zemin iyileştirmede kullanılabilirliği konusunda yol gösterebilir.



Şekil 46: BBT ve KBBT Numunelerinin Donma -Çözülme Çevrim Etkisi



Şekil 47: SBT ve KSBT Numunelerinin Donma -Çözülme Çevrim Etkisi

Sarı Bayburt taşı atığı, beyaz Bayburt taşı atığı, kalsine beyaz Bayburt taşı ve kalsine sarı Bayburt taşı katkılarının donma çözülme dayanımına etkisi önceki çalışmada belirlenmiştir. Çalışmanın bu aşamasında doğal zemine temel bağlayıcı olarak %6 oranında kireç ilave edilmiştir ve katkı maddelerinin donma çözülme davranışı incelenmiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde kireç katkılı numunelerin kireçsiz numunelere göre donma çözülme dayanımını yüksek oranda arttırdığı görülmüştür.

Tablo 26 kireç ile beyaz Bayburt taşı atığı katkısı ile oluşturulan karışımların farklı donma çözülme çevrimlerine ait basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Zemine eklenen kireç ile beyaz Bayburt taşı atığının davranışı incelendiğinde 3 çevrim sonunda BBTK, Z+K ve Zemin numuneleri karşılaştırıldığında basınç dayanımları sırası ile 919,49; 759,73;104,02 kPa olduğu görülmüştür. Bu değerler ışığında beyaz Bayburt taşı atığının kireç ile kullanılmasının basınç dayanımını 1,3 kat arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bir diğer perspektiften bakılacak olursa 3. çevrimde doğal zeminin basınç dayanımının azaldığı, Z+K ve BBTK numunelerinin basınç dayanımının arttığı görülmüştür.

BBTK ve Z+K numunelerinin basınç dayanımları 6. Çevrimde azalmaya başlamıştır. Kireçli beyaz Bayburt taşı katkısı için en fazla azalış %13,5 azalış ile BBTK20 katkı oranında görülürken en az azalış oranı %8,1 azalış ile BBTK5 katkı oranında görülmüştür. Bu veriler ışığında 6. çevrimde hazırlanan karışım içerisinde beyaz Bayburt taşı oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

9. çevrimde basınç dayanımında azalmalar devam etmiştir. Azalma oranları zemin, Z+K, BBTK5, BBTK10, BBTK15, BBTK20 numuneleri karşılaştırıldığında sırasıyla %30; %22; %13,2; %13,1; %15,2; %16,5'tir. Bu oranlar incelendiğinde tüm katkı oranlarının doğal zemine göre basınç dayanımı arttırdığı görülmüştür.

12. çevrimde tüm kategoriler değerlendirildiğinde maksimum basınç dayanımının 657,80 kPa olduğu BBTK5 numunesinde görülmektedir. Bu değerler çevrimsiz doğal zemin ile karşılaştırıldığında basınç dayanımını 5,27 kat, 12.çevrimdeki Z+K numunesine göre ise 1,64 kat arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. BBTK numunelerinin donma çözülme basınç dayanımının çevrim sayısına göre değişimi Şekil 48'de gösterilmektedir.

Tablo 27 kireç ile sarı Bayburt taşı atığı katkısı ile oluşturulan karışımların farklı donma çözülme çevrimlerine ait basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. SBT atığının kireç ile kullanımı basınç dayanımını arttırmakla beraber zeminin donma çözülme basınç dayanımını da arttırmıştır. Şekil 49 SBT numunelerinin çevrim sayısına göre basınç dayanımında meydana gelen değişimi göstermektedir.

Tablo 26: BBTk Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Katkı	0	3	6	9	12
BBT K5	848,97	859,12	779,71	736,38	657,71
BBT K10	844,13	854,44	774,43	733,43	612,24
BBT K15	836,45	877,85	737,49	708,63	617,48
BBT K20	843,87	919,49	730,85	704,59	646,02
Zemin	124,80	104,03	96,24	87,24	68,78
Z+K	703,93	759,74	634,58	548,45	373,17

Tablo 27: SBTk Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Katkı	0	3	6	9	12
SBT K5	1013,82	862,25	745,77	654,13	427,09
SBT K10	995,59	905,52	780,57	649,91	451,74
SBT K15	990,91	925,37	854,99	643,26	493,01
SBT K20	989,49	951,80	857,64	779,95	690,27
Zemin	124,81	104,06	96,23	87,23	68,77

Sarı Bayburt taşı atığının 3. Çevrimdeki davranışı incelendiğinde katkı oranı arttıkça basınç dayanımının arttığı ve SBTk20 numunesinde 951,796 kPa değerinde olduğu görülmektedir. Çevrimsiz numunelere kıyasla basınç dayanımı sürekli azalmıştır. Z+K numunesine göre ise basınç dayanımı SBTk5; SBTk10, SBTk15; SBTk20 numunelerinde sırasıyla 1,134;1,191;1,28;1,252 kat artmıştır.

6. çevrimde katkı oranı arttıkça basınç dayanımı artmaya devam etmiştir. Z+K numunesinde ise basınç dayanımı azalmıştır.

9. ve 12. Çevrim sonunda basınç dayanımında düşüşler devam ederken 9. çevrimden sonra basınç dayanımı ciddi oranda düşmüştür. SBTk5, SBTk10, SBTk15, SBTk20 numunelerinin 12 çevrim sonundaki basınç dayanımları sırasıyla 427,09; 451,74; 493,01; 690,27 kPa'dır. Aynı çevrim sayısı uygulanan doğal zeminin basınç dayanımı 68,78 kPa'dır. Sonuçlar mukayese edildiğinde sarı Bayburt taşı atığının kireç ile kullanılması zeminin donma çözülme dayanımını tüm çevrim sayılarında doğal zemine ve %6 oranında kireç kullanılan Z+K numunesine göre arttırdığı görülmüştür.

Kireç ile kalsine edilmiş beyaz Bayburt taşı ve sarı Bayburt taşı atığının donma çözülme çevrim sayısına göre basınç dayanımına etkisi tez çalışmasının mihenk taşını oluşturmaktadır. Kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkıları ile temel bağlayıcı olarak kullanılan kireç zeminin donma çözülme direncini artmıştır öyle ki 12 çevrim uygulanan KSBT ve KBBT numunelerinin basınç dayanımı çevrim uygulanmayan diğer katkılardan daha fazla olduğu görülmüştür. Şekil 50 ve Şekil 51 kalsine edilen katkıların kireç ile kullanımının farklı donma çözülme çevriminde basınç dayanıma etkisini göstermektedir.

3 çevrim uygulanan KBBT numuneleri incelendiğinde çevrimsiz numunelere kıyasla basınç dayanımları azalmıştır. Doğal zemin ve kireçli zemine göre kalsine sarı Bayburt taşı katkısı basınç dayanımı oldukça fazla arttırmıştır. Kalsine sarı Bayburt taşı katkısı ile kirecin birlikte kullanılması basınç dayanımı ciddi şekilde arttırmıştır. Örneğin KSBTK20 numunesinin 3 çevrim sonunda basınç dayanımı 1695,57 kPa'dır. Çevrimsiz doğal zemin ile kıyaslandığında basınç dayanımını 13,58 kat arttırmıştır

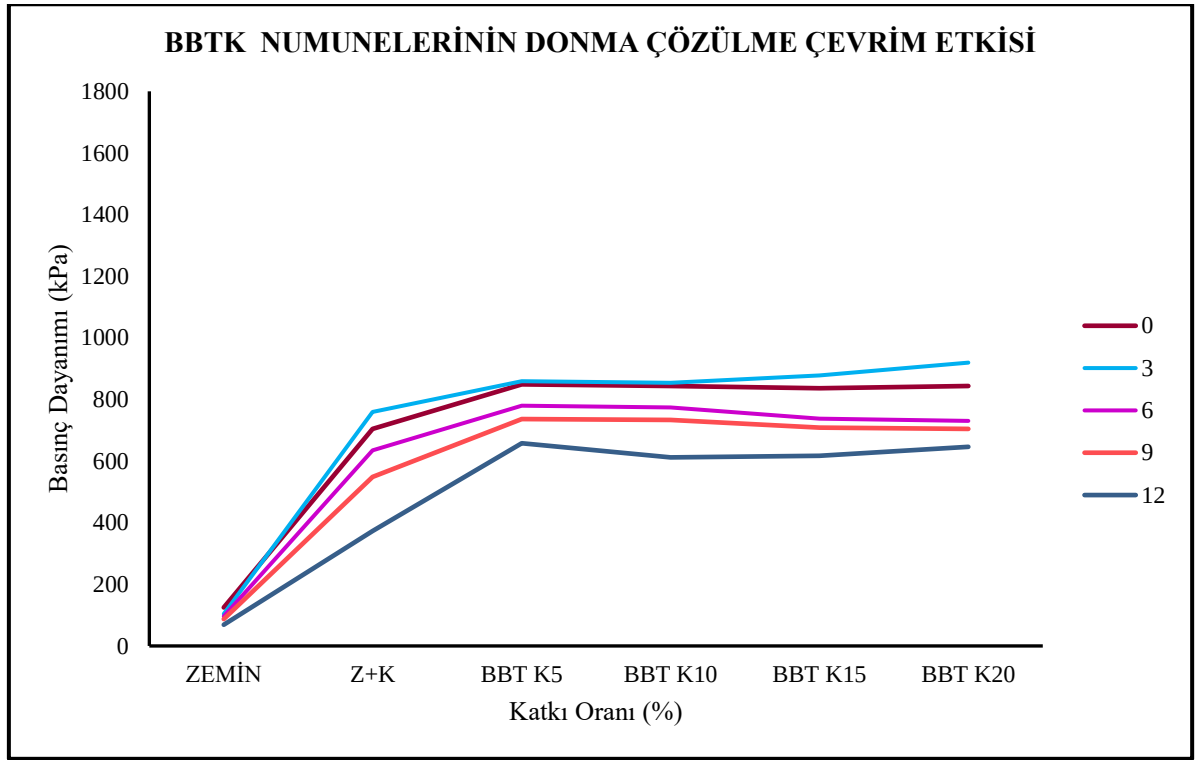
Kireçli kalsine sarı Bayburt taşı ve kireçli kalsine beyaz Bayburt taşı katkıları kullanılarak üretilen numunelerin 6 çevrim uygulanması sonucunda davranışı incelenmiştir. Tablo 28 KBBT, Tablo 29 KSBTK katkıları ile oluşturulan karışımların farklı donma çözülme çevrimlerine ait basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. 3. çevrime kıyasla basınç dayanımları azalmıştır. Maksimum basınç dayanımı 966,28 kPa ile KBBTK20 numunesinde görülürken kalsine sarı Bayburt taşı katkısında ise 1464,9 kPa basınç dayanımına sahip olan KSBTK20 numunesinde görülmüştür. 6 çevrim uygulanan doğa zemine göre basınç dayanımı 15,22 kat artış göstermiştir.

Tablo 28: KBBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

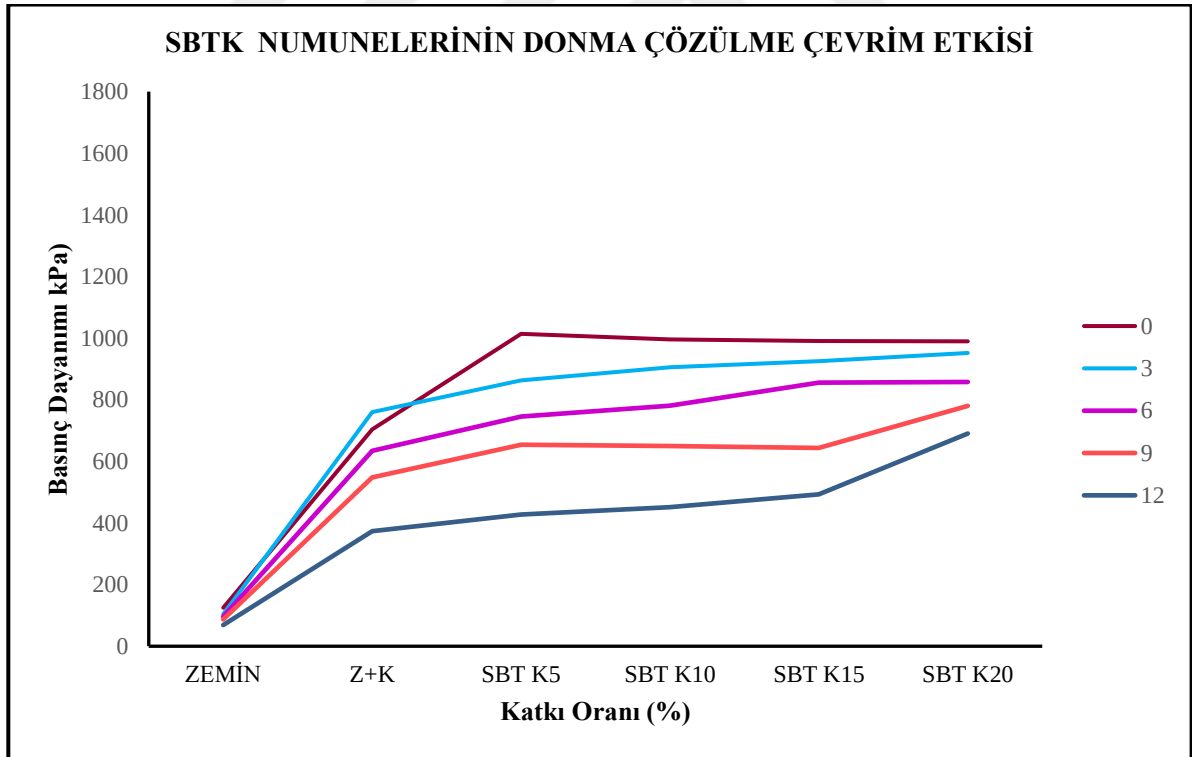
Katkı	0	3	6	9	12
KBBT K5	1088,41	975,65	813,53	788,50	738,20
KBBT K10	1100,93	915,07	880,75	829,44	732,50
KBBT K15	1121,21	1054,87	927,39	877,86	736,53
KBBT K20	1275,36	1079,02	966,28	903,83	795,82
Zemin	124,80	104,03	96,24	87,24	68,78
Z+K	703,93	759,74	634,58	548,45	373,17

Tablo 29: KSBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrimlerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri (kPa)

Katkı	0	3	6	9	12
KSBTK5	1317,38	1552,08	1259,76	1043,61	902,94
KSBTK10	1413,36	1554,19	1149,57	970,33	891,17
KSBTK15	1442,46	1564,85	1257,24	1043,26	903,31
KSBTK20	1565,30	1695,57	1464,90	1243,39	1084,69
Zemin	124,80	104,03	96,24	87,24	68,78
Z+K	703,93	759,74	634,58	548,45	373,17



Şekil 48: BBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi



Şekil 49: SBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi

9 çevrim uygulanan numunelerin basınç dayanımları mukayese edildiğinde her iki katkı türü içinde basınç dayanımı azalmıştır. KBBT katkısında minimum basınç dayanımı değeri 788,5077 kPa iken maksimum dayanımı 903,8309 kPa'dır. KSBT katkısının 9 çevrim sonunda davranışı incelendiğinde katkı oranı arttıkça basınç dayanımının artmaya devam ettiği ve maksimum basınç dayanımının 1243,3999 kPa olduğu görülmüştür.

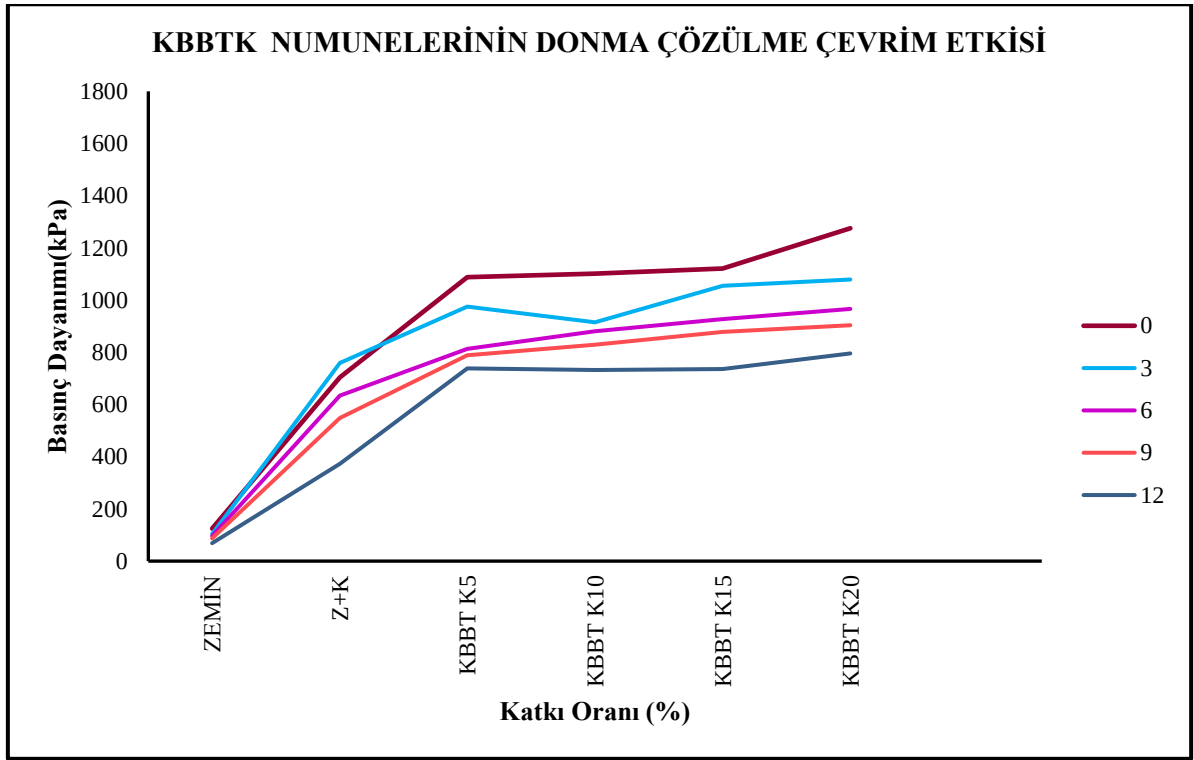
12 çevrime tabii tutulan numunelerde basınç dayanımı sürekli olarak azalmıştır. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının 12 çevrim sonundaki basınç dayanımı aynı çevrime tabii tutulan zemin ve kireçli zemin numuneleriyle karşılaştırıldığında doğal zemine kıyasla KBBTK5, KBBTK10, KBBTK15 ve KBBTK20 numunelerinde sırasıyla 10,73; 10,65; 10,7; 11,57 kat arttırırken kireçli zemine göre ise 1,97; 1,96; 1,97; 2,132 kat artış görülmüştür. Kalsine sarı Bayburt taşı katkısına ise bu artış oranları sırasıyla KSBTK5, KSBTK10, KSBTK15 VE KSBTK20 numunelerinde doğal zemine göre 13,12; 12,95; 13,13; 15,771 kat artmış iken kireçli zeminde sırasıyla 2,41; 2,3; 2,42; 2,9 kat artış görülmüştür.

Kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz Bayburt taşı katkılarının kireç ile kullanılması donma çözülme dayanımı belirgin bir şekilde arttırmıştır. Kalsine sarı Bayburt taşı katkısı basınç dayanımının en fazla arttığı katkı türü olmuştur. Kalsine sarı Bayburt taşı katkısının zemin içerisindeki oranı arttığında basınç dayanımı da sürekli artmıştır. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısı için böyle sabit davranış göstermemiştir.

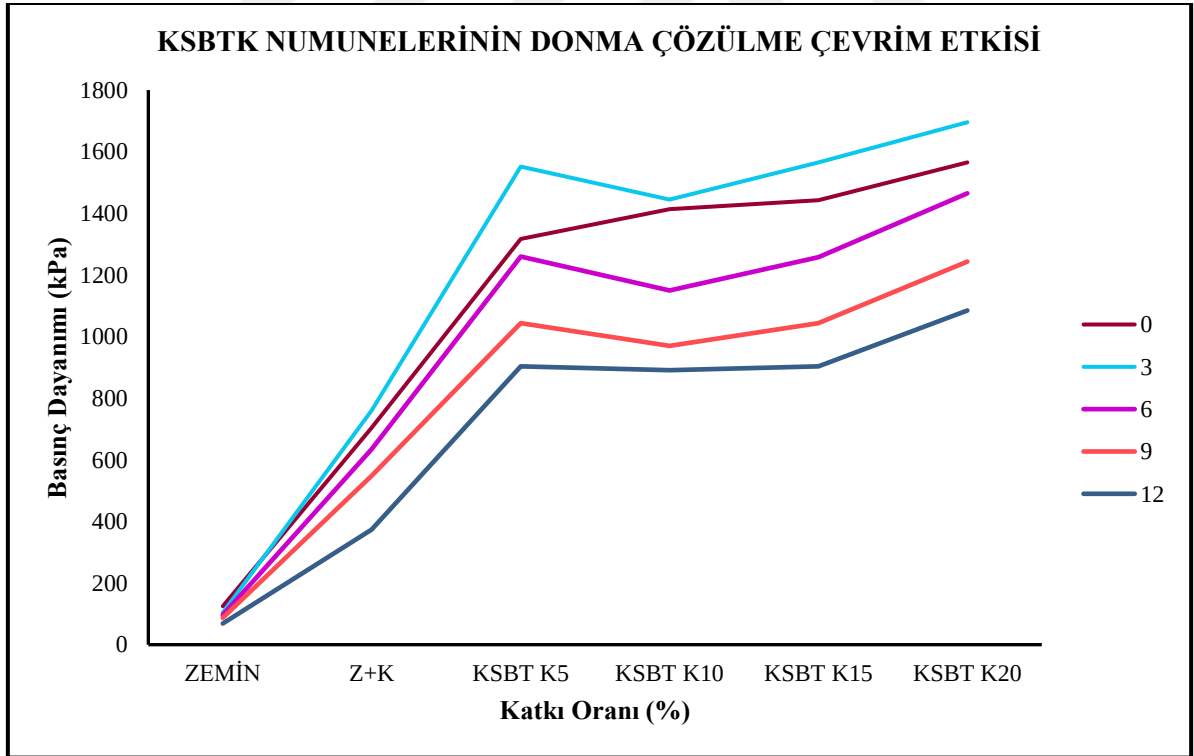
Tüm bu veriler değerlendirildiğinde kalsine edilmiş Bayburt taşı atığının kireç ile kullanımı her iki katkı türü içinde basınç dayanımı ve donma çözülme dayanımını arttırmıştır

Kirecin zemin stabilizasyonunda etkisi aşıkardır. Bununla birlikte kullanılan katkı malzemelerinin farklı donma çözülme sayılarındaki davranışı da yine bu tez kapsamında araştırılmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 52 beyaz Bayburt taşı ve kireçli beyaz Bayburt taşı katkılarının donma çözülmede basınç dayanımının farklı çevrim sayılarına göre değişimini göstermektedir. Beyaz Bayburt taşı tüm çevrim sayılarında basınç dayanımını doğal zemine göre arttırırken kireçli zemin numunesinde beyaz Bayburt taşı atığına kıyasla daha fazla basınç dayanımına ulaşılmıştır. Beyaz Bayburt taşı atığına eklenen kireç ilavesiyle zeminin donma çözülme basınç dayanımı değeri de bir o kadar artmıştır. Sonuç olarak beyaz Bayburt taşı atığında kireç ilavesi zeminin donma çözülme basınç dayanımını arttırmıştır.



Şekil 50: KBBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi



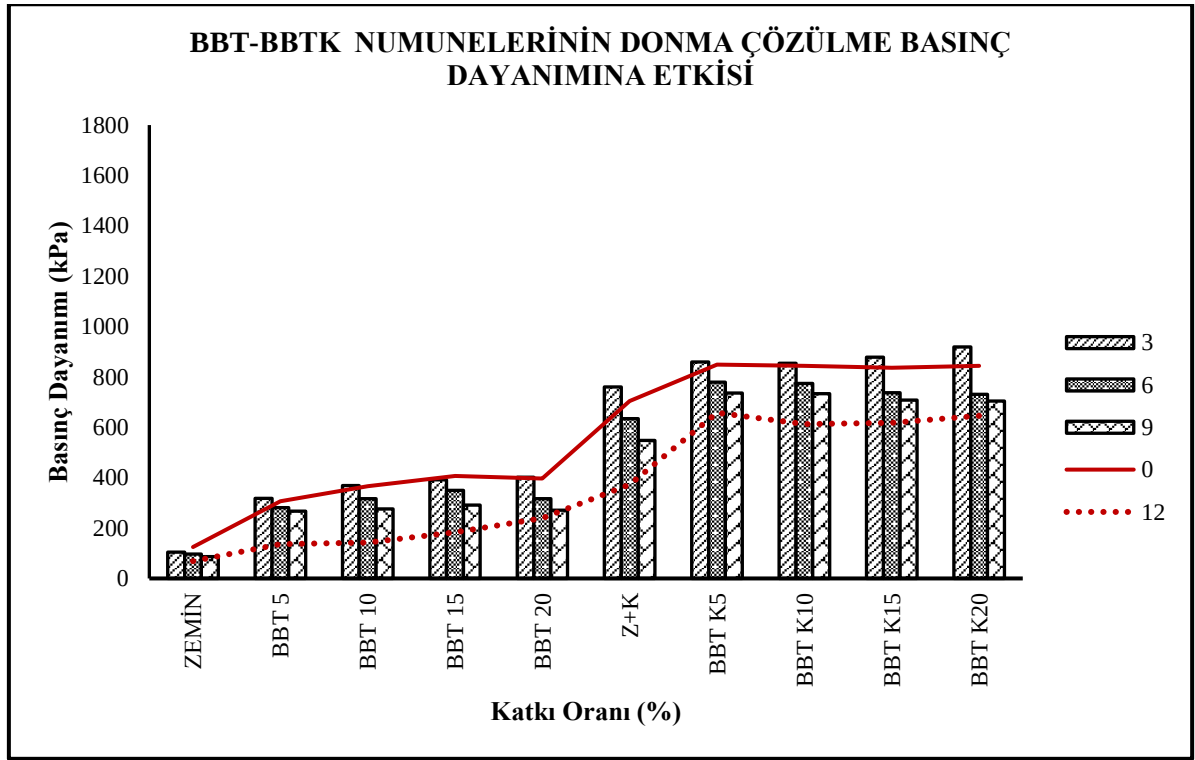
Şekil 51: KSBTK Numunelerinin Farklı Donma Çözülme Çevrim Etkisi

Şekil 53 zemine sarı Bayburt taşı atığı ve sarı Bayburt taşı atığının kireç ile kullanımının etkisini göstermektedir. Katkı türleri içerisinde basınç dayanımını en az arttıran katkı malzemesi sarı Bayburt taşı atığı iken sarı Bayburt taşı atığına eklenen kireç numunelerin basınç dayanımını oldukça arttırmıştır. Öyle kireçli zemin numunesi ile kıyaslandığında donma çözülme dayanımı daha fazla olmuştur.

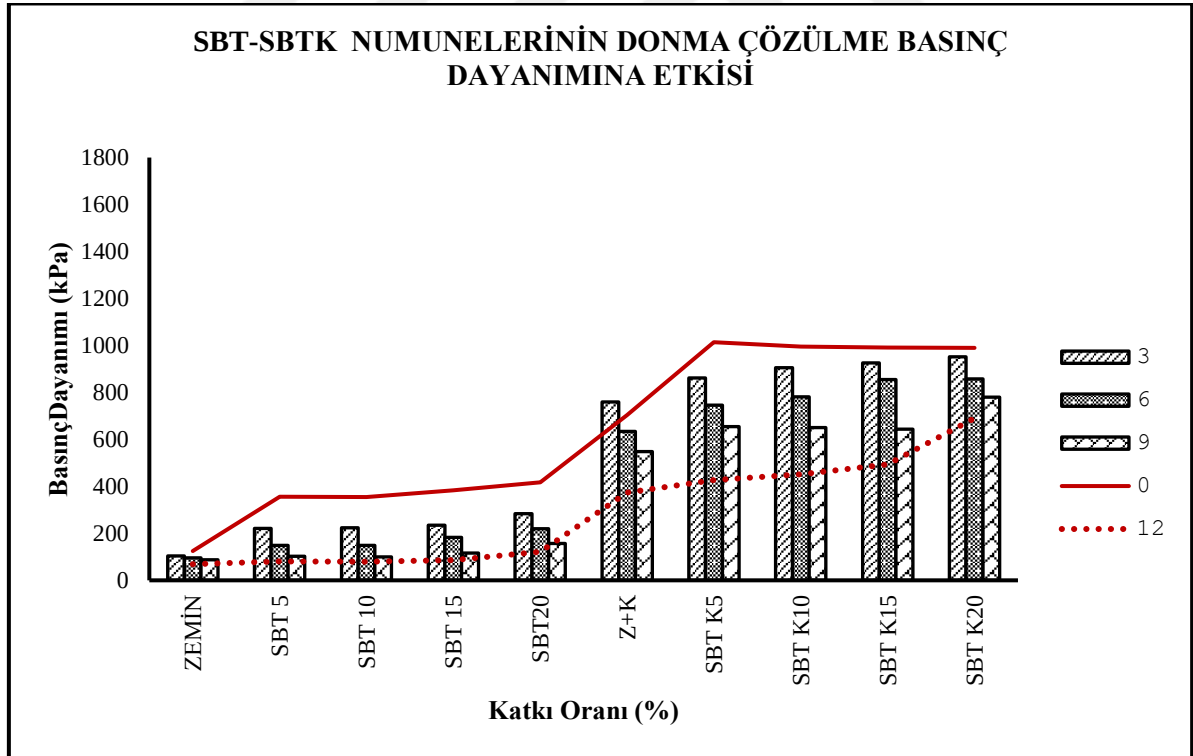
Saf halde kullanılan kalsine sarı Bayburt taşı katkısı ile kireçli zeminin basınç dayanımları yaklaşık olarak aynı minvaldedir. Şekil 54 incelendiğinde kalsine sarı Bayburt taşı ve kirecin birlikte kullanılmasıyla üretilen numunelerin gerek çevrimsiz gerek 12 çevrime kadar tüm çevrimlerde basınç dayanımını ne kadar arttırdığı görülmektedir.

KBBT ve KBBTK numunelerine ilişkin verileri karşılaştırıldığında zeminin basınç dayanımının çevrim sayısı arttıkça KBBTK numunelerinin basınç değerinin KBBT numunelerinin basınç değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 55 KBBT ve KBBTK numunelerinin donma çözülme sonucu basınç dayanımını göstermektedir.

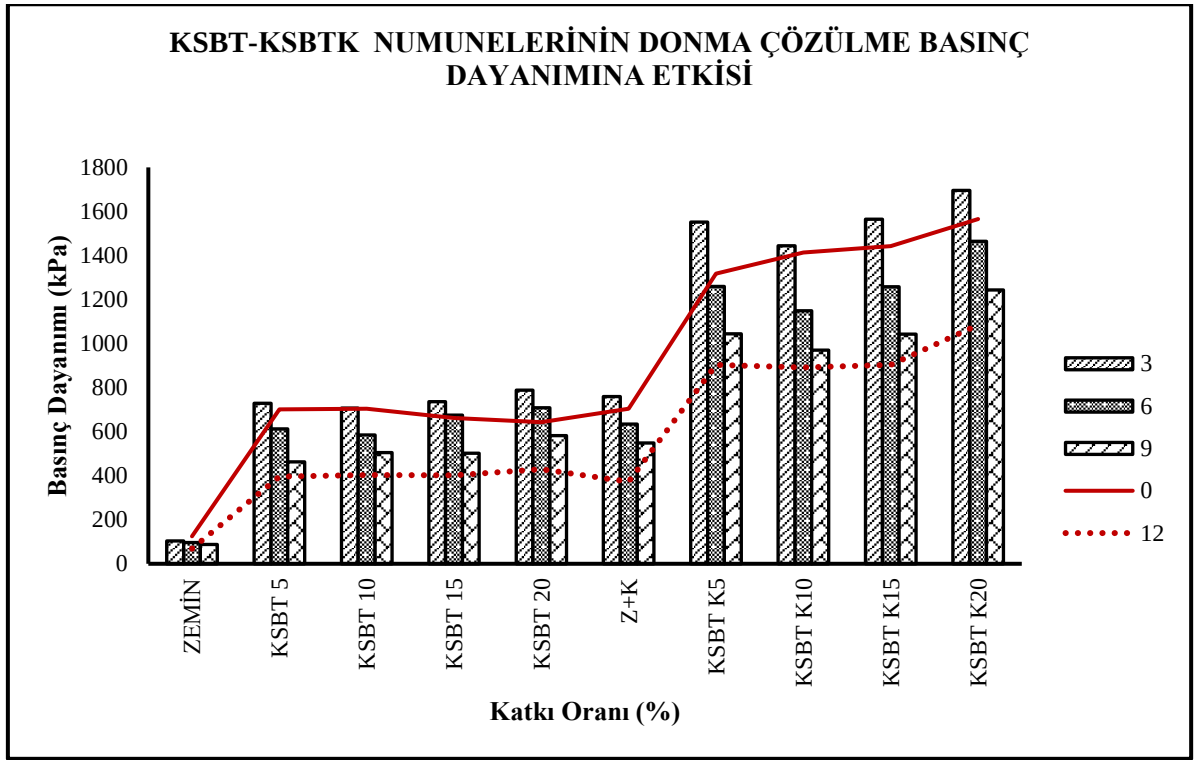
Yapılan deneysel çalışma sonunda katkı maddelerine eklenen kirecin zemin basınç dayanımını gerek çevrimsiz gerek uygulanan farklı çevrim sayılarında arttırdığı görülmüştür. Şekil 59 kireç katkılı sarı Bayburt taşı ve kireç katkılı beyaz Bayburt taşı katkılarının donma-çözülme basınç dayanımına etkisini, Şekil 57 kireç katkılı kalsine sarı Bayburt taşı ve kireç katkılı kalsine beyaz Bayburt taşı katkılarının donma-çözülme basınç dayanımına etkisini göstermektedir. Kalsine edilmiş numuneler kalsine edilmemiş numunelerden tüm katkı oranlarında ve tüm çevrim sayılarında daha fazla dayanım göstermiştir. Bilhassa KSBTK20 numunesi donma çözülme basınç dayanımını belirgin derecede iyileştirmiştir.



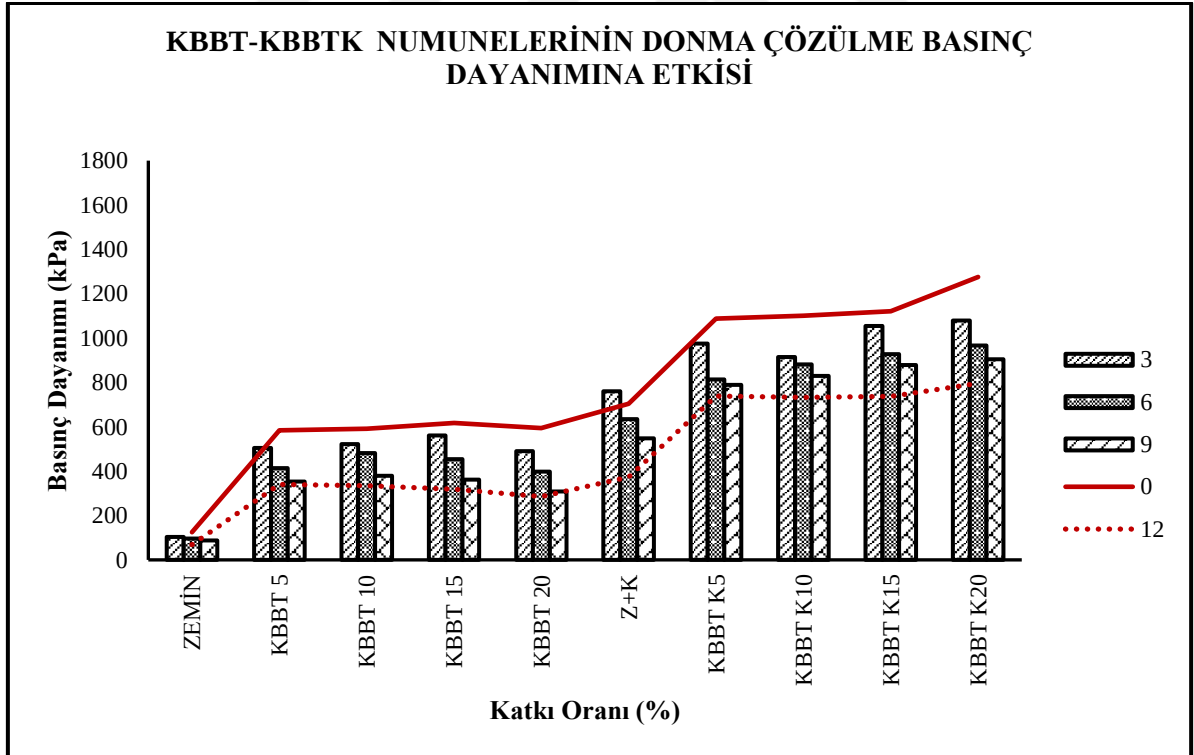
Şekil 52: BBT ve BBTK Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi



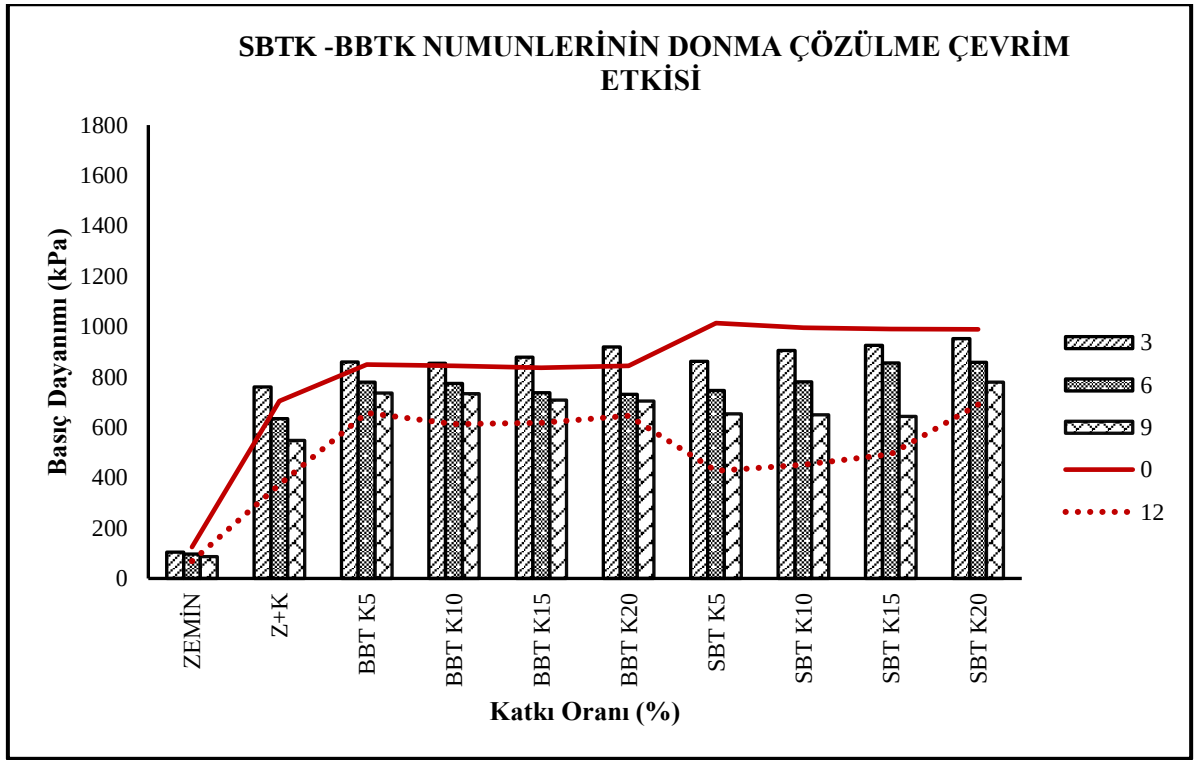
Şekil 53: SBT ve SBTK Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi



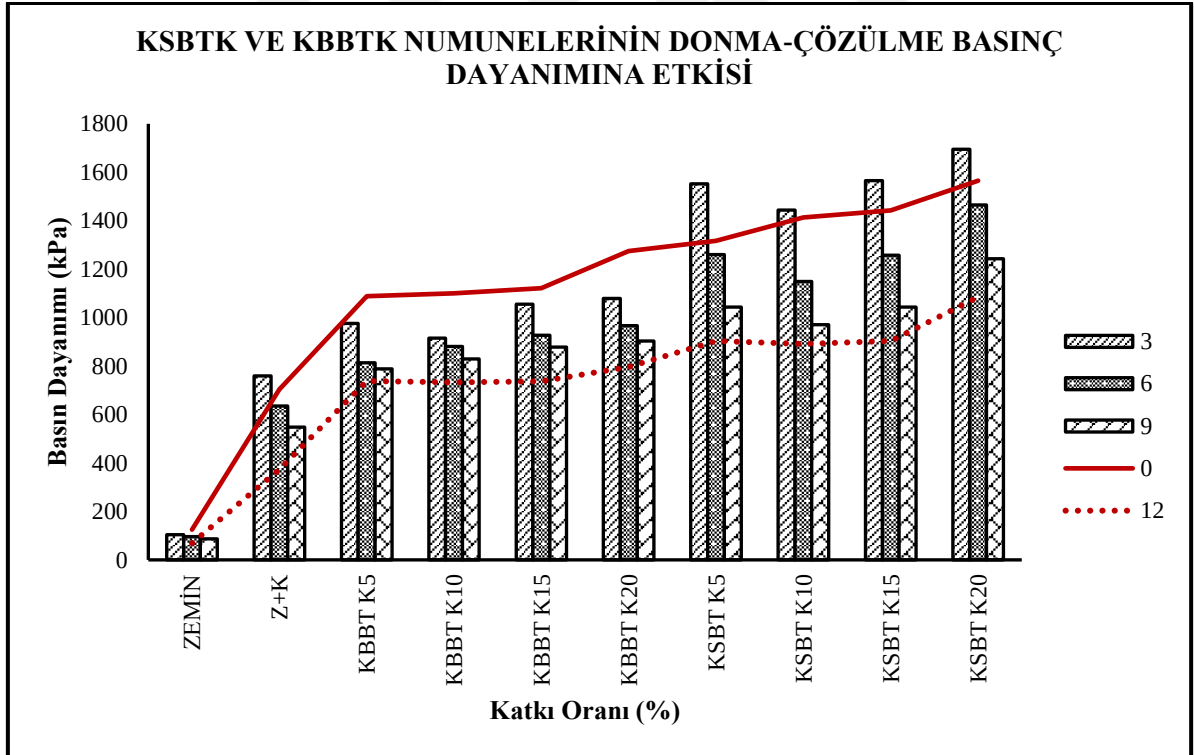
Şekil 54: KSBT ve KSBTK Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 55: KBBT ve KBBTK Numunelerinin Donma Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 56: SBTK ve BBTK Numunelerinin Donma-Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 57: KSBTK ve KBBTK Numunelerinin Donma-Çözülme Basınç Dayanımına Etkisi

3.3. ISLANMA KURUMA DENEY SONUÇLARI

Islanma kuruma deneyim içi hazırlanan numuneler 24 saat su içerisinde bekletilip 24 saat oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. 24 saat sonunda ağırlıkları ölçülerek zeminin ıslanma kuruma çevrimini dayanımı incelenmiştir.

Tablo 30 kireçsiz numunelerin farklı ıslanma kuruma çevrimi sonucu kalan ağırlıklarını Tablo 31 kireç katkılı numunelerin farklı ıslanma kuruma çevrimi sonucu kalan ağırlıklarını göstermektedir.

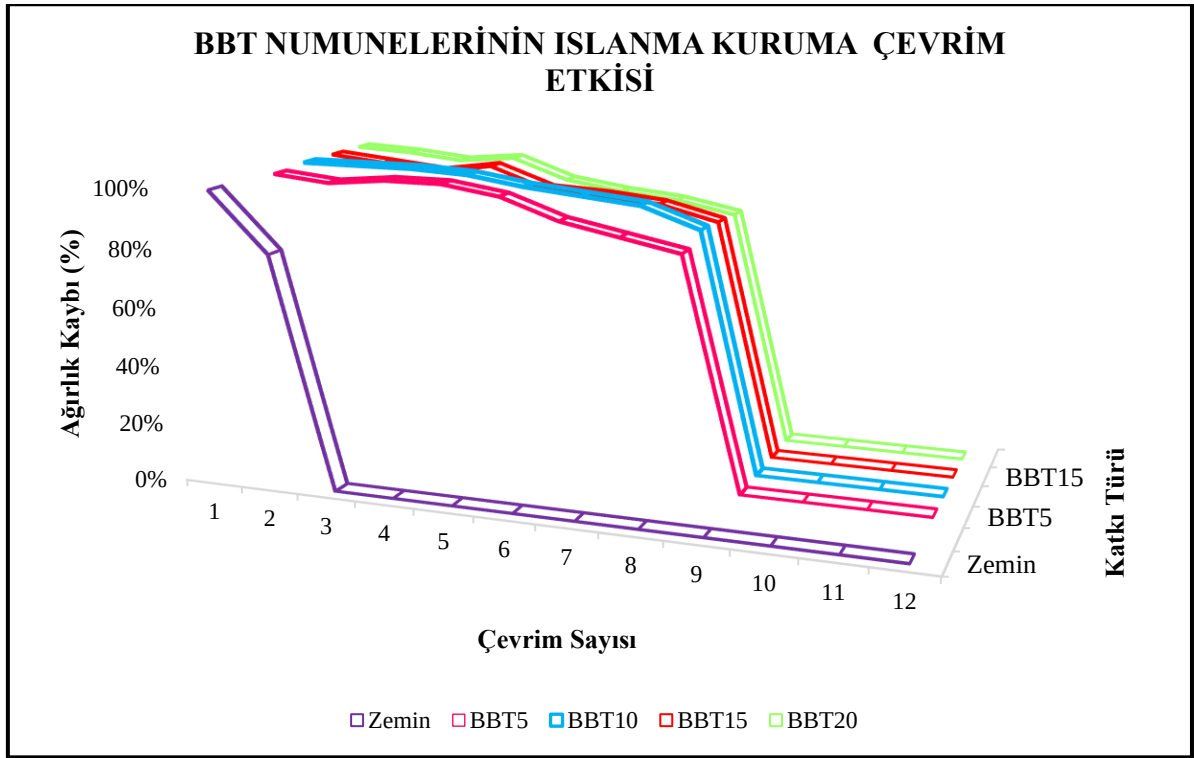
Doğal zemin 2 çevrim sonunda dağılmıştır. Sarı Bayburt taşı ve beyaz Bayburt taşı atığının ıslanma kuruma dayanımı incelendiğinde doğal zemine göre oldukça iyi iki katkı malzemesi ile hazırlanan numunelerde 9. Çevrime kadar dağılma görülmezken 9. Çevrim sonunda numuneler dağılmıştır. Şekil 58 beyaz Bayburt taşı atığının ıslanma kuruma çevrim etkisini, Şekil 59 sarı Bayburt taşı atığı ıslanma kuruma çevrim etkisini göstermektedir.

Islanma kuruma deneyinde kalsine edilmiş katkı malzemeleri ile hazırlanan numuneleri etkisi incelendiğinde elde edilen sonuçları oldukça efektif olduğu görülmüştür. Şekil 60 KBBT numunelerinin ıslanma kuruma çevrim etkisini göstermektedir. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkı malzemesi incelendiğinde KBBT5, KBBT10, KBBT15 numunelerinde 10 çevrim sonunda dağılma görülürken KBBT20 katkı oranında üretilen numunelerin 11 çevrime kadar dayandığı ve dağılmadığı görülmüştür. Kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesiyle üretilen numunelerin etkisi incelendiğinde tüm katkı oranlarında numunelerin 11 çevrim sonuna kadar kendini tuttuğu ve dağılmadığı görülmüştür. Şekil 61 kalsine sarı Bayburt taşı katkısının ıslanma kuruma çevrim etkisini göstermektedir.

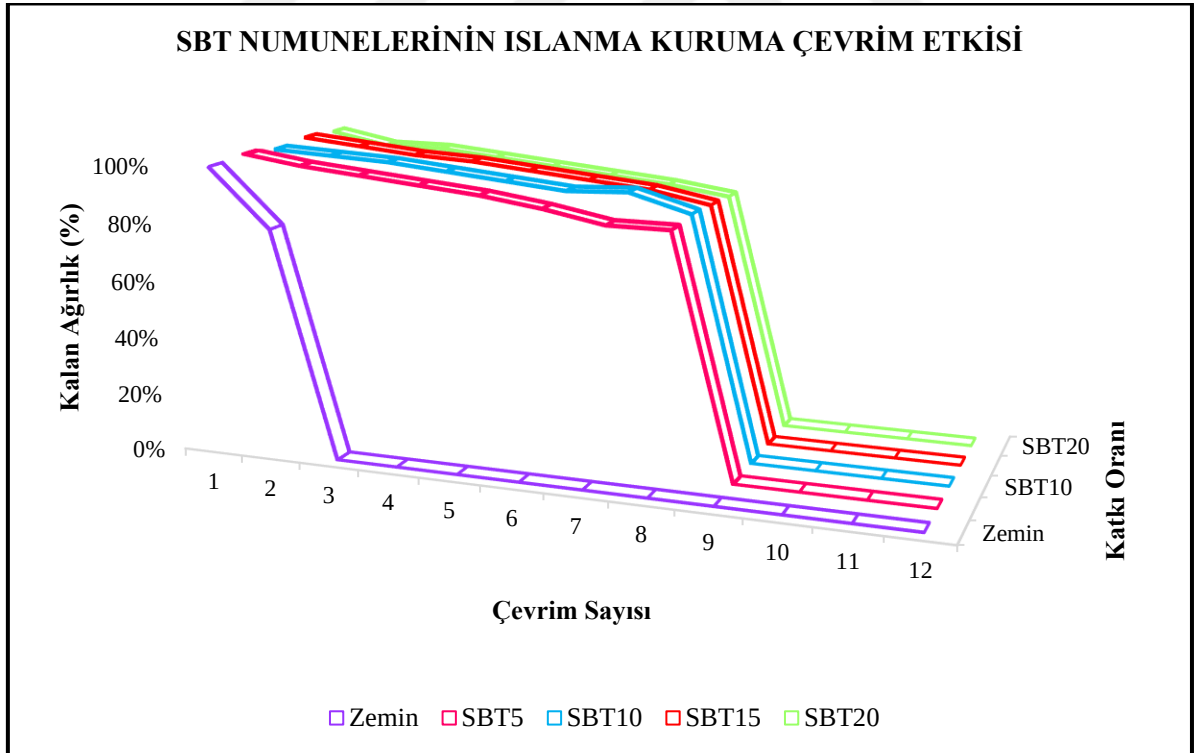
Islanma kuruma deney verileri incelendiğinde kullanılan tüm katkı malzemelerimiz zeminin ıslanma kuruma özelliğini iyileştirdiği görülmüştür. Bununla beraber kalsine edilmiş katkı malzemeleri kullanılarak üretilen numunelerin ıslanma kuruma dayanımını iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 30: Kireçsiz Numuneler Farklı Islanma Kuruma Çevrimi Sonucu Kalan Ağırlıkları

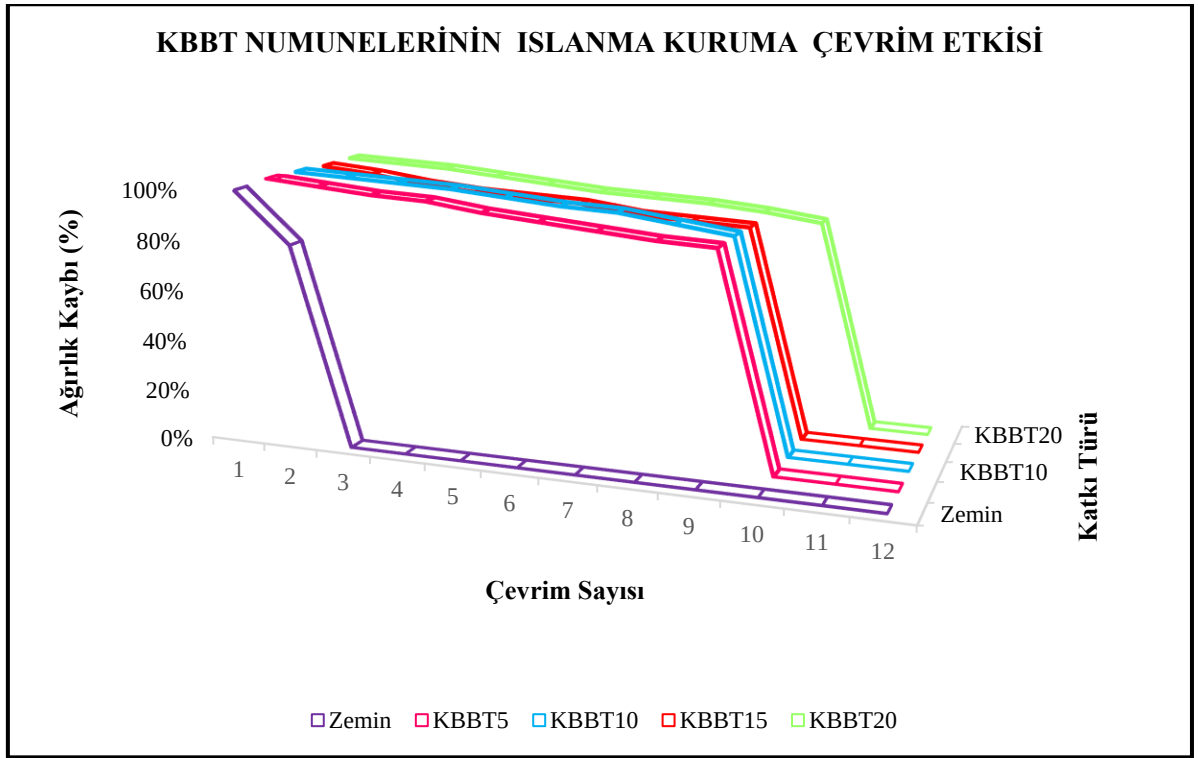
KATKI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zemin	99%	79%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BBT5	99%	96%	98%	98%	95%	88%	84%	80%	0%	0%	0%	0%
BBT10	98%	99%	99%	98%	95%	93%	91%	84%	0%	0%	0%	0%
BBT15	99%	97%	95%	98%	91%	90%	88%	83%	0%	0%	0%	0%
BBT20	99%	98%	96%	98%	91%	88%	86%	82%	0%	0%	0%	0%
SBT5	99%	97%	95%	93%	91%	88%	87%	84%	0%	0%	0%	0%
SBT10	98%	97%	96%	94%	92%	90%	87%	85%	0%	0%	0%	0%
SBT15	99%	97%	95%	94%	92%	90%	88%	84%	0%	0%	0%	0%
SBT20	98%	94%	94%	92%	90%	88%	86%	83%	0%	0%	0%	0%
KBBT5	100%	98%	96%	95%	92%	90%	88%	86%	85%	0%	0%	0%
KBBT10	99%	98%	97%	96%	94%	92%	91%	88%	85%	0%	0%	0%
KBBT15	98%	96%	93%	91%	90%	89%	86%	85%	84%	0%	0%	0%
KBBT20	98%	97%	96%	94%	92%	90%	89%	88%	86%	83%	0%	0%
KSBT5	98%	96%	94%	93%	91%	90%	88%	86%	84%	82%	0%	0%
KSBT10	100%	97%	97%	94%	91%	89%	88%	86%	84%	82%	0%	0%
KSBT15	99%	98%	96%	94%	93%	92%	91%	89%	84%	82%	0%	0%
KSBT20	100%	99%	97%	96%	93%	91%	88%	87%	83%	79%	0%	0%



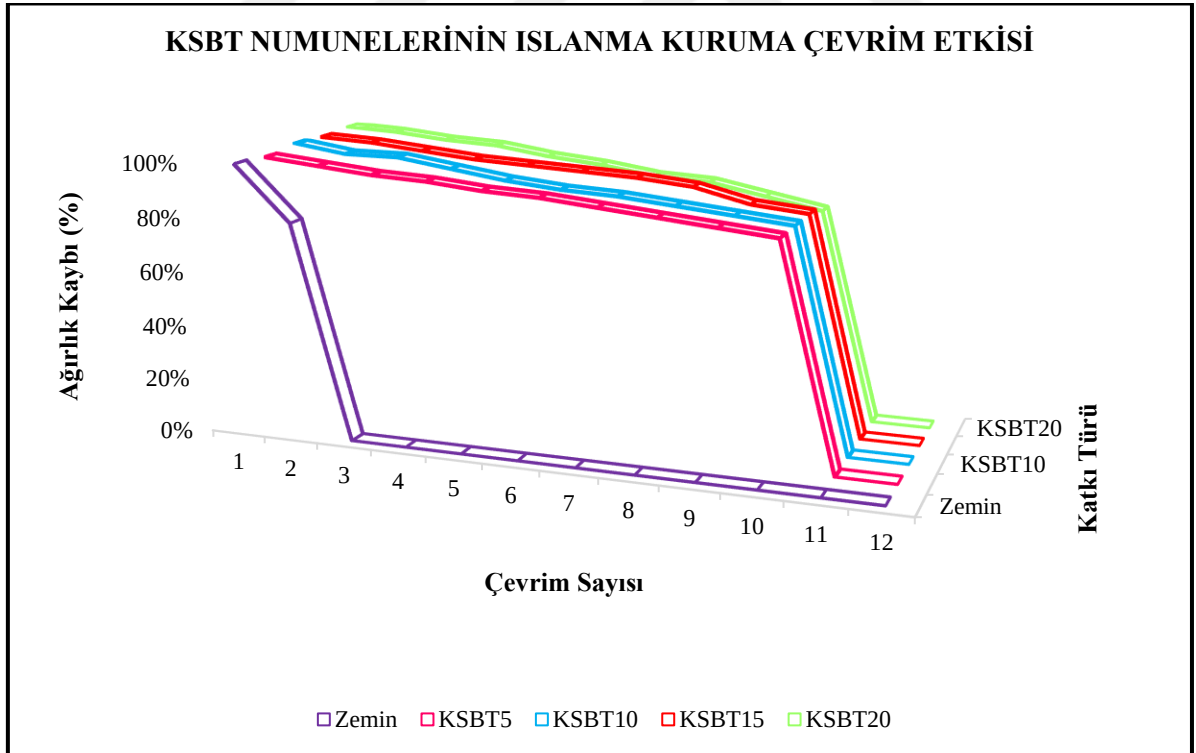
Şekil 58: BBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi



Şekil 59: SBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi



Şekil 60: KBBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi



Şekil 61: KSBT Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi

Kireç ile hazırlanan numunelere yapılan ıslanma kuruma deneyinde kirecin gerek doğal zeminin gerekse katkı malzemeleri ile kullanımında ıslanma kuruma dayanımını arttırdığı görülmüştür. Doğal zemin ikinci çevrim sonunda dağılırken kireçli zemin örneği 10 çevrim sonuna kadar dağılmamıştır. Şekil 62 BBTK numunelerinin ıslanma kuruma çevrim etkisini göstermektedir. BBTK katkılı numunelerin tamamının 11 çevrim sonuna kadar dağılmadığı görülmüştür. Kireç katkılı ve kireç katkısız BBTK numuneleri karşılaştırıldığında kirecin BBT atığı ile kullanımının ıslanma kuruma dayanımını arttırdığı görülmüştür.

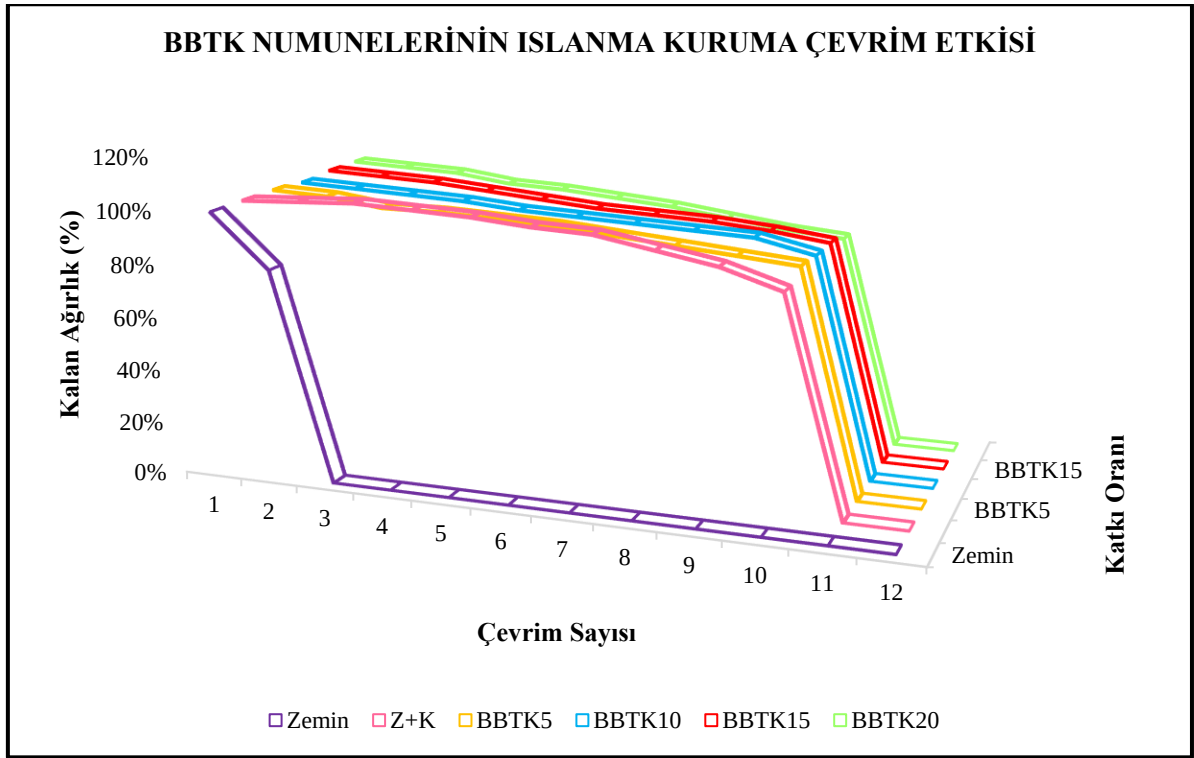
Şekil 63 SBTk numunelerinin ıslanma kuruma çevrim etkisini göstermektedir. Sarı Bayburt taşı atığı kireçle kullanıldığında ıslanma kuruma çevriminde 11 çevrime kadar dağılmadığı görülmüştür. Kireçli zemin numuneleri ile kireçli sarı Bayburt taşı ve kireçli beyaz Bayburt taşı katkı malzemelerinin ıslanma ve kuruma çevrimine karşı gösterdikleri direncin paralel olduğu görülmüştür.

Kalsine edilmiş katkı malzemelerinin kireç ile kullanımının ıslanma ve kuruma dayanımına etkisi araştırıldığında KBBTK5, KBBTK10, KBBTK15 numunelerinin 11 çevrim sonunda dağıldığı ve KBBTK20 numunesinin 12 çevrim sonunda dahi dağılmadığı görülmüştür. Şekil 64 KBBTK numunelerinin ıslanma kuruma çevrim etkisini göstermektedir. KSBTK numuneleri incelendiğinde 11 çevrimin sonuna kadar numunelerde dağılma olmadığı 12 çevrimde tamamen dağıldıkları görülmüştür. Bununla beraber KSBTK20 numunesinin ise 12 çevrimin sonunda dahi dağılmadığı görülmüştür. Şekil 65 KSBTK numunelerinin ıslanma kuruma çevrim etkisini göstermektedir.

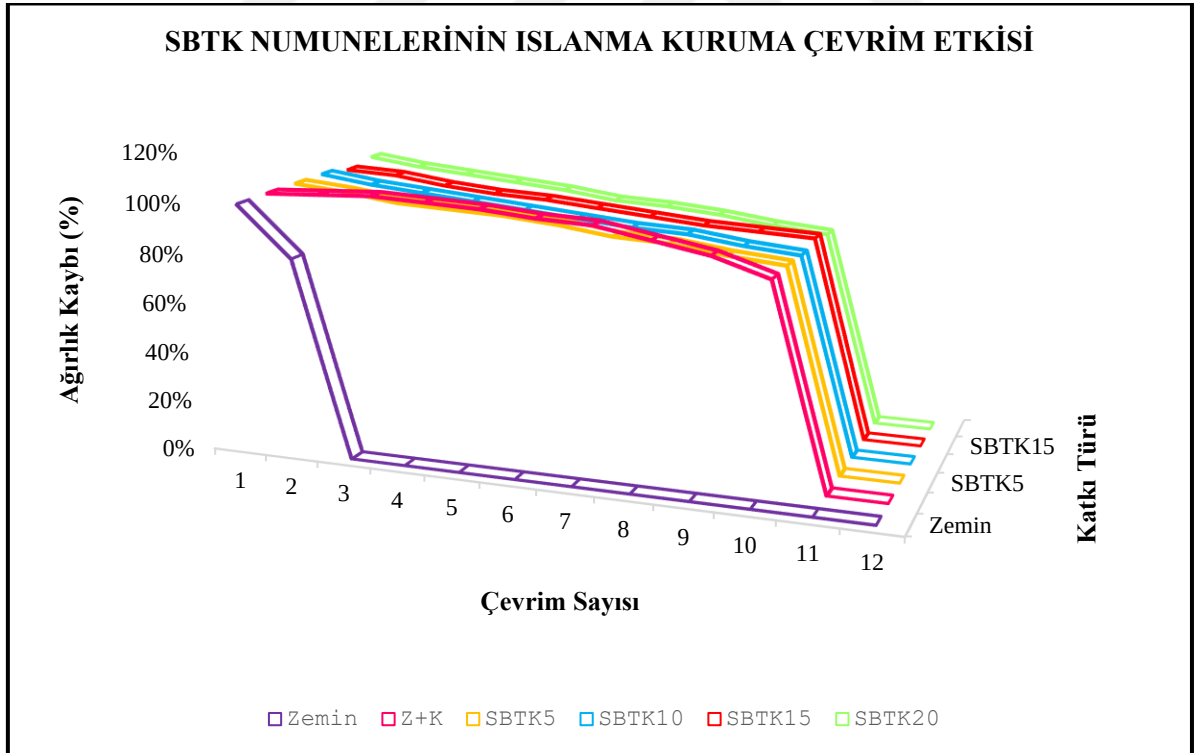
Deney verileri incelendiğinde kalsine edilmiş katkı malzemesine zemin ıslanma kuruma dayanımını arttırdığı açıkça görülmüştür. Katkı malzemelerinin kireç ile birlikte kullanımını basınç dayanımının arttığı ve özellikle %20 katkı oranında numunelerinin 12 çevrimde dahi dağılmadığı görülmüştür.

Tablo 31: Kireçli Numuneler Farklı Islanma Kuruma Çevrimi Sonucu Kalan Ağırlıkları

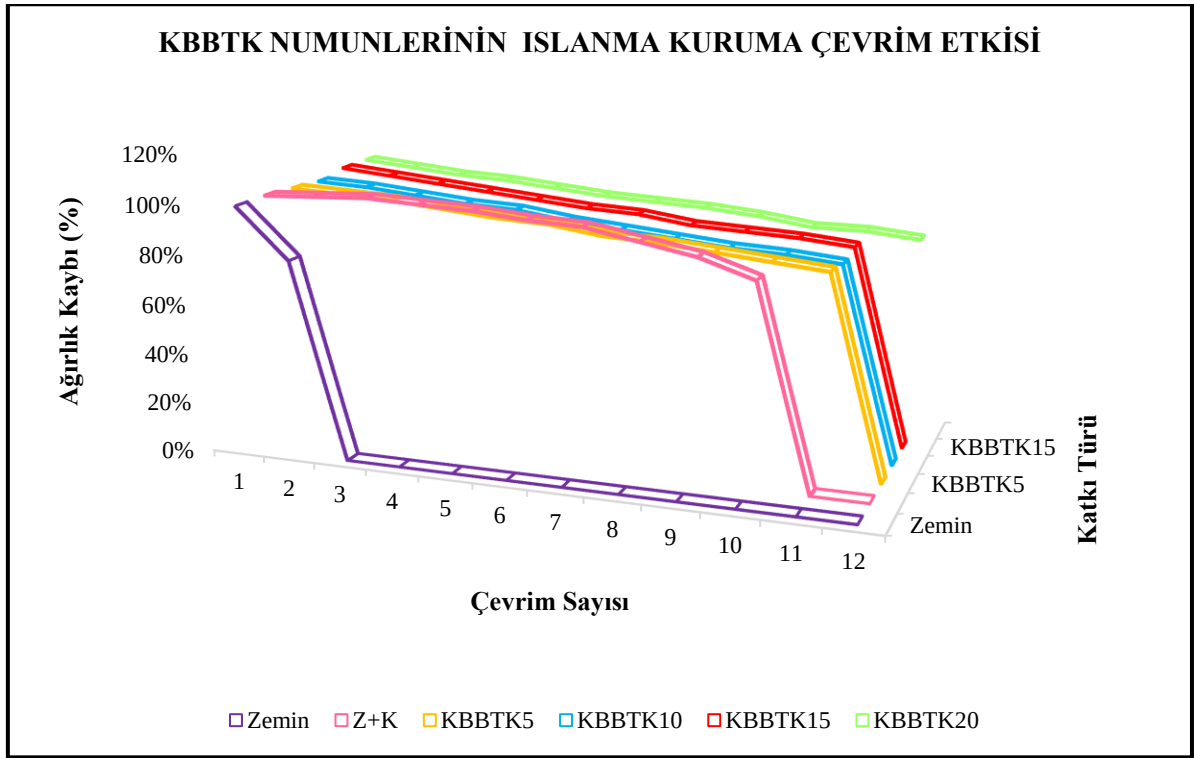
KATKI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zemin	99%	79%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Z+K	99%	100%	101%	100%	99%	0%	0%	92%	0%	0%	0%	0%
BBTK5	99%	98%	95%	95%	94%	93%	91%	89%	87%	85%	0%	0%
BBTK10	98%	97%	96%	95%	93%	92%	91%	90%	89%	84%	0%	0%
BBTK15	99%	98%	97%	95%	93%	91%	90%	89%	87%	84%	0%	0%
BBTK20	99%	98%	97%	94%	93%	91%	89%	86%	83%	81%	0%	0%
SBTK5	99%	97%	94%	93%	92%	90%	87%	86%	83%	81%	0%	0%
SBTK10	99%	96%	94%	92%	90%	88%	86%	85%	82%	80%	0%	0%
SBTK15	97%	96%	93%	91%	90%	88%	86%	84%	83%	82%	0%	0%
SBTK20	99%	96%	94%	92%	90%	87%	86%	84%	81%	79%	0%	0%
KBBTK5	98%	97%	96%	94%	92%	91%	88%	87%	85%	83%	81%	0%
KBBTK10	97%	96%	94%	92%	91%	88%	86%	84%	82%	81%	79%	0%
KBBTK15	99%	97%	95%	93%	91%	89%	88%	85%	84%	83%	81%	0%
KBBTK20	99%	97%	95%	94%	92%	90%	89%	88%	86%	83%	83%	81%
KSBTK5	99%	97%	95%	94%	92%	90%	87%	86%	84%	81%	79%	0%
KSBTK10	99%	97%	95%	94%	92%	90%	88%	87%	85%	82%	81%	0%
KSBTK15	99%	98%	97%	95%	93%	91%	89%	88%	85%	84%	82%	0%
KSBTK20	99%	97%	95%	94%	92%	90%	89%	87%	87%	85%	84%	83%



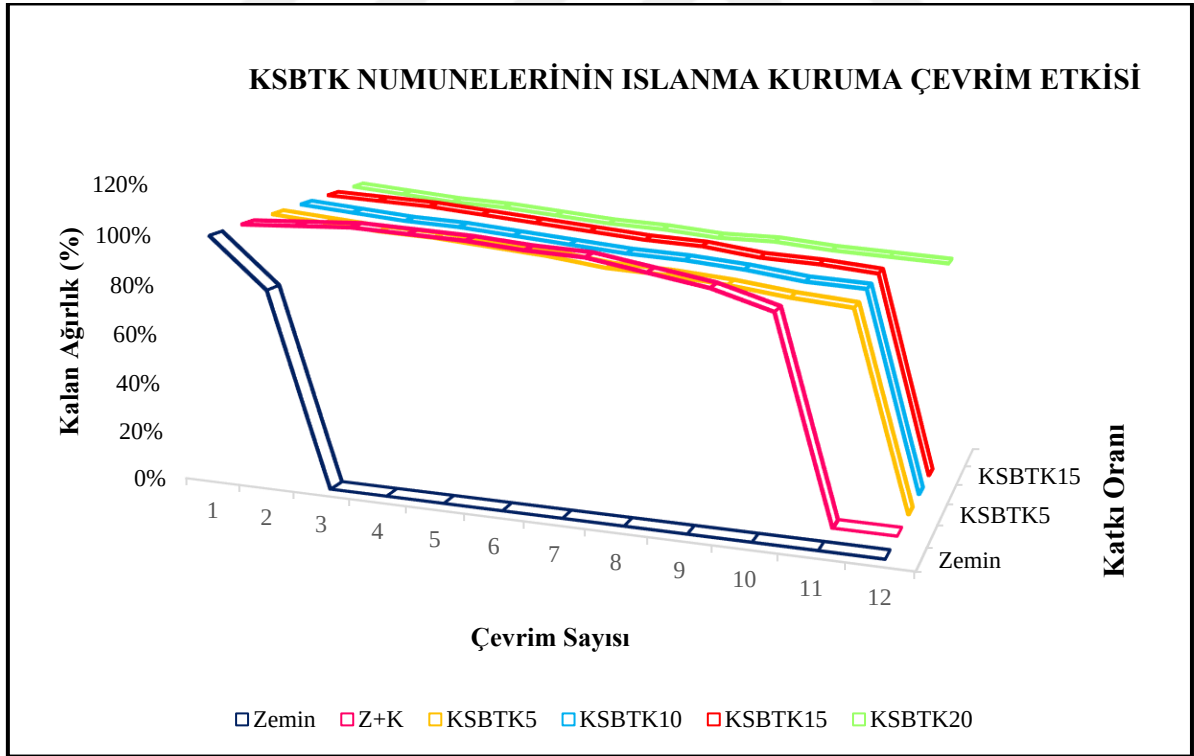
Şekil 62: BBTK Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi



Şekil 63: SBTK Numunelerinin Islanma Kuruma Çevrim Etkisi



Şekil 64: KBBTK Numuneleri Islanma Kuruma Çevrim Etkisi



Şekil 65: KSBTK Numuneleri Islanma Kuruma Çevrim Etkisi

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç

‘Kil Zemin Stabilizasyonunda Bayburt Taşı Atıklarının Kalsinasyonunun Dayanım ve Durabiliteye Etkisi’ adlı yüksek lisans tez çalışması kapsamında %5, %10, %15 ve %20 oranlarında beyaz Bayburt taşı atığı, sarı Bayburt taşı atığı, kalsine beyaz Bayburt taşı ve kalsine sarı Bayburt katkı malzemeleri kullanılarak stabilizasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada katkı malzemelerinin kireç ile etkileşiminin zemin iyileştirmeye etkisini araştırmak için temel bağlayıcı olarak %6 oranında kireç ilave edilmiştir. Serbest basınç dayanımı 7,14 ve 28 günlük kür süresi sonunda belirlenmiştir. Kalsinasyonun donma çözülme davranışına etkisinin de araştırıldığı tez çalışmasında farklı çevrim sayılarında deneysel çalışmalar yapılarak donma çözülmede farklı çevrim sayısı, katkı malzemelerinin türü ve oranları incelenmiştir. Çalışmanın son aşamasında 28 günlük kür süresi sonunda numunelerin ıslanma kuruma deneyi yapılarak ıslanma kuruma dayanıklılıkları belirlenmiştir. Yüksek lisans çalışması için yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Zemin içerisinde kullanılan katkı oranı arttıkça optimum su muhtevası azalmıştır.

Beyaz Bayburt taşı atığı, sarı Bayburt taşı atığı, kullanımı doğal zemine göre serbest basınç dayanımını arttırmıştır. Kür süresi arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Maksimum basınç dayanımı 28 günlük kür süresi sonunda BBT15 numunesinde elde edilmiştir.

Sarı Bayburt taşı atığı kullanımı zeminin basınç dayanımını arttırmış ve 28 günlük kür süresi sonunda maksimum basınç dayanımı SBT20 numunesinde elde edilmiştir.

Zemin stabilizasyonunda kalsine edilmiş beyaz Bayburt taşı atığı ve sarı Bayburt taşı atığı, kullanımı zeminin basınç dayanımını arttırmıştır.

Kalsine beyaz Bayburt taşı kullanımı tüm kür süresi boyunca basınç dayanımını arttırmıştır. Maksimum basınç dayanımı değeri 28 günlük kür süresi sonunda elde edilmiştir. Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısı için maksimum basınç dayanımı değeri %15 katkı oranı olmuştur.

Kalsine sarı Bayburt taşı katkısı zeminin basınç dayanımı üç farklı kür süresinde de arttırmıştır.

7 günlük kür süresi sonunda zemine ilave edilen kalsine sarı Bayburt taşı oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı bununla birlikte 28 günlük kür süresi sonunda ise katı oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır.

Zemin iyileştirmede kalsinasyon etkisi kireç katkısız numuneler özelinde incelendiğinde kalsine sarı Bayburt taşı ve kalsine beyaz sarı Bayburt taşı katkı malzemelerinin doğal zemin, sarı Bayburt taşı atığı ve beyaz Bayburt taşı atığına göre temel mühendislik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

Kr süresi arttıķa tüm katkı türlerinde ve tüm katkı oranlarında zeminin basınç dayanımını arttırmıştır.

Kalsine beyaz Bayburt taşı ve kalsine sarı Bayburt taşı katkıları basınç dayanımı açısından mukayese edildiğinde KSBT numunelerinin malzemesi basınç dayanımını daha fazla arttırırken, beyaz Bayburt taşı atığı ise sarı Bayburt taşı atığına kıyasla daha fazla arttırmıştır.

Zemin içerisine temel bağlayıcı olarak ilave edilen %6 oranındaki kireç katkısı gerek tek kullanıldığında gerek farklı oranlarda katkı malzemeleri ile kullanımında basınç dayanımını arttırmıştır.

Doğal zemine eklenen kireç 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanımını 5,14 kat arttırmıştır.

Kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının kireç ile kullanımı sonucunda maksimum basınç dayanımı değeri 28 günlük kür süresi sonunda KBBTK20 numunesinde olmuştur.

Kireç katkılı zeminde kalsine beyaz Bayburt taşı oranı arttıķa basınç dayanımı artmıştır.

Kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesi kireç ile kullanıldığında basınç dayanımı değeri zemine göre 10 kat artarak maksimum değere ulaşmıştır. Zemin içerisindeki katkı oranı artıķa basınç dayanımı artmıştır.

Kireçsiz numunelerde olduğu gibi kireçli numunelerde de kr süresi uzadıķa basınç dayanımı artmıştır.

Kireçsiz numunelerde olduğu gibi kireçli numunelerde de kalsine katkı malzemelerinin dayanımı daha yüksektir.

Kireçli ve kireçsiz numunelerin tamamı incelendiğinde maksimum basınç dayanımı değeri 28 günlük kür süresi sonunda KSBTK20 numunesinde elde edilmiştir.

Zemin iyileştirmede kalsinasyonun etkisi incelendiğinde kalsinasyonlu katkı malzemesiyle kullanımıyla birlikte kireç katkılı ve kireç katkısız numunelerde basınç dayanımı belirgin şekilde artmıştır.

28 günlük kür süresi sonunda farklı donma zlme çevrimine tabii tutulan numunelerden elde edilen verilerde çevrim sayısı arttıķa zeminin serbest basınç dayanımın azalmıştır.

3. çevrim sonunda bazı katkı malzemelerinin basınç dayanımı çevrim uygulanmayan numunelere kıyasla artmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde 3. Çevrimde zeminin basınç dayanımının arttığı görülmüştür.

Doğal zemine uygulanan farklı donma çözülme çevrimleri basınç dayanımını oldukça düşürmüştür. Çevrim uygulanmayan doğal zeminin basınç dayanımı 124,81 kPa iken 12.çevrim sonunda basınç dayanımı 68,78 kPa değerine düşmüştür.

12. çevrim sonunda kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının zemin içerisindeki oranı arttıkça basınç dayanımı azalmıştır. Maksimum basınç dayanımı 339,89 kPa değeri ile KBBT5 numunesinde, minimum basınç dayanımı ise 285,16 kPa değeri ile KBBT20 numunesinde görülmüştür.

12.çevrim sonunda zemin içerisindeki beyaz Bayburt taşı atığının oranı arttıkça basınç dayanımı artarken kalsine beyaz Bayburt taşının zemin içerisindeki oranı arttıkça basınç dayanımı azalmıştır.

Sarı Bayburt taşı atığı tüm katkı malzemeleri ile kıyaslandığında donma çözülme dayanımı en düşük katkı malzemesidir.

Kalsine sarı Bayburt taşı katkısı kullanılarak üretilen numuneler uygulanan 3.çevrimde çevrim uygulanmayan numuneler ile karşılaştırıldığında basınç dayanımında artışlar olmuştur.

Kalsine katkı malzemelerinde 12.çevrim sonunda elde edilen basınç dayanımı değerleri çevrime tabii tutulmayan kalsine edilmemiş malzemelerin basınç dayanımından daha fazladır.

Kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesi tüm çevrim sayılarında donma çözülme dayanımı en yüksek olan katkı malzemesidir.

Beyaz Bayburt taşı atığının kireç ile kullanımında 3. çevrimde basınç dayanımı çevrim uygulanmayan numunelere göre artarken, 6. 9. ve 12. çevrim sonunda basınç dayanımları azalmıştır.

3.çevrim sonunda BBTK20 numunesinin basınç dayanımı 919,49 kPa iken 12.çevrim sonunda maksimum basınç dayanımı ise BBTK5 numunesinde 657,79 kPa'dır.

Kireçli kasine beyaz Bayburt taşı katkı malzemesinde katkı oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır.

12. Çevrim sonunda KBBTK20 numunesinin basınç dayanımının çevrim uygulanmayan doğal zemin ve kireçli zemin numunelerinin basınç dayanımından fazladır. Elde edilen veriler kalsine beyaz Bayburt taşı katkısının kireç ile kullanımının donma çözülme özelliğini beliğin derecede iyileştirdiğini göstermiştir.

Sarı Bayburt taşı atığı kullanılan numunelerin basınç dayanımında 3. çevrim sonunda çevrim uygulanmayan sarı Bayburt taşı atığına kıyasla azalmalar olmuştur.

Kalsine sarı Bayburt taşı katkı kireç ile kullanıldığında 12. çevrim sonunda dahi elde edilen basınç dayanımı değeri çevrim uygulanmayan kireçsiz numunelerin basınç dayanımından fazladır.

3. çevrim sonunda kireç katkılı kalsine sarı Bayburt taşı katkı malzemesinin basınç dayanımı çevrim uygulanmayan kireç katkılı kalsine sarı Bayburt taşı katkı numunelerine kıyasla artmıştır.

Kireç katkılı kalsine sarı Bayburt taşı katkısının kireç ile kullanımı zemin iyileştirmede efektif sonuçlar vermiştir.

Kalsine edilmiş numunelerde hesaplanan ağırlık kaybı diğer katkı malzemelerine oranda daha azdır.

12 ıslanma kuruma çevrimi uygulanan numunelerin ağırlık kayıpları hesapladığında tüm katkı çeşidi ve katkı türlerinde numuneler maksimum 12.çevrime kadar dağılmazken, KBTK20 ve KSBTK20 numunelerinde 12.çevrim sonunda dahi numuneler dağılmamıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde kalsine edilmiş malzemeler, kireçli ve kireçsiz kullanımda serbest basınç dayanımını doğal zemine ve kalsine edilmemiş katkı malzemelerine göre arttırmıştır. Farklı çevrim sayılarında donma çözülme davranışı incelendiğinde kalsine edilmiş malzemeler kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımı kalsine edilmemiş malzemeler kullanılarak üretilen numunelere göre daha efektif sonuçlar vermiştir. Kirecin kalsine edilmiş malzemeler ile kullanımı zeminin basınç dayanımını arttırmıştır.

Öneriler

Kalsinasyonun zemin iyileştirmede kullanılabilirliğinin çeşitli katkı türleri ve farklı kombinasyonlarda araştırıldığı tez çalışmasında kalsine edilmiş malzemelerin minerolojik ve kimyasal yapısı detaylı incelenmemiştir bu konuda ileride çalışmalar yapılabilir. Tez çalışması kapsamında ileride yapılacak çalışmalar şu şekilde sıralanabilir:

Kalsinasyonun zeminin diğer mühendislik özelliklerine etkisi araştırılabilir.

Tez çalışmasında her katkı malzemesi için %5, %10, %15 ve %20 katkı oranları araştırılmış ve maksimum basınç dayanımının elde edildiği değer aralıkları belirlenmiştir. Kullanılacak olan katkı malzemesinin optimum değerinin bulunması için katkı oranının değer aralığı azaltılarak deneysel çalışmalar yapılabilir.

Kalsinasyonun etkisi BBT ve SBT atığı özelinde incelenmiştir. Kalsinasyonun zemin iyileştirmede kullanılabilirliği için farklı katkı malzemelerinde de benzer deneysel çalışma yapılabilir.

Kalsinasyonun çevreye, ekosisteme etkisi, maliyeti ve kullanılabilirliği araştırılabilir.

Yapılan çalışmada kür süresinin basınç dayanımını ne kadar etkilediği belirlenmiştir. Daha uzun kür sürelerinde deneysel çalışma yapılabilir.

Donma çözülme deneyinde kür süresi 28 gün olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak zeminin davranışını incelemek için donma çözülme deneyleri farklı kür sürelerinde gerçekleştirilebilir.

Temel bağlayıcı olarak kireç ile yapılan çalışmaya ek olarak farklı bağlayıcı türleri ile kalsinasyon etkisi incelenebilir.



KAYNAKÇA

- Archibong, G. A., Sunday, E. U., Akudike, J. C., Okeke, O. C. and Amadi, C. (2020). ‘A review of the principles and methods of soil stabilization’. *International Journal of Advanced Academic Research |Sciences, Technology and Engineering*. Vol. 6, Issue 3 (March 2020)
- Aref al-Swaidani., Ibrahim Hammoud., Ayman M. (2016). ‘Effect of adding natural polime-stabilized clayey soil’. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(5), 714-725.
- Arora, K. R. (2011). “Soil mechanics & foundation engineering”, *Standard Publisher Distributors*, Seventh Edition, Delhi.
- Arslan, M., Aslan, Z., Dokuz, A. (2005). Bayburt tüflerinin petrografik, petrokimyasal ve petrolojik özellikleri: doğu pontid güney zonu’nda eosen kalkalkalen felsik volkanizması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik -Mimarlık. Fakültesi Dergisi.*, 20.
- Aykut, C. (2017). *Bayburt taşı atıklarının geopolimer tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 458855)
- Ayışkan, Ö. (1972). Fosfat cevheri zenginleştirilmesi ve Türkiye için önemi. *Sciencific Mining Journal*, 11(4), 47-52.
- Behzad, K., Huat, B. B. K. (2008). Soil stabilization using ordinary portland cement, polypropylene fibres and aire curing, *EJGE*, USA, 13.
- Bell, A. L. (1993). “Jet Grouting”, Chapter Seven, *İn-Ground İmprovement* M. P. Mosely, Ed., Chapman & Hall, London.
- Çalık, Ü. (2012). *Perlitin puzolanik katkı olarak kireç ile birlikte zemin stabilizasyonunda kullanımı* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 300926)
- Çalık Y., Akbulut R, K., Zaimoğlu A, Ş., Yetimoğlu T., (2019). Polipropilen lif ile rastgele donatılandırılan bir CH kil zemininin donma-çözülme çevrimlerinde serbest basınç dayanımının araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 911-921.
- Çelik, Z.H. (2020). *Zemin stabilizasyonunda pomza taşının incelik etkisinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 610712)
- Doru, M.H. (2014) *Çimento stabilize zemin iyileştirmelerinde uçucu kül kullanımı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 373892)
- Duman, V. (2020). *Midyat taşı atıklarının düşük plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 633580)
- Ercan, M. (2017). *Jet grout yöntemi uygulanarak yapılan bir zemin iyileştirme vaka analizi.* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 458854)
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., Uysal, T. (2018). Sol-jel yöntemiyle üretilen alüminanın fizikokimyasal ve yapısal özellikleri üzerine kalsinasyon sıcaklığının etkisi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 387-396.

- Fidan, D. (2016) *Killerin stabilizasyonunda doğal puzolanik katkı maddesi inceliğinin dayanım ve durabiliteye etkisi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 444951)
- Gary, S. K. (2007). "Geotechnical engineering. soil mechanics & foundation engineering", Khanna Publishers, Seventh Revised Edition, New Delhi.
- Genç, M. İ. (2022). *Kum zeminlerin bazı mühendislik özellikleri üzerinde sıvılaştırılmış atık pet şişelerin etkisinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 772717)
- Gençoğlu, E. (2022). *Yüksek plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda uçucu kül dane boyutunun cbr ve dayanıma etkisi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 714259)
- Ghazavi M., Roustaie M. (2010). The influence of freeze–thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay. *Cold Regions Science And Technology* (61), 125–13.
- Gleason, M. H., Daniel, D.E., Eykholt, G.R. (1997). Calcium and sodium bentonite for hydraulic containment applications. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 123(5), 438- 445.
- Goodluck Archibong, E. U. (2020, March). A review of the principles and methods of soil stabilization. owerri, Nigeria, International Journal of Advanced Academic Research.
- Görhan, G. (2020). Geopolimer harç özelliklerine metakaolin kalsinasyon sıcaklığının etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 83-89.
- Hill, S. (2018). Thin on the ground: soil science in the tropics.
- Hunt, R., E., (1994). Geotechnical Engineering Investigation Manual, McGraw Hill, USA.
- Issa Shooshpasha., Reza Alijani Shirvani. (2015). 'Effect of cement stabilization on geotechnical properties of sandy soils'. *Geomechanics and Engineering*, 8(1), 17-31.
- .Jafari M., Esna-Ashari M. (2012). Effect of waste tire cord reinforcement on unconfined compressive strength of lime stabilized clayey soil under freeze–thaw condition. *Cold Regions Science And Technology*. (82), 21-29.
- Johnson, A. M. (1948). Laboratory experiments with lime-soil mixtures. *Highway Research Board Bull.* 28, 496.
- Kalem, Z. (2015) *Kentsel dönüşümdeki inşaat ve yıkıntı atıklarının killi zeminlerde iyileştirmeye etkilerinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 413344)
- Khadka, S.D., Jayawickrama, P.W., Senadheera, S. (2018). Strength and shrink/swell behavior of highly plastic clay treated with geopolymer. *Transport Research Record*, 2672 (52), 174-184.
- Kocabey, S. (2019) *Düşük plastisiteli killerin kireçle stabilizasyonunda inceliğin etkisi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 533972)
- Keskin S, N., Sungur A., Akan R., Uzundurukan S. (2017). İnce daneli zeminlerde katkı maddelerinin ve donma-çözülme çevriminin serbest basınç dayanımına etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 473- 478.
- Lambe, T. W. & Whitman, R. V. (1979). "Soil mechanics S. I. version", John Wiley & Sons, New York.

- Liu J., Chang D, Yu Q. (2016). Influence of freeze-thaw cycles on mechanical properties of a silty sand. *Engineering Geology*. (210), 23-32.
- Liu J., Zhang K., Shi W., Liu L&Lu C. (2024). Effects of freeze-thaw on soil detachment capacity in the black soil region of northeastern china. *Soil & Tillage Research* (236).
- Little, D., Nair, S. (2009). Recommended Practice for Stabilization of Subgrade Soils and Base Materials. The National Academies Press.
- Lu Y., Liu S., Weng L., Wang L., Li Z&Xu L. (2016). Fractal analysis of cracking in a clayey soil under freeze–thaw cycles. *Engineering Geology*, 208, 93-99.
- McCarthy, D. F (1986). Essentials of Soil Mechanics & Foundation. Boston Publishing Co. Inc. Boston.
- Mitchell, J.K., Hooper, D.R. (1961). Influence of time between mixing and compaction on properties of a lime-stabilized expansive clay. *Highway Research Board*, 304.
- Mitchell, J., K. ve Gallagher, P., M. (1998). Guidelines for Ground Improvement of Civil Works and Military Structures and Facilities, Publication No. ETL 1110-1- 185, U.S. Army of Corps. Of Engineers, Washington, 109.
- Nazaroghlu, M. B. (2019). *Zeminlerin özelliklerini uçucu kül ile iyileştirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 572410)
- Onyelowe, K.C., Onyia, M.E., Van,D.C., Baykara, H., Ugwu, H.U. (2021). Pozzolanic reaction in clayey soils for stabilization purposes: a classical overview of sustainable transport geotechnics. *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1155/2021/6632171>
- Oztas T., Fayetorbay F. (2003). Effect of freezing and thawing processes on soil aggregate stability. *Catena* 52, 1 – 8.
- Öksüz N. (2023). "Volkanik tuflarla üretilen alkali aktive edilmiş hafif geopolimerler üzerine kalsinasyonun etkisi", *Journal of the Australian Ceramic Society*. 59, 1053-1063.
- Özdemir, A.M. (2023). *Kül ile iyileştirilmiş killi zeminlerin dayanımına etkisinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 785782)
- Qayumi, M. (2022). *Atık ambalaj polyester şerit ile rastgele donatılandırılmış kil zeminin bazı mühendislik özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 757703)
- Ramamurthy, T. (2014). “Engineering in rocks for slopes, foundation & tunnels”, *PHI Learning*, 3rd Edition, Delhi.
- Rogers, C. D., Glendinning, S. (2000). Lime requirement for stabilization. *Transportation Research Record*, 1721(1), 9-18.
- Roustaei M., Hendry M., Aghaei E, A., Bayat M. (2021). Shear modulus and damping ratio of clay soil under repeated freeze-thaw cycles. *Acta Geodynamica Geomateriale*, 18, (201), 71–81.
- Rovnaník, P. (2010). Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer. *Construction Building Materials*, 24 (7), 1176-1183.
- Serencam, H., Uçurum, M. (2019). Yeşil Bayburt taşının adsorban olarak kullanılabilirliğinin istatistiksel deney tasarımı ile incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 352-361.

- Şahin, H. (2018). *Bayburt taşı olarak bilinen tüflerin çimento üretiminde mineral katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 534524)
- Sahin U., Angin İ., Kiziloglu F. M. (2008). Effect of freezing and thawing processes on some physical properties of saline-sodic soils mixed with sewage sludge or fly Ash. *Soil & Tillage Research*, 99, 254–260.
- Taş, M. (2020). *Uçucu kül, bayburt taşı ve mermer tozu endüstriyel atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 609976)
- Tunçdemir F. (2004). Temel zeminlerinin enjeksiyon tekniğiyle iyileştirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (430).
- Taşpolat L, T., Zorluer İ., Koyuncu H. (2006). Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma- çözölmeye etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2), 11 – 16.
- Tekin, İ., Kotan, T., Yurdakul, M., Öner, E. (2017). Bayburt bölgesinde bulunan farklı agrega tipleri ile üretilen geleneksel betonların mekanik mukavemetleri üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 513-518.
- Tekin, İ., Tekin, D. (2018). Polinaftalin sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcıların farklı inceliklere sahip Bayburt taşı ikame edilmiş kompoze çimentoların mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 24(3), 419-425.
- Topçu, H. M. (2022). *Yüksek plastisiteli kilin uçucu kül ve nano-sio2 ile stabilizasyonu* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 717899)
- Tuğlu, H. (2022). *Tuğla atıklarının düşük plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 714275)
- Turkoz, M., Savas, H., Acaz, A., Tosun, H. (2014). The effect of magnesium chloride solution on the engineering properties of clay soil with expansive and dispersive characteristics. *Applied Clay Science*, 101, 1-9.
- Tümer, E. F. (2022). *Düşük plastisiteli kil zeminin kireçle stabilizasyonunda yeşil Bayburt taşı dane boyutunun dayanıma etkisi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 719280)
- Türkel, U. M. (2019). *Bazalt fiber ve çimento katkısının zayıf zeminlerin geoteknik özelliklerine etkisinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 537592)
- Ural N., Yakşe G. (2015). Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2).
- Uzuner, B., A. (2013). Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon, 342-359.
- Venkataramaiah, C. (2006). Geotechnical engineering, Trupati, Hindistan
- Yarbaşı N., Kalkan E., Akbulut S. (2007). Modification of the geotechnical properties, as influenced by freeze-thaw, of granular soils with waste additives. *Cold Regions Science and Technology*, (48), 44–54.
- Yılmaz F. (2020). Uçucu kül ve mermer tozu katkılarının zeminin stabilizasyonuna ve donma çözölmeye etkisinin araştırılması. *Academic Platform Journal Of Engineering And Science*, 8(1), 56-61.

- Yeşilçiçek, H. (2016). *Kolemanitin zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 430775)
- Yılmaz, F. (2015). *Tüfit taşların zemin stabilizasyonunda kireçle birlikte kullanılabilirliğinin standart deneyler ve bilgisayarlı tomografi tekniği ile araştırılması* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 397321)
- Zhou Z., Ma Wei., Zhang S., Mu Y., Li G. (2018). *Effect Of Freeze-Thaw Cycles in Mechanical Behaviors Of Frozen Loess. Cold Regions Sciece And Technology, (146), 9-18.*
- Zaimoğlu A, Ş., Hattatoğlu F., Akbulut R, K. (2013). Yüke maruz ince daneli zeminlerin donma-çözülme davranışı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19* (3), 117-120.



ÖZ GEÇMİŞ

Gülseren GÜL..... tarihinde.....ilinde dünya gelmiştir. İlk ve orta öğrenimini Erzurum ilinde tamamlamıştır. Lise eğitimini 2016 yılında Ilica İMKB Ilica Yavuz Selim Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamlamıştır. 2020 yılında ise Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü tamamlamıştır.

