

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UV YÖNTEMİ İLE KURUTULMUŞ ATIK KAN KATKILI
KİREÇ ESASLI ENJEKSİYON VE HARÇ ÜRETİMİ

Yunus Emre TALAS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Malzemeleri Programı

Danışman

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Aralık, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UV YÖNTEMİ İLE KURUTULMUŞ ATIK KAN KATKILI
KİREÇ ESASLI ENJEKSİYON VE HARÇ ÜRETİMİ**

Yunus Emre TALAS tarafından hazırlanan tez çalışması 02.12.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemeleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nabi YÜZER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nabi YÜZER, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Didem OKTAY, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nilüfer ÖZYURT ZİHNİOĞLU, Üye
Boğaziçi Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Nabi YÜZER sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “UV Yöntemi ile Kurutulmuş Atık Kan Katkılı Kireç Esaslı Enjeksiyon ve Harç Üretimi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yunus Emre TALAS

İmza



Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FLY-2022-5180 numaralı projesi ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 2021M279 kodlu projesi ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başarılı bir şekilde tamamlanmasına büyük katkıları olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Nabi YÜZER'e içten ve derin minnettarlığımı sunarım.

Tezimin deneysel çalışmalarını, TÜBİTAK tarafından desteklenen 221M279 numaralı araştırma projeleri ile destekleyen TÜBİTAK'a ve Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen FYL-2022-5180 numaralı araştırma projesi ile destekleyen Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne,

Tezime değerli bilgi ve birikimleriyle katkı sağlayan hocalarım Araş. Gör. Burcu DİNÇ ŞENGÖNÜL ve Araş. Gör. Emine ÖZDOĞRU'ya, ayrıca laboratuvar teknisyenimiz Halil YAVAŞCI'ya,

Deneysel çalışmalarına yardımcı olan arkadaşım Elif Aslı ÇONGAR BIYIKOĞLU'na,

Çalışmalarımın her adımında desteğiyle yanımda olan sevgili annem Ayhan Songül TALAS'a, babam Hamza TALAS'a, abim Numan TALAS'a ve kıymetli ablalarım Ayşe Gül ve Kübra TALAS'a,

Bana olan güveni ve destekleriyle aydınlık yolumda bana rehberlik eden sevgili yol arkadaşım Süveybe Kübra ULUS'a derin şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her koşulda yanımda olan sevgili aile bireylerime ithaf edilmiştir.

Yunus Emre TALAS

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	3
2 TARİHİ YAPILARA GENEL BAKIŞ	4
2.1 Tarihi Yığılma Yapılarda Kullanılan Harçlar	4
2.1.1 Kireç Harçları	5
2.1.2 Horasan Harçları.....	10
2.1.3 Organik Katkılı Harçlar	11
2.2 Tarihi Yapıların Restorasyon ve Güçlendirilme Teknikleri	13
2.2.1 Enjeksiyon (Grouting) Tekniği.....	15
3 HARÇ MALZEMESİ İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
3.1 Kullanılan Malzemeler.....	19
3.1.1 Doğal Hidrolik Kireç (NHL 5).....	19
3.1.2 CEN Kumu	20
3.1.3 Organik Katkı Malzemesi.....	20
3.2 Harç Malzemesi Üretimi	21
3.3 Taze Harçta Yapılan Deneyler.....	25
3.3.1 Taze Haldeki Harç Kıvamının Yayılma Tablası Yöntemi ile Tespit Edilmesi	25
3.3.2 Priz Süresinin Araştırılması.....	25
3.4 Sertleşmiş Harçlarda Yapılan Deneyler	26
3.4.1 Birim Ağırlık	26

3.4.2	Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme	27
3.4.3	Kılcallık Deneyi.....	28
3.4.4	Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	30
3.4.5	Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi	31
3.4.6	Donma Çözülme Deneyi	31
3.4.7	Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	32
3.4.8	Temas Açısı Deneyi.....	32
4	ENJEKSİYON MALZEMESİ İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1	Kullanılan Malzemeler.....	33
4.2	Enjeksiyon Malzemesi Üretimi.....	34
4.3	Enjeksiyon Malzemelerinin Taze Haldeki Parametrelerinin İncelenmesi .	34
4.3.1	Taze Haldeki Enjeksiyon Malzemelerinin Akışkanlık Parametrelerinin İncelenmesi	35
4.3.2	Taze Haldeki Enjeksiyon Malzemelerinin Hacim Sabitliği Niteliğinin İncelenmesi	35
4.3.3	Taze Haldeki Enjeksiyon Malzemelerinin Penetrasyon Niteliğinin İncelenmesi	36
4.4	Sertleşmiş Enjeksiyon Malzemelerinde Yapılan Deneyler.....	37
4.4.1	Kılcallık Deneyi.....	37
4.4.2	Eğilme ve Basınç Deneyleri	38
4.4.3	Donma Çözülme Deneyleri	39
4.4.4	Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	39
5	KURUTULMUŞ ATIK KANIN KARAKTERİZASYONU İÇİN YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
5.1	Protein Analizi	40
5.1.1	Yakma Deneyi	40
5.1.2	Dislokasyon Deneyi.....	41
5.1.3	Titrasyon Deneyi	41
5.2	Su İçeriğinin Belirlenmesi	42
5.3	Kül İçeriğinin Belirlenmesi.....	42
5.4	Kanın Köpürme Özelliklerinin Belirlenmesi	43
6	DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	45
6.1	Taze Haldeki Harç Malzemesi Deney Sonuçları	45
6.1.1	Taze Harç Kıvamının Yayılma Tablası İle Belirlenmesi Deney Sonuçları.....	45
6.1.2	Priz Süresi Belirlenmesi Deney Sonuçları.....	46
6.2	Sertleşmiş Haldeki Harç Malzemesi Deney Sonuçları	46

6.2.1 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları	46
6.2.2 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyleri Sonuçları	48
6.2.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları.....	49
6.2.4 Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri Sonuçları	50
6.2.5 Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi Deneyi Sonuçları	52
6.2.6 Temas Açısı Deney Sonuçları	53
6.2.7 Donma Çözünme Deneyi Sonuçları	54
6.2.8 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları	56
6.3 Enjeksiyon Malzemelerinin Taze Hal Özelliklerinin Belirlenmesi	57
6.3.1 Taze Enjeksiyon Malzemeleri Akışkanlık Özellikleri Sonuçları	57
6.3.2 Taze Enjeksiyon Malzemeleri Hacim Sabitliği Özelliği Deney Sonuçları.....	58
6.4 Enjeksiyon Malzemelerinin Sertleşmiş Hal Özelliklerinin Belirlenmesi ..	59
6.4.1 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları.....	59
6.4.2 Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları	60
6.4.3 Donma Çözülme Deneyi Sonuçları	62
6.4.4 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	64
6.5 Kurutulmuş Atık Kanın Karakterizasyonu İçin Yapılan Deneyler.....	65
6.5.1 Protein Analizi Deney Sonuçları	65
6.5.2 Kül Analizi Deney Sonuçları.....	65
6.5.3 Su İçeriğinin Belirlenmesi Deney Sonuçları	65
7 SONUÇ	66
KAYNAKÇA	69
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	77

SİMGE LİSTESİ

T_{36}	36.saniye akış süresi
a_s	Ağırlıkça su emme oranı
A	Alanı
fb	Basınç dayanımı
mh	Doymuş deney numunesinin kütlesi
fe	Eğilme direnci
Q_i	Emilen su miktarı
h_o	Enjeksiyon malzemesinin ilk yüksekliği
b ve d	Enkesit kenar uzunlukları
h_s	Hacimce su emme oranı
w_0	İlk ağırlık
P	Kırılma yükü
k	Komposite
md	Kuru deney numunesinin kütlesi
m	Kuru numunenin ağırlığı
L	Mesnetlerin birbiriyle olan mesafesi
ρ_b	Numunenin birim hacim ağırlığı
V	Numunenin hacmi
w_i	Numunenin ölçüm yapıldığı saniyedeki ağırlığı
p	Porozite
ms	Su içerisine batırılmış deney numunesinin kütlesi
h_w	Terleme suyunun yüksekliği

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society for Testing and Materials
BE1	UV ile Kurutulmuş %1 Oranında Büyübaş Atık Kan katkılı Enjeksiyon Numunesi
BE1,5	UV ile Kurutulmuş %2 Oranında Büyübaş Atık Kan katkılı Enjeksiyon Numunesi
BE2	UV ile Kurutulmuş %3 Oranında Büyübaş Atık Kan katkılı Enjeksiyon Numunesi
BH1	UV ile Kurutulmuş %1 Oranında Büyükbaş Atık Kan Katkılı Harç Numunesi
BH3	UV ile Kurutulmuş %3 Oranında Büyükbaş Atık Kan Katkılı Harç Numunesi
CL	Calcium Lime
DL	Dolomitik Esaslı Hava Kireci
EN	European Standard
FL	Tasarlanmış Kireç
HL	Hidrolik Kireç
ICCROM	International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites
KH1	UV ile Kurutulmuş %1 Oranında Küçükbaş Atık Kan Katkılı Harç Numunesi
KH3	UV ile Kurutulmuş %3 Oranında Küçükbaş Atık Kan Katkılı Harç Numunesi
KK	Köpürme Kapasitesi
KS ₁₀	10. Dakikadaki Köpük Stabilitesi
KS ₃₀	30. Dakikadaki Köpük Stabilitesi
NHL	Doğal Özellikli Hidrolik Kireç
REF	Referans Numune
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 TS EN 459-1'e göre yapı kirecinin gruplandırılması	7
Şekil 2.2 Enjeksiyon uygulaması.....	15
Şekil 2.3 Enjeksiyon yönteminde izlenecek adımlar	16
Şekil 3.1 UV ışık altında atık sıvı kanın kurutulması.....	22
Şekil 3.2 UV ışık altında kurutulmuş atık kan.....	22
Şekil 3.3 Elekten geçirilen kurutulmuş atık kan malzemesi.....	23
Şekil 3.4 Üretimde kullanılan harç mikseri	24
Şekil 3.5 Taze haldeki harçların kalıplara dökülmesi.....	24
Şekil 3.6 Vicat aleti ile priz süresinin belirlenmesi işlemi	26
Şekil 3.7 Suya doymun haldeki numunelerin suda tartılmaları.....	27
Şekil 3.8 Islak bezde beklemekte olan numuneler	29
Şekil 3.9 Eğilme Direnci Testi	30
Şekil 4.1 Enjeksiyon malzemesi üretimi	34
Şekil 4.2 Akış konisi ve Marsh hunis	35
Şekil 4.3 Terleme kabındaki numune örnekleri.....	36
Şekil 4.4 Kum kolonu deney düzeneği.....	37
Şekil 4.5 Eğilme deneyi.....	38
Şekil 4.6 Basınç deneyi	39
Şekil 5.1 Numunelerin hazırlanışı	41
Şekil 5.2 Yakma sonucu numuneler	41
Şekil 5.3 Dislokasyon yapılan cihaz.....	41
Şekil 5.4 Titrasyon deney düzeneği.....	42
Şekil 5.5 Numunelerin tartımı ve kurutulması	42
Şekil 5.6 Kül sonucu numune ve desikatörde soğutma işlemi	43
Şekil 6.1 Priz Süreleri.....	46
Şekil 6.2 Birim ağırlık deneyi sonuçları	47
Şekil 6.3 Harç numunelerinin ağırlıkça su emme deneyi sonuçları	48
Şekil 6.4 Harç numunelerinin kılcal su emme deneyi sonuçları	49
Şekil 6.5 Harç numunelerinin eğilme deneyi sonuçları.....	51
Şekil 6.6 Harç numunelerinin basınç deneyi sonuçları	51

Şekil 6.7 7. gün karbonatlaşma derinliği	52
Şekil 6.8 21. gün karbonatlaşma derinliği	52
Şekil 6.9 28. gün karbonatlaşma derinliği	52
Şekil 6.10 Sertleşmiş kireç harçlarının 28. gün temas açısı görüntüleri.....	53
Şekil 6.11 Harç numunelerinin donma çözülme grafiği.....	56
Şekil 6.12 a) Donma çözülme öncesi b) Donma çözülme sonrası	56
Şekil 6.13 Harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları	57
Şekil 6.14 Enjeksiyon numunelerinin kılcal su emme deneyi sonuçları	60
Şekil 6.15 Enjeksiyon numunelerinin eğilme deneyi sonuçları	62
Şekil 6.16 Enjeksiyon numunelerinin basınç deneyi sonuçları	62
Şekil 6.17 Enjeksiyon numunelerinin donma çözülme grafiği.....	63
Şekil 6.18 a) Donma çözülme öncesi b) Donma çözülme sonrası	63
Şekil 6.19 Enjeksiyon numunelerinin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları	64

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Kireç harçlarının avantaj ve dezavantajları.....	6
Tablo 2.2	Kalsiyum kirecinin içindeki kimyasal maddelerin yoğunluğuna göre kategorilere ayrılması.....	8
Tablo 2.3	Dolomitik bazlı kirecin içindeki kimyasal maddelerin yoğunluğuna göre kategorilere ayrılması	8
Tablo 2.4	Hidrolik özellikli doğal kireç için gerekli kimyasal bileşenler ve basınç dayanıklılık değerleri	9
Tablo 2.5	Horasan ve kireç harçlarının fiziksel özellikleri.....	10
Tablo 2.6	Tarihi yapılarda kullanılan katkı maddeleri	11
Tablo 2.7	Tarihi yapılarda müdahale yöntemleri	14
Tablo 2.8	Kireç bazlı enjeksiyon malzemelerinin avantajları ve dezavantajları	18
Tablo 3.1	NHL 5'in fiziksel özellikleri	19
Tablo 3.2	NHL 5'in kimyasal bileşenleri	20
Tablo 3.3	CEN standart kumu granülometrisi	20
Tablo 3.4	Harç üretiminde tercih edilen malzeme oranları.....	21
Tablo 3.5	UV ile kurutulmuş büyükbaş ve küçükbaş atık hayvan kanı içeriği...	23
Tablo 3.6	UV ile kurutulmuş büyükbaş ve küçükbaş atık hayvanın köpüklenme değerleri	24
Tablo 3.7	Üretilen harçların muhafaza koşulları.....	25
Tablo 4.1	Enjeksiyon malzemesi üretiminde kullanılan malzeme oranları	33
Tablo 6.1	Üretilen harçların taze hal özellikleri.....	45
Tablo 6.2	Birim ağırlık deney sonuçları.....	47
Tablo 6.3	Ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri (%).....	48
Tablo 6.4	UV ile kurutulmuş harç numunelerinin kılcal su emme katsayıları ...	49
Tablo 6.5	Sertleşmiş harçlarda eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.....	50
Tablo 6.6	Harç numunelerinin temas açısı sonuçları	53
Tablo 6.7	Harç numunelerinin ultrases deney sonuçları	56
Tablo 6.8	Enjeksiyon malzemelerinin akışkanlık özellikleri deney sonuçları	58
Tablo 6.9	Enjeksiyon malzemeleri hacim sabitliği özelliği deney sonuçları	58
Tablo 6.10	Enjeksiyon malzemelerinin taze hal özelliklerine uygunluk kontrolü 59	
Tablo 6.11	Enjeksiyon numunelerinin kılcal su emme katsayıları	60

Tablo 6.12 Sertleşmiş enjeksiyon malzemesinde eğilme ve basınç dayanımı sonuçları	61
Tablo 6.13 Enjeksiyon numunelerinin ultrases deney sonuçları.....	64
Tablo 6.14 Protein analizi sonuçları.....	65
Tablo 6.15 Kül analizi deney sonuçları.....	65
Tablo 6.16 Su içerikleri analiz sonuçları.....	65



UV Yöntemi ile Kurutulmuş Atık Kan Katkılı Kireç Esaslı Enjeksiyon ve Harç Üretimi

Yunus Emre TALAS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Malzemeleri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Nabi YÜZER

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ve sürekli olarak yenilenen malzemelerin kullanımı, inovatif araştırma alanlarını genişletmektedir. Bu bağlamda, kurutulmuş hayvan kanından alınan numuneler ile yapılan öncü çalışmalar, tarihi yapıların onarım ve güçlendirme işlemlerinde potansiyel kullanım alanları sunmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerin, kurutulmuş hayvan kanlarının bir kısmını gıda sektöründe kullanırken geri kalanını atık olarak değerlendirdiği bilinmektedir. Ülkemizde ise kanın atık olarak kullanımının çok düşük miktarda olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın atık yönetimi politikaları kapsamında atık miktarını azaltma ve geri dönüşümü teşvik etme amacıyla gerçekleştirilecek olan bu çalışma büyük önem arz etmektedir. Halihazırda atık kan üzerine yapılan bazı araştırmalar bulunmasına rağmen, hazırlanma yöntemleri, uygulanma prensipleri ve performansları konusunda bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu bulgular neticesinde, yapılacak araştırmanın önemli faydalar sağlayacağı öngörülmektedir. TÜBİTAK desteği ile yürütülmüş, dayanıklılığı arttırılmış enjeksiyon malzemesinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, önce mevcut literatür hakkında bir derleme sunulmuş ve daha sonra bu alandaki bilgi boşlukları belirtilmiştir. Deneysel araştırma bölümünde, enjeksiyon malzemeleri için özgün yapı malzemelerine uygun olan büyükbaş atık hayvan kanından 3 farklı oranda malzeme üretilmiş ve çeşitli parametreler (akışkanlık, hacim sabitliği, penetrasyon) detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca, özgün malzemeye uygun olarak büyükbaş ve küçükbaş' tan alınan atık kan ile iki grup harç numunesi üretilmiş ve bu numunelerin taze hal özellikleri ve sertleşmiş hal özellikleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yapılan genel çalışmanın ana bulgusu, düşük mukavemet gibi olumsuz etkilerinin yanında kan ilavesinin harç ve enjeksiyon malzemelerinin su geçirmezlik özelliğini artırdığıdır. Bu çalışmanın, bir atığın değerlendirilmesine ve sürdürülebilir yapı malzemesinin kullanımına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık kan, enjeksiyon malzemesi, harç, kurutulmuş kan

ABSTRACT

Production of Lime-Based Grout and Mortar from Dried Waste Blood by UV Method

Yunus Emre TALAS

Department of Civil Engineering

Building Materials Program

Master's Program

Supervisor: Prof. Dr. Nabi YÜZER

The rapid advancement of technology and the continuous use of innovative materials are expanding the scope of research in diverse fields. In this context, pioneering studies involving samples taken from dried animal blood offer potential applications in the repair and strengthening of historical structures. It is known that in developed countries, some of the dried animal blood is used in the food sector while the rest is considered as waste. The use of blood as waste in our country is observed to be very low. Therefore, this study, aimed at reducing waste and promoting recycling in line with the waste management policies of the Ministry of Environment and Urbanization, holds great significance. Although some research has been conducted on waste blood, there is still a lack of sufficient information regarding preparation methods, application principles, and performances. Thus, it is anticipated that the upcoming research will yield significant benefits. The aim of this project, conducted with the support of TÜBİTAK, is to develop injection materials with enhanced durability.

In this study, an overview of the existing literature was initially presented followed by an identification of knowledge gaps in the field. In the experimental research section, three different types of materials suitable for injection materials for original structural materials were produced, and various key characteristics such as flowability, volumetric consistency, and permeation capacity were subjected to comprehensive analysis additionally, the original material produced two groups of mortar samples, categorized as large ruminant/small ruminant, and their fresh state properties and hardened state properties were extensively studied. The study's main finding is that, despite its negative effects such as low strength, the addition of blood enhances the water impermeability of concrete and injection materials. This study is believed to contribute to the valorization of waste material and sustainable construction materials.

Keywords: Dried blood, injection material, mortar, waste blood

1.1 Literatür

Tarihi yapılar, insanlık tarihinin derin izlerini taşıyan ve estetik değerlerle bezenmiş kıymetli miraslardır. Bu yapılar, kadim medeniyetlerin ve kültürlerin maddi ve manevi izlerini günümüze taşırlar. İnsanlık tarihindeki farklı dönemleri ve bu dönemlerin kendine has mimari üsluplarını, yaşam biçimlerini ve teknolojik gelişmelerini somut bir şekilde yansıtır. Aynı zamanda, geçmişin birikimlerini geleceğe taşıyarak, ulusal kimliklerin ve toplumsal hafızanın şekillenmesine katkıda bulunurlar. Bu nedenlerle, tarihi yapıların korunması, gelecek kuşaklara aktararak bilgi ve kültür sürekliliğinin sağlanması ve bu yapıların uzmanlıkla restore edilmesi, büyük bir sorumluluk ve önem taşır [1-2].

Tarihi yapılar, zaman içinde doğal afetler, malzeme yıpranması, vandalizm ve hatalı restorasyon gibi çeşitli faktörler sonucunda önemli hasarlara maruz kalabilir. Bu yapılar, fiziksel olarak korunmalarının yanı sıra onarılmak ve güçlendirilmek zorundadır. Bu süreçler, tarihi yapıların geleceğe taşınabilmesi için son derece detaylı ve dikkatli bir çalışma gerektirir. Bu doğrultuda, 20. yy'ın başlarında yayımlanan Carta Del Restauro, 1964 tarihinde yayımlanan Venedik Belgesi ve buna benzer çeşitli uluslararası düzenlemeler, bu çalışmaların nasıl yapılması gerektiğine dair önemli rehberler sunmaktadır. Bu düzenlemelerde vurgulanan en kritik noktalardan biri, yapının kimliğinin korunması ve onarımda özgün malzeme özelliklerine uygun malzemelerin kullanılmasıdır. Bu ilkeler, tarihi yapıların özgün değerlerini koruyarak gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlamak için hayati öneme sahiptir [3]. Venedik Tüzüğü'nün 10. maddesinde de belirtildiği gibi, eğer restorasyon sürecinde yeni teknikler ve malzemeler kullanılacaksa, bu malzemelerin, özgün malzemeyle uyum içinde olması gerektiği ve bilimsel olarak bu uyumun kanıtlanmış olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, tarihi

yapıları koruma amacıyla gerçekleştirilen restorasyon çalışmalarında, yapının özgünlüğüne sadık kalınarak, olabildiğince az müdahalede bulunulmalı ve en uygun metotlar kullanılmalıdır. Bu şekilde, tarihi yapılar, gelecek nesillere aslına uygun ve doğru bir şekilde aktarılabilir [4].

Birçok araştırma, tarihi yapılarda kullanılan harçların çeşitli organik katkı maddeleri içerdiğini göstermiştir. Bu organik maddeler arasında kan, yapışkan pirinç, şeker, proteinler ve yağ asit esterleri gibi çeşitli bileşenler bulunmaktadır. Bu tür maddelerin, harçların dayanıklılığını, esnekliğini ve yapışkanlığını artırmak amacıyla kullanıldığı belirlenmiştir. Bu katkı maddeleri, yapıların özgün kimyasal ve fiziksel özelliklerine katkıda bulunan unsurlardır ve restorasyon süreçlerinde bu bilgilerin dikkate alınması, yapıların aslına uygun şekilde onarılmasını sağlamada büyük önem taşır [5].

Changsui Wang ve diğer araştırmacılar, antik Çin mimarisinde kullanılan organik maddeleri tespit etmek için proteomik yöntemleri kullanmışlardır. Analiz sonuçlarında, antik Çin yapılarında buğday unu, sığır kanı ve domuz kanı gibi organik maddelerin kullanıldığı belirlenmiştir. Bu çalışma, domuz kanı ve sığır kanının kullanım amacının, yapıların dayanıklılığını artırmak olduğu varsayımını desteklemektedir [6].

Kun Zhang ve diğer araştırmacılar, 2018 yılında yaptıkları çalışmada, 19. yüzyıldan kalma bir İtalyan el kitabına dayanarak organik malzeme katkılı (kan) model harç üretimleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, organik malzemenin model harç numunelerinin kimyasal, mineralojik ve fiziksel özelliklerine nasıl etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda, organik madde kullanımının harçların kimyasal, mineralojik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Bu bulgular, harçların yapısal özelliklerini ve dayanıklılığını iyileştirmek için organik katkı maddelerinin önemini vurgulamaktadır [7].

Kun Zhang ve diğerlerinin çalışmasını destekler nitelikte yapılan başka bir araştırmada, kan katkısının kireç bazlı harçların karbonatlaşma süresini yavaşlatabileceği sonucuna varılmıştır [8].

Tarihi yapıların onarımında kullanılacak malzemenin özgünlüğü kadar, bu malzemelerin nasıl uygulandığı da hayati önem taşır. Bu doğrultuda, günümüz araştırmalarının ışığında en çok tercih edilen yöntemlerden biri enjeksiyon

yöntemidir. Enjeksiyon yöntemi, tarihi yapılardaki hasarlı bölümlerin, özgün form ve taşıyıcı sistemi korunarak onarılmasını sağlar. Bu işlemi yaparken, yapı içindeki boşluklar ve çatlaklar sıvı haldeki harçlarla doldurulur. Bu yöntem, yapının bütünlüğünü, dayanıklılığını ve strüktürel gücünü yeniden kazanmasına yardımcı olurken, hasarlı kısımlar da güçlendirilmiş ve tutarlılığı artırılmış olur. Boşlukların ve çatlakların doldurulması yoluyla yapının mukavemeti artırılarak, hasarlı bölgelere etkili müdahale sağlanır. Enjeksiyon yöntemi geri döndürülemez bir yöntem olması gibi bazı olumsuz etkiler taşısa da, yapı malzemelerine zarar vermeden yapısal sorunları çözebilmesi avantajıyla, tarihi yapıların korunması ve onarımı için etkili ve uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [9].

1.2 Tezin Amacı

Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme süreçlerinde kullanılan çeşitli onarım malzemeleri tarihsel olarak değişmiştir. Özellikle 19. yüzyılda çimento esaslı harçların popüler hale gelmesiyle, onarım ve güçlendirme işlemlerinde en çok tercih edilen malzeme haline gelmiştir. Ancak, yapılan araştırmalar çimento esaslı harç malzemelerinin tarihi yapılarda hasarlara yol açabileceğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, tarihi yapıların onarımı, güçlendirilmesi ve sürdürülebilirliği açısından, orijinal malzemelere uygun alternatiflerin seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak, bu tez çalışmasının amacı tarihi yapıların orijinal harç malzemelerine uygun hidrolik kireç esaslı organik katkı harçların üretilmesi ve bu harçlardan elde edilen enjeksiyon malzemelerinin geliştirilmesidir. Bu çalışma, tarihi yapıların uzun ömürlülüğü ve korunması hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada tarihi yapıları onarım ve sağlamlaştırmak amacıyla kullanılan kireç bazlı harç ve enjeksiyon malzemesine, UV lambaları ile kurutulmuş atık kan katkısının etkileri incelenmiştir. Önemli oranda protein içeren atık kan, kireç esaslı harç ve enjeksiyon malzemesine su geçirimsizlik özelliği kazandıracaktır. Böylelikle bir atığın yapı malzemesi olarak değerlendirilmesine katkı sağlanacaktır.

TARİHİ YAPILARA GENEL BAKIŞ

Tarihi yapılar, toplumların kültürel mirasını ve özelliklerini gelecek nesillere aktarmak için kritik öneme sahip unsurlardır. Tarihi binalar, özgünlükleri, taşıma sistemi ve malzemeleri ile kendi özelliklerine sahiptir ve bu değerlerle korunmalıdır. Zamanla çeşitli etkenler sonucunda tarihi yapılar zarar görebilir ve bozulabilir, bu da yapıların yapısını bozarak sürdürülebilirliklerini azaltabilir. Gelişen onarım ve yapı teknikleri ile birlikte, tarihi yapıların hasarlarını orijinal yapısına uygun bir şekilde ele alarak onarma, güçlendirme ve sürdürülebilirlik ilkeleri daha etkili hale gelmiştir. Bu çalışmanın bu bölümünde, tarihi yapıların kullanılan malzeme çeşitleri, hasar türleri ve onarım teknikleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır [10].

2.1 Tarihi Yığılma Yapılarda Kullanılan Harçlar

Harçlar, tarihi yapıların inşasında kullanılan esas malzemelerden biri olup, yapı elemanlarını bir arada tutma, yüzey düzenlemesi, dolgu ve koruma işlevlerini yerine getirir. Antik çağlardan itibaren, özellikle Romalılar tarafından çimento keşfine kadar, harçların temel bileşenleri bağlayıcılar ve agregalardan oluşmaktaydı. Bununla birlikte ilk harç malzemesi olarak kilin kullanıldığı bilinmekte olup, Antik Mısır, Mezopotamya ve Roma gibi medeniyetlerde kireç harçlarının uygulanmasının yaygın olduğu gözlemlenmektedir [11-12].

Harçlar, içerdikleri bileşenlere göre çeşitli kategorilere ayrılmaktadır; bunlar arasında çimento, kireç, alçı, horasan ve melez harçlar bulunur. Özellikle Romalılar döneminde kireç harcının kullanımı yaygınlaşmıştır. Romalılar genel olarak yapılar arasındaki boşlukları doldurmak için bu tür harçları tercih ettiği bilinmektedir. Çin mimarisinde harçların kullanımı ise kereste, toprak veya taşın yüzeyine boyama veya çizim yapılmadan önce döşenen katman olarak geçmektedir. Benzer şekilde Osmanlı mimarisinde de Horasan harcı olarak bilinen, diğer medeniyetlerde ise

Surkhi ve Homra olarak bilinen harç türleri kullanılmıştır. Bu çeşitlilik, harçların tarihsel ve kültürel önemini ve yapı malzemeleri teknolojisindeki evrimi vurgular [3-13-14-15].

Tarihi yapıların inşasında kullanılan çeşitli bu harçların ortak noktası; harçların temel işlevi, yapıyı bütünsel olarak işler hale getirmektir. Özellikle, çok katmanlı duvarlar gibi yapısal elemanlar hem yatay hem de dikey yükler altında ayrılma eğilimi gösteren zayıf yapılar olarak karşımıza çıkar. Bu elemanların daha kompakt kalmasını sağlamak ve işlevselliğini arttırmak seçilecek uygun harç ile mümkündür. Bu doğrultuda, tercih edilen harçlar yapısal zayıflıkları gidererek, yapının bütünlüğünü ve dayanıklılığını artırıcı bir rol oynar [3].

2.1.1 Kireç Harçları

Kireç, Paleolitik çağda yaşayan topluluklar tarafından kireçtaşı yakılarak elde edildiği düşünülse de bu dönemde kalsiyum karbonatın kalsiyum oksite dönüşümü için gerekli olan 900°C sıcaklığa erişilememesi nedeniyle uzun süreler boyunca yaygın kullanımı mümkün olmamıştır. Yapılan araştırmalar, düşük kalitedeki bu kireç malzemesinin genel olarak badana işlerinde ve bazı durumlarda beton bileşenleri arasında kullanıldığına dair kanıtlar sunmaktadır. Bununla birlikte 1960'larda Eski Yugoslavya'da Lepinski Vir bölgesinde yapılan kazılarda MÖ 6000 yılına tarihlenen bir zeminde kireç kullanıldığının açık kanıtları bulunmuştur. Benzer şekilde, İsrail'in Yiftah-El ve Ürdün'ün Eriha şehirlerinde gerçekleştirilen arkeolojik kazılarda Neolitik döneme ait, yüksek dayanıklılığa sahip, parlak ve sıkı sıkışa döşenmiş taban harçları üzerinde yapılan mineralojik analizler, bu harçların kireç, puzolanik toprak, pişmiş kil, kum ve çakıl içerdiğini göstermiştir. Ayrıca, Çin Seddi ve Mısır piramitlerinin inşasında da kireç kullanıldığı tespit edilmiştir. Kireç harçlarının suya karşı dayanıksız olması insanları bu bağlayıcı üzerinde yeni arayışlar aramaya yönlendirmiştir. Nitekim bu arayışların ardından başta Roma ve Bizans'ta üretilen harçlara çeşitli puzolan malzemeleri eklenmiş ve bunun sonucunda Ca (OH)₂ 'in suda çözülmesi kısmen engellenmiştir [13].

Kirecin çeşitli kullanım avantajları, geleneksel olarak harç ve sıvalarda bağlayıcı madde olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır ve 19.yy'da çimento keşfine kadar yaygın olarak kullanılmıştır. Son dönemlerde yapılan çalışmalarda çimento esaslı harçların kullanımıyla beraber tarihi yapılarda oluşan hasarların daha da

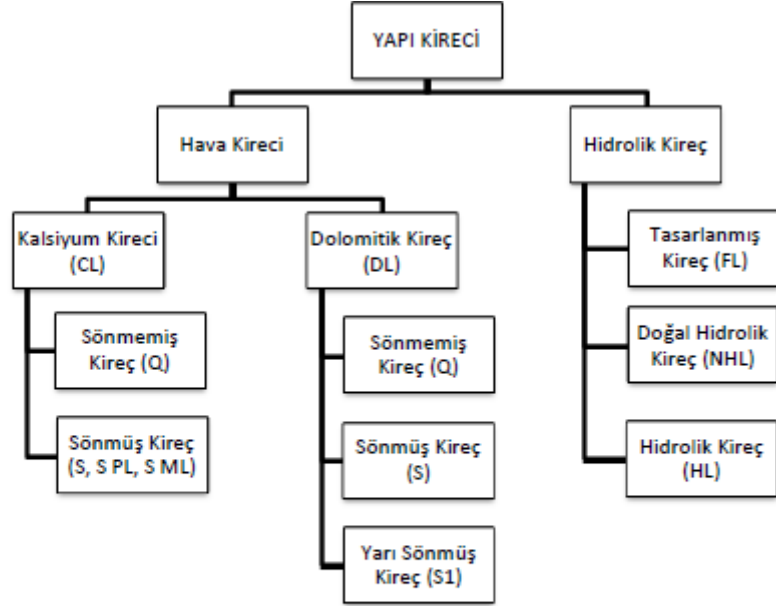
derinleştigi ve yapının orijinaline zarar verdiği belirlenmiştir. Bu durum tarihi yapıların onarımı ve güçlenilebilirliği açısından tekrardan kireç harçlarına yönelimi doğurmuştur [16-17-18]. Bu sebeple, kireç harcının geleneksel malzemelerle kullanılması önerilir; çünkü yapılan modern araştırmalar ve geçmiş deneyimler, kireç harcının eski binalarla uyumlu olduğunu, yeterli dayanıklılık sergilediğini ve modern malzemelerden daha etkili olduğunu göstermiştir.

Kireç harçlarının yapı üzerinde bazı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bu avantaj ve dezavantajlar Tablo 2.1’de sunulmuştur [17-19].

Tablo 2.1 Kireç harçlarının avantaj ve dezavantajları [17-19]

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Yapı elemanlarını bir arada tutarak, yapının bütünlüğünü sağlayarak tek parça gibi çalışmasına imkân tanır.	Kireç harçları genellikle su ile temas ettiğinde sertleşir ancak suya maruz kaldığında dayanıklılığı oldukça düşüktür.
Çevresel etkilere karşı yapı elemanlarını koruyarak yapıya dayanıklılık kazandırır.	Modern çimento harçlarına kıyasla düşük dayanım sağlar.
Doğal bir malzeme olması sebebiyle çevre dostu bir yapı malzemesidir ve çevreye minimal zarar verir.	Nem, yağmur ve rutubet gibi etkenler nedeniyle kireç harçlarında bozulmalar meydana gelebilir.
Orijinal yapının korunmasına uygun müdahaleler sağlar.	
Çimento harçlarıyla yapılan onarımlarda görülen tuzlanma sorunu, kireç harçları kullanıldığında ortaya çıkmaz.	
Bağlayıcı maliyeti olarak çimento ile kıyaslandığında onarım maliyetini düşürür.	
Dona karşı dirençleri yüksektir.	

Kireç, TS EN 459-1 standardına göre sınıflandırıldığında, genellikle iki ana kategoriye ayrılır: hava kireci ve su (hidrolik) kireci Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu sınıflandırma, kirecin kimyasal bileşimi ve çevresel koşullarla etkileşime girmesiyle ilgili özelliklerini temel alır.



Q : Kuru toz veya topak halinde sönmemiş kireç
 S : Kuru toz hâlinde sönmüş kireç
 S1 : Kuru toz hâlinde yarı sönmüş kireç
 S PL : Kaymak kireç
 S ML : Kireç sütü

Şekil 2.1 TS EN 459-1’e göre yapı kirecinin gruplandırılması [21]

2.1.1.1 Hava Kireci

Antik çağlardan ve Roma İmparatorluğu döneminden bu yana, özellikle volkanik alanlarda bulunan puzolanik harçlarla birleştirilerek kullanılan hava kireci, inşaat teknikleri ve yapıların inşası üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Havada veya suda herhangi bir bağlayıcı maddeye ihtiyaç duymadan katılaşabilen hava kireci, kireç taşının yaklaşık 900°C’de işlenmesi sonucu elde edilir ve bu süreçte doğal, güçlü bir yapıştırıcı malzeme ortaya çıkar. Su ile etkileşime girdiğinde kalsiyum hidroksit (Ca (OH)_2) haline gelir. Beyaz renkli toz formdaki hava kireci atmosferdeki karbondioksit (CO_2) ile tepkimeye girerek kalsiyum karbonat (CaCO_3) üretir; bu kimyasal dönüşüm, harcın katılaşmasını mümkün kılar. Hava kirecinin yararları arasında, üstün yapıştırma kapasitesi, çabuk katılaşma özelliği, yüksek dayanıklılık ve yangın direnci bulunur. Ayrıca, hacmini genişleterek yapı malzemelerini

birleştirir ve evre dostu bir alternatif olarak değerlendirilir. Buna karşın, su ve basınca karşı gösterdiği zayıf direnç yapı malzemelerindeki tercih edilebilirliğini düşürmektedir [13-20-37-38].

Hava kireci, içeriğindeki kalsiyum oksit (CaO) ve magnezyum oksit (MgO) oranlarına göre sınıflandırılarak iki ana kategoriye ayrılır: kalsiyum kireci ve dolomitik kireç. Kireç türünün seçimi, projenin gereksinimlerine ve istenen sonuçlara bağlı olarak yapılır [21].

Tablo 2.2 Kalsiyum kirecinin içindeki kimyasal maddelerin yoğunluğuna göre kategorilere ayrılması [21]

CL kireci tipleri	Yüzdesel kütle değerleri				
	CaO+ MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Serbest Kireç
CL90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	≥ 80
CL80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	≥ 65
CL70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	≥ 55

Tablo 2.3 Dolomitik bazlı kirecin içindeki kimyasal maddelerin yoğunluğuna göre kategorilere ayrılması [21]

Dolomitik kirecin tipi	Yüzdesel kütle değerleri			
	CaO+ MgO	MgO	CO ₂	SO ₃
DL 90-30	≥ 90	≥ 30	≤ 6	≤ 2
DL 90-5	≥ 90	> 5	≤ 6	≤ 2
DL 85-30	≥ 85	≥ 30	≤ 9	≤ 2
DL 80-5	≥ 80	> 5	≤ 9	≤ 2

2.1.1.2 Hidrolik Kireç

Hidrolik kireç, marnlı kireç taşlarının sinterleşme sıcaklığının altında kalsine edilmesini müteakip su, buhar veya öğütme teknikleriyle toz haline getirilmektedir. Bu malzeme, su veya hava ile temas ettikten belirli bir süre sonra hidratlanarak veya karbondioksit absorbe ederek sertleşir. Hidrolik kireç, içerdiği hidrolik bağlayıcı bileşenler nedeniyle hem havada hem de suda sertleşme yeteneğine sahiptir ve bu nedenle "su kireci" olarak adlandırılmaktadır [22-23].

Hidrolik kireçler, yapıların mekanik dayanımını artırarak suya karşı direnç kazandırır ve su kaynaklı bozulmaların önüne geçer. Dolayısıyla, günümüzde özellikle tarihi yapıların restorasyonunda yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. TS-EN 491-1 standardına göre hidrolik kireçler; doğal özellikli hidrolik bazlı kireç (NHL), sentetik kireç (FL) ve hidrolik kireç (HL) olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır [23].

Doğal hidrolik kireç (NHL), hem hidrolik hem de hava sertleşme özelliklerine sahip olup, antik binaların restorasyonunda portland çimentosu ve geleneksel hava ile sertleşen kireçten üstün performans sergileyen bir inorganik yapı malzemesidir. TS EN 459-1 standardına göre "doğal hidrolik kireç" olarak tanımlanan NHL 3.5 tipi hidrolik özellikli kireçtir. Bu çalışmada, tarihi yapılar için uygun özgün malzeme seçimi amacıyla NHL5 tipi doğal özellikli hidrolik bazlı kireç tercih edilmiştir. Doğal hidrolik kirecin kimyasal bileşenleri ve basınç dayanımları gibi karakteristik özellikleri, TS EN 459-1 standardında belirtilen kriterlere uygun olarak belirtilmektedir. Tablo 2.4'te, TS EN 459-1 standardı uyarınca doğal hidrolik özellikli kirecin belirleyici özellikleri olan kimyasal gereksinimler ve basınç dayanım değerleri sunulmuştur [24].

Tablo 2.4 Hidrolik özellikli doğal kireç için gerekli kimyasal bileşenler ve basınç dayanıklılık değerleri [21]

Hidrolik özellikli doğal kireç	Serbest kireç oranı (Kütlece) (%)	Basınç Mukavemeti (MPa)	
		7. gün	28. gün
NHL	≥ 35	-	≥ 2 ila ≤ 7
NHL 3,5	≥ 25	-	$\geq 3,5$ ila ≤ 10
NHL 5	≥ 15	≥ 2	≥ 5 ila ≤ 15

2.1.2 Horasan Harçları

Horasan harcı, tarihi eserlerin restorasyonunda sıklıkla kullanılan bir malzemedir. Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Tuğla, kiremit ve benzeri malzemelerin kireçle karıştırılması sonucunda elde edilen kompozit malzemedir. Ülkemizde bu karışımlar "horasan harcı" ve "horasan sıvası" olarak anılırken farklı medeniyetlerde Surkhi, Homra ve Cocciopesto adlarıyla anılmıştır. Bu harçlar, bağlayıcı ve taşıyıcı özelliklere sahiptir. Horasan harcının dayanımı, kullanılan kirecin kalitesine ve tuğla tozunun inceliğine bağlıdır; ince agregalar ve saman gibi katkı maddeleri ile harcın dayanımı artırılabilir. Horasan harcının üretiminde doğal özellikli hidrolik bazlı kireç, standart kum ve tuğla kırığı tercih edilmektedir. Ancak horasan harcı, oldukça yavaş sertleşen bir malzeme olup dayanım kazanması uzun zaman alır ve bu sebeple sertleşme sürecini hızlandırmak ve mukavemet kazanımını artırmak amacıyla birçok katkı maddesi kullanılabilir. Bu katkı malzemeleri harcın yapıldığı medeniyetlerde yerel malzeme çeşitlerine göre değişkenlik göstermiş olup birçok katkı maddesinin kullanımı mevcuttur. Örneğin yumurta akı, harcın iç yapısında boşluklar oluşturması sayesinde hacimce genişmesine neden olur. Bu boşluklu yapı, harcın birim hacim ağırlığını azaltmaktadır. Horasan harçları aynı zamanda içerdikleri doğal hidrolik kireç ve tuğla kırığı gibi malzemelerin suya karşı dayanıklı olmasından ötürü su yapılarında çokça tercih edilmiş ve normal harçlara kıyasla yüksek dayanımlar vermiştir [25-26].

Tablo 2.5'te tarihi yapılarda kullanılan harçların fiziksel özellikleri özet halinde verilmiştir [27].

Tablo 2.5 Horasan ve kireç harçlarının fiziksel özellikleri [27]

Harç Tipi	Basınç Mukavemeti (MPa)	Kayma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Horasan Harcı	6-8	0,1-4	0,1-1
Kireç Harcı	1-2	0,1-1	0,1-0,5

2.1.3 Organik Katkılı Harçlar

Tarihte birçok medeniyetin yapılarında harç kullanımına rastlanılmaktadır. Bu kullanılan harçların genel olarak taze ve sertleşmiş özellikleri yapıdan yapıya göre dayanım olarak yeterli ya da yetersiz olmuştur. Böyle durumlarda harçlara çeşitli katkı maddeleri eklenmiştir ve bu deneme yanılma yoluyla gerçekleştirilmiştir. Harçlarda kullanılan katkı maddeleri genel olarak organik ve inorganik maddelerdir. Bu katkı maddelerinin harçlarda kullanılma sebebi harçların taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini iyileştirerek daha dayanıklı malzeme elde etmektir. Kullanılan katkı maddeleri ve kullanım amaçları Tablo 2.6'da verilmiştir [17].

Tablo 2.6 Tarihi yapılarda kullanılan katkı maddeleri [17]

Organik Bileşenler	Harca Etkileri
Yumurta beyazı, kan, lor, şeker, domuz yağı, kazein, nişasta	Priz hızlandırıcı
Yumurta beyazı, kan, şeker, meyve suyu, gluten, pekmez	Priz geciktirici
Süt, yumurta beyazı, yağ, şeker, reçine, gübre, nişasta	Plastikleştirici
Süt, yumurta beyazı, kazein, peynir, kan, şeker, pekmez, yağ, meyve suyu, çavdar hamuru, pirinç nişastası, gluten	Mukavemet
Hayvan kılı, saman, deniz yosunu, karaağaç kabuğu, lifli bitkiler, pamuk, pirinç, arpa	Destekleyici

Avrupa medeniyetlerinden farklı olarak, Antik Çin'den günümüze ulaşan tarihi yapılar incelendiğinde, Antik Çin ahşap binalarında kullanılan harçlarda tuğla külü, kireç, lif, un, kan ve tung yağı gibi oldukça karmaşık inorganik ve organik bileşenlerden oluşan bir sistemin varlığı karşımıza çıkmaktadır. Bunlar arasında tuğla külü ve kireç, doldurma malzemeleri olarak kullanılmış, lif germe malzemesi olarak kullanılmış, un, kan ve tung yağı ise bağlayıcı malzemeler olarak kullanılmıştır. İncelenen literatür kaynakları doğrultusunda, harçlarda kullanılan kanın, yapıların anti-çürüme özelliklerini ve dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir [15].

2.1.3.1 Kan Katkılı Harçlar

19.yy'da Portland çimentosunun ortaya çıkışıyla birlikte Portland çimentosunun kullanımı yaygınlaşmıştır ancak ilerleyen süreçlerde Portland çimentosunun tarihi yapılardaki onarım için kullanılması tarihi yapılara olumsuz etki ettiği gözlemlenmiştir. Düşük gözenekliliği, yüksek dayanımı ve kalıntıların orijinal malzemesiyle uyumsuzluğu ve ayrıca çözünür tuzları da bünyesinde barındırıyor olması sebebiyle tarihi yapılarda kullanımının uygun olmadığı görülmüştür. Portland çimentosunun tarihi yapılardaki dezavantajlar göz önüne alındığında ICOMOS veya ICCROM gibi uluslararası merkezler, restorasyon çalışmaları için kompozisyon ve özellik bakımından orijinallerine benzer malzemelerin kullanılmasını önermektedir ve bu ilkeler altında tarihi yapılar için onarım, güçlendirme ve sürekliliği sağlayabilmek için tarihi yapılarda kullanılan harçlar ve içeriğindeki katkı malzemelerinin detaylı incelenmesi önem arz etmektedir [18-28-29].

Tarihi yapılarda kullanılan harçlar ve kullanılan katkı maddeleri incelendiğinde kan kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Kullanım amaçlarına göre birçok işlev için kan kullanımı tercih edilmiştir. Bu işlevler arasında; dayanıklılığı arttırmak, sertleşme süresini kısaltmak ve geçirimsizliği azaltmak gibi birçok faktör karşımıza çıkmaktadır [30].

Antik Çin yapıları üzerinde gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda, harçlarda kanın yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu bulguyu destekler nitelikte olarak, birçok yapıda domuz kanı kullanımına rastlanmış ve domuz kanının harç üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, domuz kanının yapının mekanik dayanıklılığını ve çevresel direncini artırabileceği ve bu özellikleriyle eski yapıların restorasyonunda ve korunmasında etkili bir malzeme olabileceği vurgulanmıştır [28].

Harçlarda olduğu gibi kan beton içerisinde de kullanılmış ve betonun bazı parametreleri üzerinde olumlu sonuçlar doğurmuştur. Öküz kanının beton içerisindeki etkisini araştıran bir çalışmada kan belli oranlarda betona ilave edilmiş ve daha sonrasında taze ve sertleşmiş hal özellikleri incelenmiştir. İncelenen sonuçlar; eklenen kan yüzdesinin artmasıyla betonun dayanımının düştüğü ancak öküz kanının miktarının artması betonun taze haldeki kılcal su emiliminde azalma

olduğunu ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra öküz kanı eklenmesi sonucunda beton içerisindeki kanın klorürü ittiği bir nevi bariyer görevi gördüğü yapılan çalışmada görülmüştür [31].

Portland çimentosunun tarihi yapılar üzerindeki olumsuz etkilerinin belirlenmesi sonucunda, tarihi yapıların onarımı, güçlendirilmesi ve sürdürülebilirliği için doğal malzemelere yönelim artmıştır. Kanın kullanımı üzerine yapılan araştırmalar zamanla çoğalsa da literatürde henüz yeterli kadar çalışma mevcut değildir. Bu kapsamda çalışmanın deneysel bölümünde atık hayvan kanının kireç bazlı harçlarda enjeksiyon malzemesi olarak kullanılması ve harçlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2.2 Tarihi Yapıların Restorasyon ve Güçlendirilme Teknikleri

Tarihi yapılarda kullanılan tuğla, taş, sıva ve harç gibi materyaller, genellikle yüksek basınç direncine sahip olmalarına rağmen çekme dayanımları açısından sınırlı bir performansa sahip olabilirler. Bu durum, yapıların taşıyıcı sistemlerinde değişikliklere veya dış etkenlerden kaynaklanan hasarlara zemin hazırlayabilir. Bu tür hasarları en aza indirmek ve yapıların dayanıklılığını artırmak için çeşitli onarım yöntemleri uygulanabilir. Ancak, bu yöntemlerin uygulanmasından önce, yapının kapsamlı şekilde incelenerek kimliğinin, yapıda kullanılan malzemelerin, zaman içerisindeki yapının çevresinde meydana gelen durumların incelenmesi ve yapılarda meydana gelen hasarların doğru bir şekilde tespit edilmesi esastır [32-33-41].

Tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesi konusunda, Türkiye ICOMOS Mimari Mirası Koruma Bildirgesi; koruma, sağlamlaştırma, bütünleme, yapısal iyileştirme ve güçlendirme gibi tekniklerin kullanılmasını önerilmektedir [34-42]. Bu yöntemler Tablo 2.7’de detaylı açıklanmıştır.

Tablo 2.7 Tarihi yapılarda müdahale yöntemleri [3-4-35-36-40-42-43]

Güçlendirme	Strüktürel güçlendirme, bir yapının güvenliğini artırmak için yapılan müdahaleleri içerir. Bu çalışmalar, yapıdaki özgün özellikleri korur ve güvenlik seviyesini yükseltir. Amacı, yapıya daha güçlü bir dayanım ve destek sağlamaktır.
Sağlamlaştırma	Sağlamlaştırma, kültürel mirasa sahip yapıların bozulma sürecini durdurmayı hedefler. Yapı parçalarının dayanıklılığını artırarak mevcut özelliklerini korur. Yapı malzemeleri, taşıyıcı sistemler ve temelleri güçlendirerek yapının bütünlüğünü korur. Bu sayede kültürel mirasın dayanıklılığını artırır.
Yapısal İyileştirme	Yapısal iyileştirme, tarihi yapıların güvenliğini artırmak için yapıların güçlendirilmesini kapsar. Orijinal güvenlik standartlarına geri dönme amacı taşır. Yapı bileşenlerinin güçlendirilmesiyle özgünlüğü korur ve güvenlik seviyesini optimize eder. Taşıyıcı sistem veya bileşenler müdahale gerektirebilir, ancak özgünlük her zaman önceliklidir.
Bütünleme	Tarihi yapıların yapısal iyileştirme ve bütünleme süreçleri, yapıların güvenliğini sağlamak için yapılan müdahaleleri içerir. Bütünleme, hasar görmüş veya eksik bölümlerin tamamlanmasını kapsar. Orijinalliği korunur ve değer katılır. Kısmi hasar görmüş veya eksik bileşenler restore edilir.
Koruma	Yapı malzeme güçlendirme, tarihi ve kültürel yapıların gelecek nesillere aktarımında yapısal dayanıklılığı ve çevresel sürdürülebilirliği hedefleyen bir onarım yöntemidir. Malzemelerin güçlendirilmesi çevre dostu ve uzun ömürlü bir yaklaşımı destekler, geçmişi korurken geleceğe katkıda bulunur.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi, aynı zamanda özenli ve hassas bir işçilik gerektirmektedir. Seçilen restorasyon yöntemi, tarihi yapıların minimal düzeyde zarar görmesini sağlayacak şekilde özenle seçilmelidir. Yapılan

araştırmalar ve gözlemler, tarihi yapı onarımlarında sıkça kullanılan enjeksiyon yöntemine dikkat çekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında enjeksiyon yöntemi kullanılmıştır.

2.2.1 Enjeksiyon (Grouting) Tekniği

Tarihi yapıların restorasyonunda kritik bir rol oynayan enjeksiyon yöntemi, yapı elemanlarının konsolidasyonu ve korunması açısından önemli bir işleve sahiptir. Yatay ve düşey yüklerin etkisi altında tarihi yığma yapılar, içerisinde bulunan zayıf malzemeler ve bağlantılar nedeniyle duvarlarının ayrılma eğilimindedir. Bu tip durumlarda en etkili yöntemlerden biri enjeksiyon yöntemi olduğu düşünülmektedir. Bu yöntem, zamanla oluşan çatlaklar, boşluklar ve deformasyonlar gibi yapısal sorunları etkili bir biçimde çözerek yapı elemanlarını güçlendirir ve dayanıklılığını artırır [3-46].

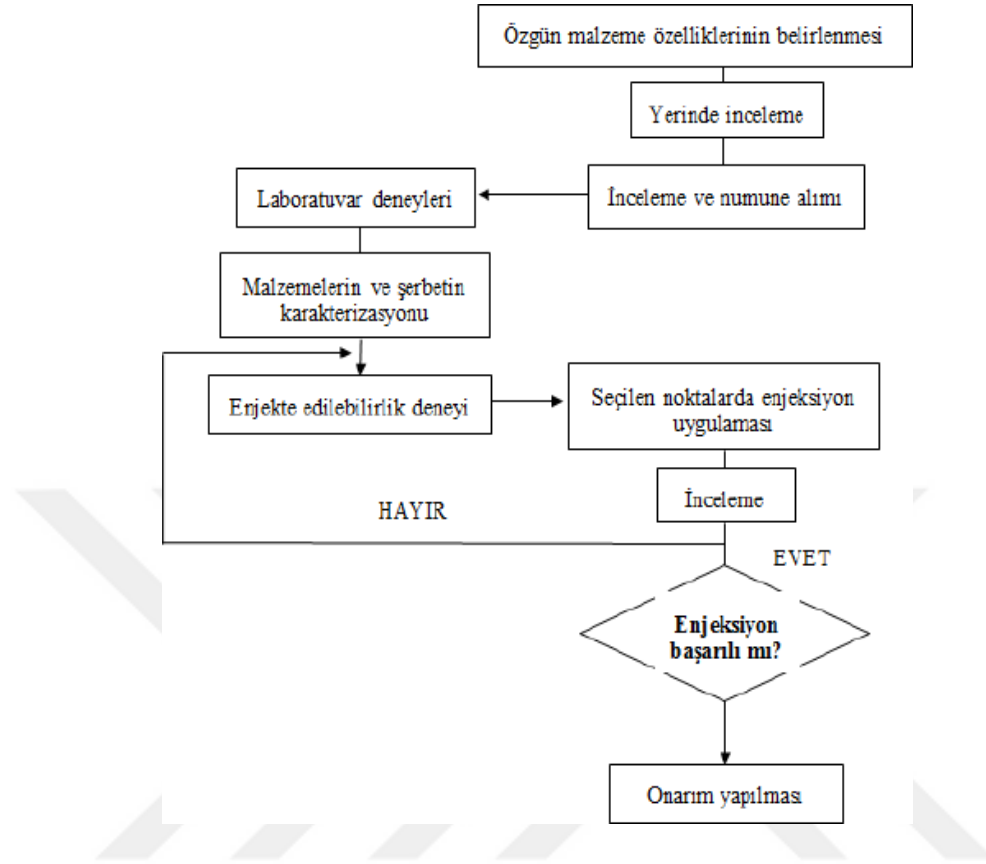
Enjeksiyon yöntemi, yapı elemanlarına uygun malzemelerin enjekte edilmesi suretiyle yapıların iç kısımlarını doldurarak yapı elemanlarını birbirine bağlar, iç ve dış yapraklar arasında bağlantı kurar ve böylelikle yapının güçlenmesine yardımcı olur. Bu sayede, tarihi yapıların orijinal özelliklerinin korunmasına ve uzun ömürlü bir koruma sağlanmasına katkıda bulunur [47-48].



Şekil 2.2 Enjeksiyon uygulaması [3]

Enjeksiyon yöntemi tipik olarak geri dönüşümsüz bir karaktere sahiptir. Bu yöntemde özel bir malzeme yapı elemanlarına basınç altında enjekte edilir; bu işlem çatlakları doldurabilir, sızıntıları önleyebilir veya yapıya güçlendirme sağlayabilir. Ancak, enjekte edilen malzeme yapı elemanlarına nüfuz ederek yapısal değişikliklere sebep olabilir ve bu nedenle geri dönüşümsüz sonuçlar doğurabilir

[49]. Bu sebeple iyi bir enjeksiyon yöntemi uygulanması için uyulması gereken adımlar Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Enjeksiyon yönteminde izlenecek adımlar [39-52]

Uygulanabilir enjeksiyon yöntemi; doğru grout bileşimine sahip olmak ve reolojik özellikleri optimize etmekten geçmektedir [54]. Enjeksiyon bağlayıcısı seçimi kadar enjeksiyon yöntemi uygulanırken uygulanması gereken adımlarda çok önem arz etmektedir [3].

Tarihi yapılar için kullanılan enjeksiyon bağlayıcıları genel olarak 2'ye ayrılmaktadır ve inorganikler modern çimentoları ile kireç tiplerini ve katkı harçları kapsarken organik olanlar polimerlerden oluşmaktadır [53].

Organik bağlayıcılar, düşük viskoziteye ve yüksek yapışma özelliklerine sahip olmaları nedeniyle enjeksiyon yöntemi için ideal sıvı bağlayıcılardır. Ancak, fiziksel özelliklerinin geleneksel yapı malzemelerinden farklı olması ve maliyet açısından ekonomik olmamaları organik bağlayıcıların dezavantajları arasındadır [44-55].

Modern çimento gibi inorganik bağlayıcıların tarihi yapıların enjeksiyon yöntemleriyle restore edilmesinde tercih edilmesi, yapının orijinal yapısına ve dayanıklılığına uyum sağlamadığı için yapıya zarar verebileceği bilinmektedir. Modern çimentoların gözeneksiz yapısı, yapının nefes almasını engelleyerek zamanla çatlama ve yarıklara neden olabilir. Bu nedenle, tarihi yapıların korunması ve restore edilmesinde modern çimentoların kullanımı, hava/hidrolik kireç veya puzolanlar gibi malzemelerle belirli oranlarda karıştırılarak yapılmalıdır [12].

Enjeksiyon yönteminde hava kireci esaslı bağlayıcı kullanılarak elde edilen malzemelerin sertleşme sürecinin uzun olması, uygulamada zaman ve iş gücü kaybına neden olabilir. Çünkü kalın kireç tabakasının karbonatlaşması, CO₂'nin tabaka boyunca yavaş difüzyonu sebebiyle uzun bir süre gerektirmektedir. Bu durum, uygulama sürecinin verimliliğini azaltabilir. Dolayısıyla daha hızlı ve etkili sertleşme sağlayan enjeksiyon malzemeleri tercih edilerek uygulama sürecinin daha etkili ve ekonomik hale getirilmesi gerekmektedir [3].

Doğal hidrolik kireç grout, tarihi yapıların orijinal malzemeleriyle uyumlu olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu malzeme, tarihi yapılardaki iç çekirdeklerin fiziksel, mekanik ve kimyasal bileşimiyle daha uyumlu bir ilişki içermektedir. Ayrıca, doğal hidrolik kireç grout, yüksek çimento içeriğine sahip groutlara göre daha uygun mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmasıyla dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra, doğal hidrolik kireç, eski yapı malzemelerine daha yakın kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olduğundan tarihi yapıların rehabilitasyonunda sıkça kullanılmaktadır [3-55-56-57-58-59].

Bu tez kapsamında gerçekleşen deneysel çalışmalarda bağlayıcı malzeme olarak doğal hidrolik kireç olan NHL 5 kullanılmış; daha önce yapılmış olan güneşte kurutulmuş [60] ve santrifüj yöntemi ile kurutulmuş [61] kan unu ile ilgili çalışmalardan farklı olarak UV ile kurutulmuş atık hayvan kanının kireç esaslı harç ve enjeksiyon malzemesine etkileri deneysel çalışmalar ile araştırılmıştır.

Tablo 2.8 Kireç bazlı enjeksiyon malzemelerinin avantajları ve dezavantajları [55]

Avantajları	Dezavantajları
Kireç, doğal bir malzemedir ve çevreye zarar vermeden üretilebilir.	Kireç bazlı harçlar, çimento bazlı harçlara göre daha yavaş sertleşebilir, bu da uygulama süresini uzatabilir.
Kireç bazlı harçlar, su buharını geçirgen hale getirerek yapıların nefes almasını sağlar ve nem dengesini korur.	Bazı durumlarda, kireç bazlı harçlar çimento bazlı harçlara göre daha düşük mukavemete sahip olabilir.
Kireç bazlı harçlar, yapıların hareketlerine uyum sağlayabilir ve çatlak oluşumunu engelleyebilir.	Kireç bazlı harçların uygulanması ve karıştırılması belirli beceri ve dikkat gerektirebilir.
Hidrolik kireç bazlı harçlar, su ile reaksiyona girerek hidrasyon süreciyle sertleşir ve yapıyı güçlendirir.	Kireç bazlı harçlar, suya karşı hassas olabilir ve aşırı nem veya suya maruz kalmaları durumunda zarar görebilir.

3

HARÇ MALZEMESİ İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Her tarihi yapının harcı farklı özelliklere ve bileşenlere sahip olduğundan, her yapının restorasyonunda spesifik bir harç kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, yapıda ve laboratuvarda yapılan fiziksel ve kimyasal deneylerle yapıya özgü harç özellikleri belirlenmeli ve restorasyon çalışması öncesinde harç üretilip uygulanmalıdır. Yapıya yapılacak müdahaleler, örneğin yıkılmış bölümün onarımı veya zayıflamış kısımların restore edilmesi durumunda, orijinale en uygun malzemelerin kullanılması önemlidir. Aksi halde uyumsuzluklar yapıya zarar verebilir [62].

3.1 Kullanılan Malzemeler

Harç üretimi için doğal hidrolik kireç olan NHL5, CEN kumu, su ve kimyasal katkı maddesi olarak UV ile kurutulmuş büyükbaş ve küçükbaş atık hayvan kan katkıları kullanılmıştır.

3.1.1 Doğal Hidrolik Kireç (NHL 5)

Tarihi yapıların orijinal malzemeleriyle uyum sağlayabilmesi, yeterli mukavemet göstermesi, çevre dostu olması ve geri dönüştürülebilir olması gibi sebeplerle doğal hidrolik kireç, bağlayıcı madde olarak tercih edilmektedir. Doğal hidrolik kireç ile ilgili fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de yer almaktadır.

Tablo 3.1 NHL 5'in fiziksel özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Asıl Yüzey Alanı (m ² /gr) (Blaine)	Tane Büyüklüğü Dağılımı (µm)	
			d50	d90
NHL 5	2,74	0,66	48,14	119,27

Tablo 3.2 NHL 5'in kimyasal bileşenleri

Bileşenler (%)	NHL 5
CaO	54,9
SiO ₂	9,3
Al ₂ O ₃	2,6
MgO	2,4
Fe ₂ O ₃	1,6
K ₂ O	0,8
TiO ₂	0,2
Na ₂ O	0,1
P ₂ O ₅	<0,1
MnO	<0,1
Cl	-
Kızdırma Kaybı	1,5

3.1.2 CEN Kumu

Üretimlerde kullanılan CEN standart kumu (Şekil 3.1), 2.56 gr/cm³ yoğunluğunda ve TS EN 196-1 standardına uygundur. CEN Standart kumunun granülometrisi Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 CEN standart kumu granülometrisi

Elek açıklığı (mm)	2	1.6	1	0.5	0.16	0.08
Kümülatif kalan (%)	0	8	34	68	82	100

3.1.3 Organik Katkı Malzemesi

Kimyasal katkı maddesi olarak tercih edilen atık kan, Türkiye'nin Afyon ili sınırları içerisinde haftalık olarak 250 büyükbaş hayvan kesim kapasitesine sahip olan bir mezbahadan elde edilmektedir. Bu atık kan, 18-24 aylık büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan taze bir şekilde toplanmaktadır.

3.2 Harç Malzemesi Üretimi

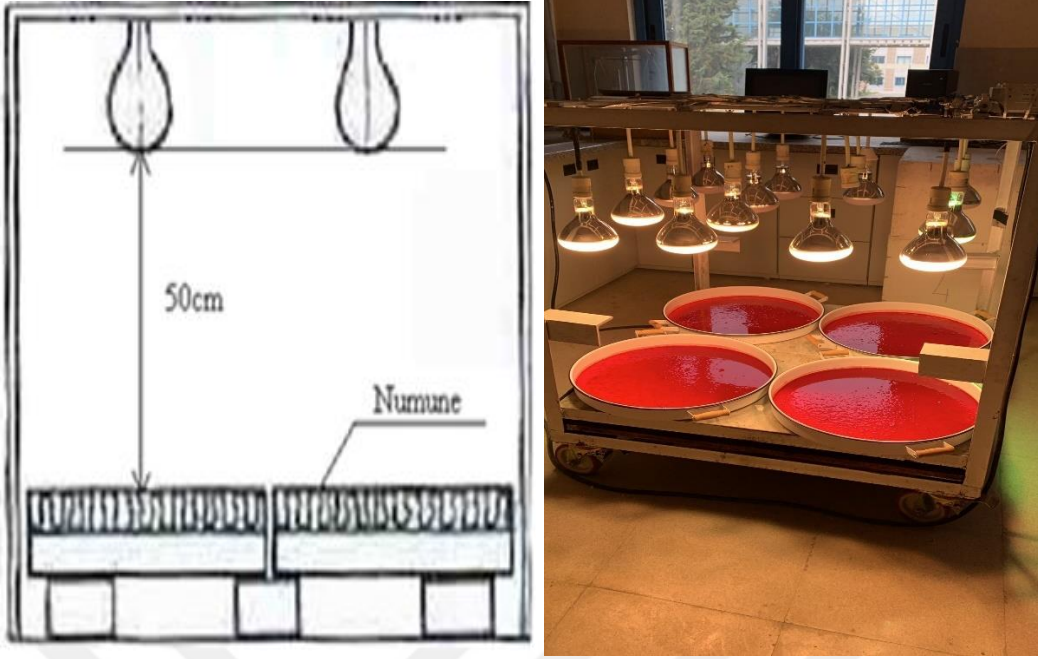
Üretim sürecinde harçlar için belirlenen bağlayıcı ve agrega oranı, ağırlıkça 1/3 şeklinde olup 450 gram bağlayıcı ve 1350 gram kum kullanılmıştır. Bağlayıcı ürün kireç, katkı olarak ise belirli bir yüzde oranındaki kurutulmuş atık hayvan kanı tercih edilmiştir. Numuneler, içerdikleri kurutulmuş atık hayvan kanı miktarına göre farklı kodlarla tanımlanmıştır. Numune kodlarındaki BH, büyükbaş hayvan kanını, KH küçük baş hayvan kanını ifade etmektedir. Kan grupları da kendi içerisinde %1 katkılı (BH1;KH1) ve %3(BH3;KH3) katkılı olarak iki farklı grup şeklinde incelenmiştir.

Tüm serilerde su/bağlayıcı oranı sabit tutularak kurutulmuş atık kanın kireç harcı üzerindeki etkisi değerlendirilmeyi amaçlamaktadır.

Tablo 3.4 Harç üretiminde tercih edilen malzeme oranları

Harç Kodu	Doğal özehidrolik kireç (NHL5)	CEN Kumu	Su	UV ile kurutulmuş atık hayvan kanı
REF	1	3	0,65	0
BH1	1	3	0,65	0,01
BH3	1	3	0,65	0,03
KH1	1	3	0,65	0,01
KH3	1	3	0,65	0,03

Mezbahaneden elde edilen büyükbaş ve küçükbaş atık kan numuneleri 50cm mesafede UV ışığı altında yaklaşık 8 saat kurumaya (Şekil 3.1) bırakılmıştır. Kuruyan numuneler Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Elde edilen kurutulmuş atık kan, mekanik bir elek ile eleme yöntemiyle tanecik boyutu 100 mikron altında olan malzemeye ayrılmıştır. Elekten geçirilen malzeme Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.1 UV ışık altında atık sıvı kanın kurutulması



Şekil 3.2 UV ışık altında kurutulmuş atık kan



Şekil 3.3 Elekten geçirilen kurutulmuş atık kan malzemesi

Kireç harçlarının imalat ve karışımında tercih edilen su miktarı, TS EN 1015-2 [63] standartlarına göre belirlenmiştir. Ön çalışmalar sonucunda üretilen harçların TS EN 1015-6 normlarına uygun olarak boşluklu birim ağırlığının 1200 kg/m^3 'ten fazla olması ve hedeflenen yayılma çapının 165 ve 185 mm aralığında olması gerektiği belirlenmiştir. Tüm serilerde istenen kıvam, %65 su/bağlayıcı oranıyla sağlanmıştır. Su miktarı hesaplanırken kandaki su miktarı ayrıca ölçülmüş ve sıvı kan etüvde bekletilmiştir. Ölçümlere göre UV ışığı altında kurutulmuş kanın %89'unun sudan oluştuğu tespit edilmiş ve üretimlerde %0,65 su/bağlayıcı oranını korumak için bu değer dikkate alınmıştır. UV ile kurutulmuş büyükbaş ve küçükbaş atık sıvı kan içeriği Tablo 3.5'te, UV ile kurutulmuş büyükbaş ve küçükbaş atık kanın köpüklenme özelliği Tablo 3.6'da sunulmuştur. Tablo 3.5 ve 3.6'da kuru kan için verilen değerler YTÜ Gıda Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir. Bu deneylerin nasıl gerçekleştirildiği Bölüm 5'te açıklanmıştır.

Tablo 3.5 UV ile kurutulmuş büyükbaş ve küçükbaş atık hayvan kanı içeriği

Hayvan Türü	Su İçeriği (%)	Ham Protein (%)	Ham Yağ (%)	Kül (%)	pH
Büyükbaş	$7,10 \pm 0,09$	$92,10 \pm 2,17$	$0,34 \pm 0,01$	$4,49 \pm 0,06$	$7,52 \pm 0,08$
Küçükbaş	$9,30 \mp 0,02$	$86,38 \mp 0,19$	$0,42 \mp 0,00$	$4,52 \mp 0,01$	$9,10 \mp 0,13$

Tablo 3.6 UV ile kurutulmuş büyükbaş ve küçükbaş atık hayvanın köpüklenme değerleri

Hayvan Türü	KK (%)	KS10 (%)	KS30 (%)
Büyükbaş (kuru kan)	71,28±3,52	96,81±1,36	91,21±4,93
Küçükbaş (kuru kan)	29,55±3,22	43,85±1,39	24,63±5,57

Sertleşmiş harç özelliklerini tayin etmek için üretilen harçlar, TS 1015-11[64]'e göre belirlenen ölçülerdeki kalıplara yerleştirilmiş ve her bir numune grubu için 8 adet olmak üzere toplam 24 adet prizma numune ve 8 adet olmak üzere toplam 28 küp numune üretilmiştir. Üretim ile ilgili harç mikseri kullanımı Şekil 3.4'te, taze harçların kalıplara dökülmesi ise Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Üretimde kullanılan harç mikseri



Şekil 3.5 Taze haldeki harçların kalıplara dökülmesi

Üretimler tamamlandıktan sonra numuneler Tablo 3.7'de gösterilen değerler doğrultusunda muhafaza edilmiştir.

Tablo 3.7 Üretilen harçların muhafaza koşulları

20±2°C Sıcaklıkta		
Kalıp İçerisinde	Kalıpsız	
%95±5 Bağıl Nem	%95±5 Bağıl Nem	%65±5 Bağıl Nem
5 Gün	2 Gün	21 Gün

3.3 Taze Harçta Yapılan Deneyler

3.3.1 Taze Haldeki Harç Kıvamının Yayılma Tablası Yöntemi ile Tespit Edilmesi

Taze harç kıvam yoğunluğunun belirlenmesi için TS EN 1015-3 [65]'in standardında belirtilen ölçülere sahip, kesik koni şeklindeki kalıp tercih edilmiştir. Üretilen harç, iki tabaka şeklinde uygulanmış ve her tabaka minimum 10 kısa tokmak vuruşu ile yerleştirilmiştir. Numune kalıba yerleştikten sonra kalıp yüzeyi mala yardımıyla düzeltilmiş, fazla kısmı atılarak ve kalıp çevresi temizlenmiştir. Belirli bir süre sonra kalıp dik konuma getirilerek, dairesel plak üzerine yerleştirilen harç kütlesi, sabit frekansta (saniyede 1 kez) 15 düşürme işlemi uygulanarak düzgün bir şekilde yayılmıştır. Yayılan harcın çapları, dik açılar oluşturacak şekilde ölçülüp, ortalama yayılma çapları hesaplanmıştır.

3.3.2 Priz Süresinin Araştırılması

Kireç bazlı malzemelerin sertleşme süreleri, mevcut literatürde özgün bir standart yöntemle belirlenmediği için çimento esaslı malzemeler için kullanılan standart Vicat aletinin prensiplerinden yararlanılarak tespit edilmektedir. Bu bağlamda, Biçer-Şimşir ve Rainer tarafından geliştirilen ve ASTM C 191 standardına dayanan bir yöntem [66] benimsenmiştir. Bu yöntemde, otomatik Vicat aleti ve 1 mm çapında bir iğne kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7) [4]. İğnenin batma derinliği kireç esaslı harç numunesinde 25 mm'nin altında veya eşit olduğunda "priz başlangıç süresi" olarak kabul edilirken, 0,5 mm'nin altında veya eşit olduğunda ise "priz bitiş süresi" olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.6 Vicat aleti ile priz süresinin belirlenmesi işlemi

3.4 Sertleşmiş Harçlarda Yapılan Deneyler

7, 28, 56 ve 90 günlük olgunlaşma sürelerine sahip prizma numuneler üzerinde mekanik ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi için aşağıda belirtilen deneysel program uygulanmıştır.

3.4.1 Birim Ağırlık

Deney numunesinin kuru kütlelerinin, görünür hacmine oranı birim hacim ağırlık olarak adlandırılır ve ρ_b sembolü ile temsil edilir [70]. Görünür hacmi, numunenin dış yüzeyi ve boşlukları dahil edilmiş sınırlı hacmi olarak tanımlanan kuru deney numunesinin, birim hacim ağırlığı formülle ifade edilir [71]. Cisimler prizmatik ve düzgün yüzeyli olup, görünür hacim cismin toplam hacmi olarak kabul edilir ve birim hacim ağırlığı bu değer üzerinden hesaplanabilir. Ancak düzgün olmayan cisimler için, su emme deneyi kullanılarak hesaplama yapılır [72]. Numuneler belirtilen standartlara uygun olarak $70 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklığa ayarlı etüvde sabit kütleye ulaşmaya kadar kurutulmalıdır. Kurutma sürecinde düzenli aralıklarla yapılan tartımlar arasındaki farkın kuru numune kütlelerinin %0,2'sinden fazla olmaması, numunenin istikrarlı bir ağırlığa ulaştığını gösterir [72]. Oda sıcaklığına ulaşan numuneler desikatörde bekletilmelidir [71]. Sonrasında numuneler teraziye konularak kuru kütleleri (m_d) ölçülür. Numuneler daha sonra vakumlu kapta demineralize su içinde bırakılarak belirli süreler boyunca basınç altında ve atmosfer basıncında muhafaza edilir. Numunenin su içindeki kütleleri (m_h) ölçülerek kaydedilir (Şekil 3.7) [72]. Ardından nemli bir bezle kurularak suya doymuş

numunenin kütlesi (m_s) belirlenir [72]. Bu veriler kullanılarak birim hacim ağırlığı formülle 3.1 ile hesaplanır.

$$\rho_b = \frac{m_d}{(m_s - m_h)} \quad (3.1)$$

ρ_b : Numunenin birim hacim ağırlığı, (gr/cm^3)

m_d : Kuru deney numunesinin kütlesi, (gr)

m_s : Su içerisine batırılmış deney numunesinin kütlesi, (gr)

m_h : Doymuş deney numunesinin kütlesi, (gr)



Şekil 3.7 Suya doygun haldeki numunelerin suda tartılmaları

3.4.2 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme

Su emme özelliği, boşluklu malzemelerin su ile temas ettiğinde ortaya çıkan önemli bir özelliktir. Bu özelliği belirlemek amacıyla yapılan su emme deneyi, numunenin dışarıya olan açıklığından malzemeye geçen su miktarını hem ağırlıkça hem de hacimce ölçerek belirlemeyi amaçlar. Su emme, malzemenin fiziksel ve kimyasal niteliklerini hakkında önemli bilgiler sağlar ve özellikle mekanik dayanıklılık ile donma-çözülme direnci gibi konularda değerli veriler sunar. Ağırlıkça su emme oranı ($a_s, \%$) (3.2), malzemenin belirli standartlara uygun şekilde test edilerek boşluklarına emdiği suyun ağırlığına oranını ifade ederken; hacimce su emme oranı ($h_s, \%$) (3.3), emilen su miktarının malzemenin hacmiyle oranını gösterir.

$$a_s = \frac{W_s - W_0}{W_0} \% \quad (3.2)$$

$$h_s = \frac{W_s - W_0}{V} \% \quad (3.3)$$

Numuneler, su emme deneyinin gerçekleştirilmesi amacıyla laboratuvar ortamında belirli bir protokol doğrultusunda işleme tabi tutulmaktadır. Derin bir kaba yerleştirilen numunelerin başlangıçta yüksekliklerinin dörtte biri kadar kap su ile düzenlenir ve bu durum bir saat boyunca muhafaza edilir. Ardından su seviyesi numunenin yarısına ulaşacak şekilde ek su ilave edilir ve bir sonraki saat boyunca bu prosedür dörtte üç oranı için tekrarlanır. Son aşamada numuneler tamamen su altında bırakılır ve 24 saatlik bir sürenin sonunda numuneler suyun içinden çıkarılarak hem havada hem de suda tartılır. Bu dikkatle planlanmış protokol, numunelerin su emme kapasitesini belirlemek için adım adım ilerler ve deneyin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

3.4.3 Kılcallık Deneyi

Bir malzemenin alt yüzeyinin su ile karşılaşması sonucunda suyun kılcal yollarla malzemenin üst yüzeyine hareket etmesi olayını ifade etmektedir. TS EN 1015-18 [72] ve TS EN 15801 [73] standartlarına uygun olarak yürütülen deneylerde, numunenin kılcal boşluklarından suyun yüzey gerilimi etkisiyle yükselen su miktarı ve kılcal su emme katsayısının belirlenmesi amaçlanır. Numuneler, 4x4x16 cm boyutlarında olup TS EN 459-2'ye göre belirtilen koşullarda %90±5 bağıl nemde 20±2 °C sıcaklıkta 5. gün kalıptan çıkarılır ve deney süresince %65±5 bağıl nemde 20±2 °C sıcaklıkta tutulur. Prizmatik numuneler, (60 ± 2) °C'lik etüvde ağırlıkları sabit hale gelene kadar bekletilir ve oda sıcaklığına gelir gelmez saklanır. Numunelerin kuru tartımları yapılır ve 5 mm kalınlığındaki pamuk tabakasıyla kaplanmış tepsiye yerleştirilir, suyla doymun hale getirilir. Numunelerin pamuk tabakasıyla temas eden kısımlarının alanı ölçülerek hesaplanır ve numuneler suya konarak, pamuk tabakasıyla temas ettiği an t₀ olarak işaretlenir. Bu süreç, malzemenin kılcal su emme özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesine ve belirlenmesine olanak sağlar. Şekil 3.8'de numunelerin su emilimine maruz bırakıldığı gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Islak bezde beklemekte olan numuneler

1 dakika 4 saniye, 2 dakika 24 saniye, 4 dakika 16 saniye, 9 dakika 36 saniye, 17 dakika 4 saniye, 26 dakika 40 saniye, 41 dakika 40 saniye, 1 saat, 2 saat ve 4 saat arasında yapılan ölçümlerle suyun emilme miktarı (Q_i , kg/m^2) belirlenmiştir. Bu deneylerde harç malzemesi 3 özdeş tip malzeme kullanılarak deney yapılmış olup tüm ölçümler $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında ve $\%40 \pm 5$ nem bulunan ortamda yapılmıştır. Ağırlık ölçümlerine dayanarak hesaplanan su emilme miktarı (Q_i , kg/m^2) formül (3.4) ile bulunmuştur.

$$Q_i = \frac{w_i - w_0}{A} = \text{kg/m}^2 \quad (3.4)$$

w_i = Numunenin ölçüm yapıldığı saniyedeki ağırlığı

w_0 = Numunenin ilk ağırlığı

A = Numunenin su emdiği taban alanı

Q_i = Ölçüm yapıldığı andaki emilen su miktarı

Kılcal su emme katsayısını belirlemek için, geleneksel malzeme deneyleri literatürde sıkça kullanılan bir yöntem olan $Q_i - \sqrt{t}$ grafiği çizilerek uygulanmıştır. Bu yöntemde, ilk 1 saatlik süre içerisinde elde edilen veriler kullanılarak grafik oluşturulmuş ve bu grafik üzerinden doğru eğimi analiz edilmiştir. Bu şekilde, kılcal su emme katsayısının belirlenmesinde önemli bir adım atılmış ve deneysel sonuçlarla teorik veriler arasındaki ilişki daha ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

3.4.4 Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Eğilme Dayanımının Belirlenmesi

Eğilme testi, 4x4x16 cm boyutlarındaki örnekler üzerinde TS EN 1015-11 [66] standartlarına uygun olarak uygulanmıştır. Numunenin öncelikle boyutları ölçülmüş ve düz yüzleri kalıbın çelik levhasına temas edecek şekilde mesnete yerleştirilmiştir. Deney numunesi hazırlandıktan sonra orta noktasına kuvvet uygulanarak malzemenin kırılmaya başladığı maksimum yük belirlenmiştir (Şekil 3.9). Yükleme hızı deney esnasında belirli bir değer olan 0.3 mm/dakika olarak sabitlenmiştir. Numunenin eğilme direnci, standart (3.5) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_e = (1,5 \times P \times L) \div (b \times d^2) \text{ MPa} \quad (3.5)$$

f_e : Eğilme direnci (N/mm^2),

P: Kırılma yükü (N),

L: Mesnetlerin birbiriyle olan mesafesi (mm),

b ve d: Örneklerin enkesit kenar uzunlukları (mm)



Şekil 3.9 Eğilme Direnci Testi

3.4.1.1 Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Eğilme deneyinin ardından ortadan ikiye bölünen numuneler, alt ve üstüne konulmuş 4x4 cm ebatlarındaki çelik plakalar kullanılarak TS EN 1015-11 [66] standartları doğrultusunda basınç deneyi yapılmıştır. Numuneler basınç yükü altında genel olarak kum saati şeklinde kırılır. Kırılan numunelerin en yüksek yükü, yükün uygulandığı kesitin alanına bölünerek her bir numunenin basınç direnci (dayanımı) hesaplanmıştır, yükleme hızı ise 0.7 mm/dakika olarak sabitlenmiştir. Prizmatik formdaki 40x40x160 mm ölçülerinde üretilen numuneler üzerinde 7

günlük, 28 günlük, 56 günlük ve 90 günlük basınç ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin basınç dayanımları, standart formül (3.6) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_b: P \div A \text{ (MPa)} \quad (3.6)$$

f_b : Basınç direnci (N/mm^2),

P: Maksimum çekme direnci (N),

A: Yükün uygulandığı kesit bölgesi alanı (mm)

3.4.5 Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi

Organik maddeler, kireç bazlı harçlarda hava kabarcıkları oluşturarak işlenebilirliği artırır ve su/bağlayıcı oranını azaltırken aynı zamanda hava sürüklenme sürecini hızlandırır [10-75]. Kireç bazlı harçlar için karbonatlaşma testi henüz standartlaştırılmamıştır; bu test, karbonatlaşma reaksiyonunun ilerleyişini belirlemeyi amaçlar. Karbonatlaşma, betonda istenmeyen bir etki yaratır; zira malzemenin pH değerini düşürerek çatlak oluşumuna ve çelik korozyonuna yol açabilir [76]. Ancak kireç harçlarında karbonatlaşma, sertleşme süreçlerinin bir parçası olarak görülür [77-78]. Mekanik özelliklerin gelişimi genellikle karbonatlaşma derinliği ile ilişkilendirilir [79-80]. Karbonatlaşmanın derinliğini belirlemek için 24 saat kürlenmiş $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ boyutlarındaki kübik harç numuneleri, 21 gün boyunca hızlandırılmış ortamda CO_2 'ye maruz bırakılarak incelenmiştir. Numuneler kırılarak fenolftalein alkol çözeltisi ile karbonatlaşma testine tabi tutulmuş, mor renge dönüşen bölgelerde yüksek alkalın portlanditin varlığı, renksiz bölgelerde ise portlanditin karbonatlaşarak nötr hale gelmesi gözlemlenmiştir.

3.4.6 Donma Çözülme Deneyi

Harç numuneleri, üretildikten 56 gün sonra donma-çözülme testlerine maruz bırakılmıştır. Her bir seride en az 3 adet, $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ ebatlarında numune hazırlanmıştır, ASTM D560 [81] standartlarına uygun olarak. Numuneler, $70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulmuş ve kütle değişimi %0,1'in altına düşene kadar bekletilmiştir. Ultrases deneyleri yapılarak kuruyan numunelerin kütleleri belirlenmiş ve ardından plastik kap içine en az 15 mm aralıklı yerleştirilmiştir. Çeşme suyu ($20 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) eklenerek numuneler 2 gün boyunca bu suda beklemiştir. Bu sürenin sonunda

numuneler tekrar tartılmış ve donma-çözülme testleri için hazır hale getirilmiştir. Numuneler belirlenen periyotlarla donma tankına yerleştirilerek donma-çözülme döngüleri başlatılmış ve her aşamada numunelerin ağırlıkları dikkatle kaydedilmiştir; ayrıca her döngü sonunda su yenilenmiştir.

3.4.7 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Harçların performansını değerlendirmek amacıyla TS EN 12504-4 [82] standardına uygun olarak yapılan ultrases deneyi gerçekleştirilir. Bu deneyde, malzemelerin doluluk oranları, boşluk oranları ve çatlaklar hakkında bilgi almak için taşıyıcı sistemin arasından eksenel ses dalgaları iletimi yapılmaktadır. Eğer malzemeler içerisinde çok sayıda boşluk ve çatlak bulunuyorsa, ses dalgalarının yayılma hızı azalır. Diğer yandan, az boşluk ve çatlak içeren malzemelerde ses dalgalarının yayılma hızı daha yüksektir [4].

Ultrases deneyi sırasında, piezoelektrik transdüserler (alıcı ve verici prob) arasında boşluk olmadan temas oluşturulur ve ses dalgalarının geçişi kolaylaştırılmış olur. Ses dalgalarını gönderen ve alan prob başlıkları numuneye ultrasonik jel enjeksiyonu gerçekleştirilerek temas sağlanır ve ses dalgalarının iletim süreleri, zaman ölçer devreler aracılığıyla kaydedilir.

3.4.8 Temas Açısı Deneyi

Katı ve sıvı arasındaki kimyasal etkileşimler, malzemelerin farklı ıslanma özelliklerine sebep olur. Bu etkileşimleri ölçmek için temas açısı kullanılır ki bu sıvının katı yüzeyi kaplama kabiliyetini gösterir [91]. Yüzey özellikleri ve pürüzlülük ölçümleri de bu farklılıkları belirlemede önemlidir [92]. Bu nedenle, numuneler hazırlandıktan sonra, kalıbın düz alt yüzeyinden ölçümler yapılmıştır.

Temas açısı ölçümleri Attension Theta Lite temas açısı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiş ve cihaz her kullanımdan önce kalibre edilmiştir. Analiz sırasında, numune yüzeyine saf su damlatılmış, her ölçümde 5 mikrogram/litre damla hacmi uygulanmış ve damlanın açısı 10 saniye boyunca kaydedilmiştir. Sonuçlar, 10 saniyelik süre içindeki tüm temas açılarının ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

4

ENJEKSİYON MALZEMESİ İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kullanılan Malzemeler

Enjeksiyon malzemesi üretiminde, su ve bağlayıcı oranı referans numune için ağırlıkça 0,65 olarak belirlenmiştir ve kullanılan bileşenler arasında 1500 gram kireç (NHL 5) ile 975 gram su kullanılmıştır. Üretim serilerinde, bağlayıcı olarak kireç (NHL 5) tercih edilerek katkı olarak ise kireç ağırlığının değişen yüzdeleri (%1, %1,5, %2) arasında kurutulmuş atık hayvan kanı eklenmiştir. Bu numuneler, içerdikleri kurutulmuş atık hayvan kanı miktarına göre kodlanmış ve tüm detaylar Tablo 4.1'de ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Kurutulmuş büyükbaş atık kanın bulunmadığı örnekler referans harçlar (REF) ile kireç ağırlığının farklı yüzdelerinde kurutulmuş atık hayvan kanı içeren numuneler (BE1, BE1,5, BE2) şeklinde sınıflandırılmıştır. Ülkemizde daha çok büyükbaş hayvan kesiminin yapılması ve büyükbaş atık kan ile küçükbaş atık kan analizlerinin sonuçlarında önemli bir fark görülmemesi nedenleri ile enjeksiyon malzemesi üretiminde yalnızca büyükbaş hayvan kanı kullanılmıştır.

Tablo 4.1 Enjeksiyon malzemesi üretiminde kullanılan malzeme oranları

Harç Kodu	Doğal hidrolik kireç (NHL5)	Su/Bağlayıcı	UV ile kurutulmuş atık hayvan kanı	Sorbotenmonolate
REF	1	0,65	0	0
BE1	1	0,65	0,01	0,001
BE1,5	1	0,65	0,015	0,001
BE2	1	0,65	0,02	0,001

4.2 Enjeksiyon Malzemesi Üretimi

Kireç bazlı enjeksiyon malzemelerinin imalat ve karıştırma adımlarında net bir standardın bulunmaması sebebiyle, önceki araştırmaların ışığında üretim ve karışım teknikleri belirlenmiştir [110-111]. Enjeksiyon malzemesi üretimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. İmalat ve karışım süreçleri aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır. Kireç oranı, su oranı, kurutulmuş atık hayvan kanı numuneleri tartılarak hazırlanır.

- Kireç ile kurutulmuş atık hayvan kanına karma suyunun %10’u eklenerek mekanik karıştırıcı ile 1 dakika karıştırılmıştır.
- Geriye kalan karma su da karışıma ilave edilip 10 dakika ve 800 rpm hızla mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır.
- 10. dakikanın sonunda kimyasal süper akışkanlaştırıcı ilave edilerek 3,5 dakika daha karışım işlemi gerçekleşmiş ve 13,5 dakikanın sonunda enjeksiyon malzemesi elde edilmiştir.



Şekil 4.1 Enjeksiyon malzemesi üretimi

4.3 Enjeksiyon Malzemelerinin Taze Haldeki Parametrelerinin İncelenmesi

Enjeksiyon malzemesi, yapı içerisindeki boşlukları başarılı bir şekilde doldurarak yapıya maksimum performans sunar. Bu nedenle, malzemenin taze haldeki özellikleri sertleşmiş haldeki özellikler kadar önemlidir çünkü boşlukları etkili bir şekilde doldurmasını sağlar [3].

Enjeksiyon yönteminin geri dönüşsüz hatalara sebep olabileceği riski göz önünde bulundurularak, yapıya zarar vermemek için tasarım aşamasında enjeksiyon malzemesinin taze haldeki akışkanlık, penetrasyon ve hacim sabitliği gibi performans özelliklerine özen gösterilmesi gerekmektedir. Enjeksiyon malzemesinin taze halde taşınması gereken özellikler ve belirlenmiş sınırlar aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır [83].

4.3.1 Taze Haldeki Enjeksiyon Malzemelerinin Akışkanlık Parametrelerinin İncelenmesi

Enjeksiyon malzemesinin akıcılığı, yapı içerisindeki boş alanları ne derece kolaylıkla doldurabildiğini gösteren, harcın akış davranışını tanımlayan ve su/bağlayıcı oranının tespitinde kritik rol oynayan, taze harç özelliklerindedir [3].

Bu tez çalışmasında; "Marsh Hunisi" deneyi ASTM D6910 standardında [84] belirtilen standartlara göre, "Akış Konisi" deneyi TS EN445 standardında [85] tanımlanmış ve uygulanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Akış konisi ve Marsh hunisi

4.3.2 Taze Haldeki Enjeksiyon Malzemelerinin Hacim Sabitliği Niteliğinin İncelenmesi

Sertleşmemiş enjeksiyon malzemelerinin hacim istikrarı, TS EN 445 standardına göre yapılan terleme deneyi ile belirlenmektedir. Bu deneyin temel amacı, enjeksiyon malzemesinin stabilitesini değerlendirmektir. Terlemenin artması,

enjeksiyon malzemesindeki taze harçta bulunan serbest su miktarının arttığını göstermektedir. Terleme deneyi, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi enjeksiyon malzemesinin üretiminden hemen sonra, 1000 ml kapasiteli bir ölçüm kabının yaklaşık 800 ml'lik kısmına malzeme doldurularak ve başlangıç seviyesi (h_0) kaydedilerek gerçekleştirir. Kabın üst bölümünü kapatılarak, nem buharlaşmasını önlemek için streç film kullanılır. Bir tam gün süresince beklemenin ardından, çözülen enjeksiyon malzemesi ve terleme suyu seviyeleri ölçülerek terleme oranları yüzdesel olarak hesaplanır (4.1) [86-87-88].

$$\text{Terleme (\%)} = h_w \div (h_0 \times 100) \quad (4.1)$$



Şekil 4.3 Terleme kabındaki numune örnekleri

4.3.3 Taze Haldeki Enjeksiyon Malzemelerinin Penetrasyon Niteliğinin İncelenmesi

Enjeksiyon malzemesinin yapı içerisindeki nüfuz yeteneği olan penetrasyon özelliği, malzemenin enjekte edilebilirliği hakkında kritik değerlendirmeler sağlar.

Bu önemli özellik, EN 1771[89] standardında belirtilen "Kum Kolonu" deneyi ile ölçülmektedir. Deney için özel olarak hazırlanan düzende, 36 cm yükseklik ve $22,2 \pm 0,3$ mm genişliğindeki saydam tüp, basıncın kontrol edilebildiği enjeksiyon malzemesi haznesi ve malzemenin toplandığı dereceli şeffaf cam tüpten oluşan bir düzene kullanılır (Şekil 4.4). Enjeksiyon malzemesinin yapı içindeki boşlukları

doldurma kabiliyetini simüle etmek amacıyla 2-4 mm boyutlarındaki silis esaslı doğal dere kumu kullanılarak deney yapılır. Malzemenin belirli bir basınç altında boşlukları doldurma süresi ölçülerek, enjeksiyon malzemesinin penetrasyon özelliği değerlendirilir. Deney süresince enjeksiyon malzemesinin kum kolonunda yükselme süresi (T_{36}) ve biriken malzeme miktarı dikkatle kaydedilir.



Şekil 4.4 Kum kolonu deney düzeneği

4.4 Sertleşmiş Enjeksiyon Malzemelerinde Yapılan Deneyler

Kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin kür koşulları için belirli bir standart bulunmaması nedeniyle, numunelerin kür süreçleri hava kireci esaslı harçlar için gerekli olan TS EN 1015-11 standardından esinlenerek belirlenmiştir. Üretim sonrası numuneler ilk 7 gün içinde $\%95 \pm 5$ bağıl nemde muhafaza edilmiş; ilk 5 gün kalıpta, sonraki 2 gün ise kalıptan çıkartılarak kür edilmiştir. Numunelerin tamamı, deney gününe kadar $\%65 \pm 5$ bağıl nemde tutulmuş ve olgunlaşma süresince 20 ± 2 derece ısıda sabit tutulmuştur.

4.4.1 Kılcallık Deneyi

Kılcal su emme deneyi bölüm 3'te anlatılan deney yöntemleri benimsenerek, enjeksiyon malzemeleri için TS EN 1015-18 [73] ve TS EN 15801 [74] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her seri için üç numune üzerinde kılcal su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kılcal su emme katsayısını belirlemek için ilk saatlik verilerle $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği oluşturulmuş ve optimal eğimden faydalanılmıştır. Kalan numuneler $\%65 \pm 5$ bağıl nemde bekletilerek 56. ve 90.

günlerde tekrar kılcal su emme deneyleri yapılmış ve kılcal su emme katsayıları hesaplanmıştır.

4.4.2 Eğilme ve Basınç Deneyleri

Enjeksiyon numunelerin bükülme ve basınç dayanımları (dirençleri), TS EN 1015-11 [66] standardına uygun olarak bölüm 3'teki belirtilen yöntemlerle belirlenmiştir. Deneyler, 60 ton kapasiteli kontrollü kuvvet uygulama cihazında gerçekleştirilmiş olup, ön deneyler neticesinde yükleme hızı olarak 1 mm/dakika belirlenmiştir. Nem kabininden çıkarılan numuneler üzerinde 28., 56. ve 90. günlerde yapılan deneyler neticesinde ise kırılma yükü hesaplanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Eğilme deneyi

Numunelerin eğilme deneyi sonucunda parçalara bölünmesiyle elde edilen basınç dayanımı testleri, TS EN 1015-11 [66] standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6). 1 mm/dakika olan yükleme hızı, numunelerin kırılma sonrasındaki maksimum yüklerinin belirlenmesinde kullanılmış ve basınç dayanımları bu verilere dayanarak hesaplanmıştır. Prizmatik numunelerin 28, 56 ve 90 günlük eğilme ve basınç deneyi sonuçları hesaplanmıştır.



Şekil 4.6 Basınç deneyi

4.4.3 Donma Çözülme Deneyleri

Kireç bazlı enjeksiyon malzemelerin donma çözülme tesiri altında davranışının incelenmesi oldukça önemlidir ancak bu konuda belirli bir standart bulunmamaktadır. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda kireç esaslı harçlarla yapılan testlerde çeşitli yöntemlerin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, daha önce literatürde kullanılmış bir yöntem temel alınarak ilerlenmiştir [90]. Deney her bir seriden 3 adet 4x4x16 cm ebatlarındaki prizmatik malzemeler üretilmiş ve test öncesinde malzemeler suya doyurulmak üzere en az 24 saat suda bekletilmiştir. Numunelerin ilk ağırlık ölçümleri gerçekleştirildikten sonra donma çözülme testine başlanmıştır. Donma çözülme testinin bir döngüsü, -20°C'de 24 saat donma ve ardından 24 saat 21°C ve %100 bağıl nemde çözülme aşamalarını içermektedir. Test, numuneler parçalandığında sonlandırılmıştır. Her bir çevrimin ardından numunelerin ağırlıkları yeniden ölçülmüştür. Bu çalışma, kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin donma çözülme etkisi altındaki davranışını daha detaylı anlamak ve belirlenen yöntemi değerlendirmek amacıyla yapılmıştır

4.4.4 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Enjeksiyon malzemesinin performansı bölüm 3'te verildiği gibi TS EN 12504-4 [82] standartlarına uygun olarak UPV deneyi ile değerlendirilmiş ve donma çözülme testinden önce ve sonra UPV deneyi tekrarlanmıştır.

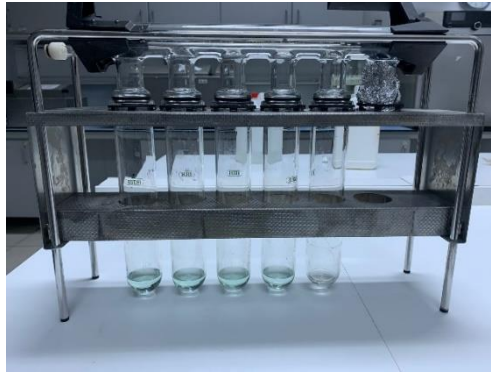
5

KURUTULMUŞ ATIK KANIN KARAKTERİZASYONU İÇİN YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

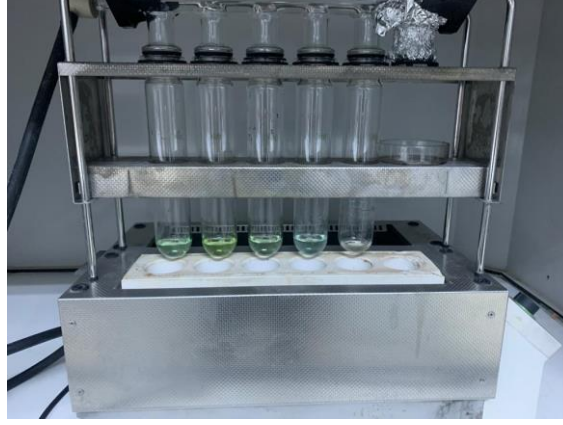
5.1 Protein Analizi

5.1.1 Yakma Deneyi

Deneyel prosedür doğrultusunda, filtre kağıdının ağırlığı belirlenmiş ve ardından üzerine 1 gram numune örneği tartılmıştır. Bu tartılan numune, filtre kâğıdı aracılığıyla Kjeldahl tüpüne aktarılmıştır. Balona iki adet katalizör eklenmiştir. Yaklaşık olarak 25 ml sülfürik asit (H_2SO_4) ilave edilmiştir. Kjeldahl tüpü, bu şekilde yakma ünitesine yerleştirilmiş ve kapakları kapatılmıştır. Cihaz, başlangıç olarak 5 numaralı ayarda işletilmiş ve bu sıcaklıkta 20 dakika bekletilmiştir. Daha sonra cihazın sıcaklık ayarı sırasıyla 6 ve 7 seviyelerine çıkartılmış ve her bir sıcaklıkta 20 dakika süreyle işlemi devam ettirilmiştir. En son olarak, sıcaklık değeri 8'e yükseltilmiş ve numuneler yeşil renge dönüşene kadar yakma işlemi sürdürülmüştür. Yeşil rengin ortaya çıkmasının ardından, yakma işlemi yarım saat daha devam etmiş, sonrasında cihaz kapatılarak balonların soğuması beklenmiştir [93]. Numunelerin hazırlanışı (Şekil 5.1) ve yakma sonucu oluşan renk değişimleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Numunelerin hazırlanışı



Şekil 5.2 Yakma sonucu numuneler

5.1.2 Dislokasyon Deneyi

Örneklerin tamamen yakıldığı ve ardından iyice soğutulduktan sonra 90 ml su (H_2O) tüp içerisine eklenir. Daha sonra amonyak (NH_3) oluşturmak için 161 ml sodyum hidroksit ($NaOH$) eklenir ve cihaz 5 dakika boyunca dislokasyon yapar. Bu süreçte NH_3 gazı, 24 ml borik asit içine toplanmaya başlar [93]. Dislokasyonun yapıldığı cihaz Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3 Dislokasyon yapılan cihaz

5.1.3 Titrasyon Deneyi

Elde edilen distilat, 0,1 N hidroklorik asit (HCl) ile çelik rengi alacak şekilde veya pH değeri 4,7'ye ulaşana kadar titre edilir. Tüm bu işlemler referans içerisinde tekrarlanır, titrasyon sırasında kullanılan miktar kaydedilir ve hesaplamalar yapılır [93]. Titrasyon deney düzeneği Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Titrasyon deney düzeneği

5.2 Su İçeriğinin Belirlenmesi

Elde edilen numunelerin nem içeriğini belirlemek için yaklaşık 5 gram numune tartılır ve 105 °C 'lik ısıtıcıda sabit tartım elde edilene kadar (genellikle 18 saat kadar) kurutulur. Bu prosedür, [93]'in standartlarına uygun olarak gerçekleştirilir. Numunelerin tartımı ve kurutulma işlemleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Numunelerin tartımı ve kurutulması

5.3 Kül İçeriğinin Belirlenmesi

Eldeki sıvı büyükbaş, sıvı küçükbaş ve ultraviyole (UV) ile kurutulmuş kuru kan örneklerinin kül miktarı, yakma yöntemiyle belirlenmiştir. Bunun için öncelikle porselen krozelerin önceden ağırlıkları alınmış ve yaklaşık 3 gram örnek içeren krozeler tartılmıştır. Sonrasında, örneklerin siyah lekeler kalmayınca kadar 550

°C 'de yakılması gerçekleştirilmiştir. Krozeler, desikatör kullanılarak soğutulduktan sonra tekrar tartılmış ve kül miktarı hesaplanarak kaydedilmiştir (Şekil 5.6) [93].



Şekil 5.6 Kül sonucu numune ve desikatörde soğutma işlemi

5.4 Kanın Köpürme Özelliklerinin Belirlenmesi

Numunenin Numunenin %3 (ağırlık/hacim) oranındaki dispersiyonları, damıtılmış su içerisinde hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH değeri, nötral seviyeye (pH 7) ayarlanmış olup, bu işlem sırasında 1 N HCl veya 1 N NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Daha sonra, karışımlar homojen bir dağılım sağlanabilmesi için 11.000 rpm hızında çalışan bir homojenizatörde 2 dakika süreyle işlenmiştir. Elde edilen karışımlar, toplam hacim ve sıvı hacimlerinin ölçülüp kaydedilmesi amacıyla 100 mL'lik dereceli silindirlere aktarılmıştır. Bu veriler ışığında köpüklenme kapasitesi (KK) hesaplanmıştır. Ayrıca, oda sıcaklığında 10 ve 30 dakika bekleme sürelerinin ardından kalan köpük hacmi ölçülerek köpük stabilitesi (KS) ölçümleri yapılarak elde edilen bulgular Tablo 3.6'da sunulmuştur [107].

Kurutulmuş kan, protein içeriği bakımından zengin olup, yüksek köpük oluşturma kapasitesi sergileyen bileşikler barındırmaktadır [106]. Köpüklenebilirlik, yüzey gerilimini düşürme özelliğine sahip esnek protein yapılarıyla doğrudan ilişkilendirilirken, düşük köpüklenme özellikleri ise yüzey denatürasyonuna karşı dirençli, düzenli küresel protein molekülleri ile bağlantılı olabilmektedir [108]. Köpüğün stabilitesi ve dayanıklılığı ise özellikle sertleşme süreçlerinde köpüğün çimento hamurunu destekleme potansiyelini belirlemede kritik bir öneme sahiptir [109].

Bu çerçevede, proteinlerin köpüklenme özelliklerinin ve diğer davranışlarının analiz edilmesi, kurutulmuş kanın harç ve enjeksiyon şerbeti üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına katkı sunmaktadır. Bu çalışmanın, konuya ilişkin literatüre değerli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



6

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Taze Haldeki Harç Malzemesi Deney Sonuçları

6.1.1 Taze Harç Kıvamının Yayılma Tablası İle Belirlenmesi Deney Sonuçları

Deneyler 3. Bölümde anlatılan şekilde gerçekleştirilmiş olup hem büyükbaş (%1 katkılı BH1 ve %3 katkılı BH3) hem de küçükbaş hayvan kanı katkılı (%1 katkılı KH1 ve %3 katkılı KH3) numunelerin yayılma tablası deneyi ve boşluklu birim ağırlık sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir.

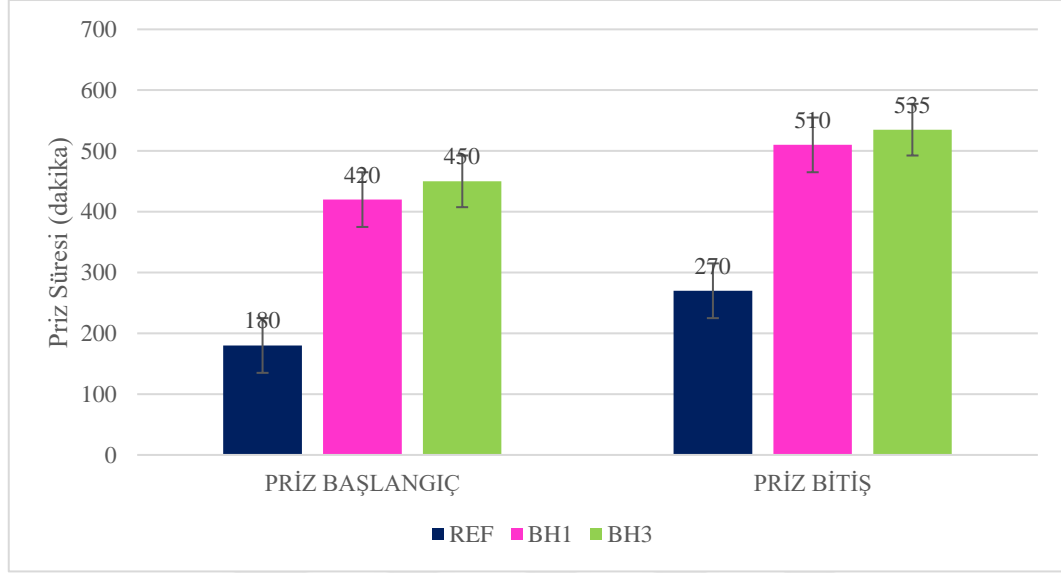
Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, referans numunenin boşluklu birim ağırlıklarının en yüksek, %3 katkılı hem büyükbaş hem de küçükbaş numunelerinin boşluklu birim ağırlıklarının en düşük sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda kan katkısının harç içerisinde bir köpüklenme oluşturduğu ve bu köpüklenmenin bir sonucu olarak harcın içerisinde mikro-gözenek yani boşluklu bir yapı oluşumunu teşvik etmesi ve kan katkı oranı arttıkça boşlukların kapladığı hacmin artmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Tablo 3.6).

Tablo 6.1 Üretilen harçların taze hal özellikleri

Harç Kodu	Yayılma Çapı (cm)	Boşluklu Birim Ağırlık (gr/cm ³)
REF	17	2300
BH1	17,5	1740
BH3	18	1320
KH1	16,5	1700
KH3	16,5	1350

6.1.2 Priz Süresi Belirlenmesi Deney Sonuçları

Bölüm 3'te detaylı şekilde verilen yöntem ile priz süresi tespiti yapılmıştır. Bu yöntem ASTM C 191 standardına dayanan bir yöntemdir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Priz Süreleri

Referans harcının ilk ve son priz süreleri sırasıyla yaklaşık 180 ila 270 dakika arasında değişim göstermiştir. Büyükbaş kurutulmuş atık hayvan kanının %1 ve %3 oranlarında ilavesi, ilk priz sürelerini sırasıyla yaklaşık %223,33 ve %250 oranlarında artırmıştır. Benzer şekilde, bu ilaveler sonrasında son priz sürelerinde de sırasıyla %90 ve %98 oranlarında artış gözlenmiştir. Elde edilen bu bulgular, büyükbaş kurutulmuş atık hayvan kanının dâhil edilmesinin ilk ve son priz süreleri üzerinde önemli ölçüde artırıcı bir etkiye sahip olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Mevcut literatürde, tarihi yapılarda kullanılan kireç bazlı harçlara büyükbaş kurutulmuş atık hayvan kanı eklenmesinin temel gerekçelerinden birinin priz sürelerini uzatmak olduğu belirtilmektedir. Bu çalışma, literatürdeki bulgularla tutarlılık göstermekte ve bu olgunun anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır [97-98].

6.2 Sertleşmiş Haldeki Harç Malzemesi Deney Sonuçları

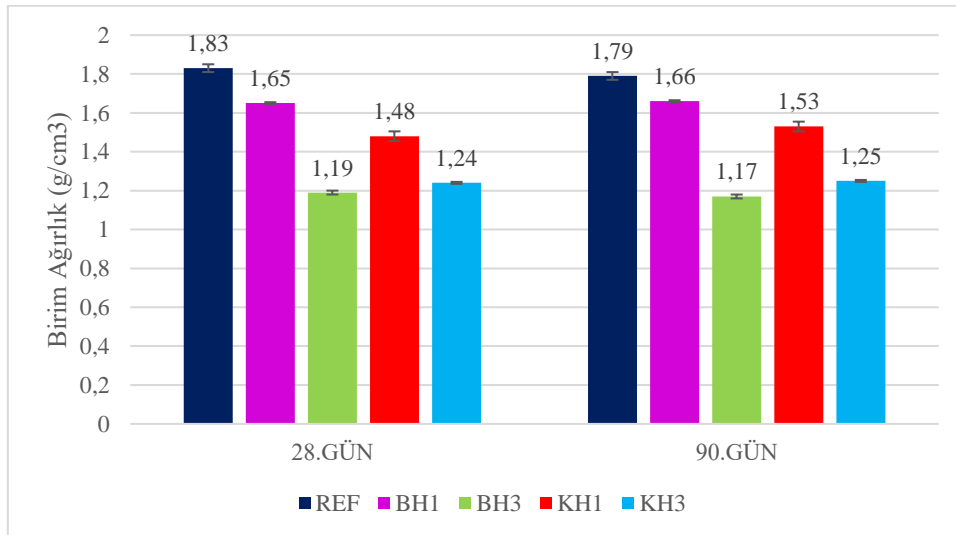
6.2.1 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Deneyler 3. Bölümde anlatılan prosedürlere bağlı kalınarak gerçekleştirilmiş olup deney sonuçları Tablo 6.2'de ve Şekil 6.2' de verilmiştir.

Bu deneysel çalışma sonucunda hem büyükbaş hem de küçükbaş hayvan kanı katkısının harç numunelerinin birim ağırlık değerlerinde azalmaya yol açtığını açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle büyükbaş hayvan kanı katkısının birim ağırlık üzerindeki azaltıcı etkisinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, Kan katkılı serilerde toz malzeme miktarındaki artışa karşın, birim ağırlıktaki azalma ve kıvamda meydana gelen artışın, kan katkısının köpürme özelliğiyle bağlantılı olduğunu düşündürmektedir. Mevcut literatürde, bu köpürme özelliğinin, kanın bileşiminde yer alan proteinlerden kaynaklandığı belirtilmektedir [104-105-106].

Tablo 6.2 Birim ağırlık deney sonuçları

Harç Kodu	Birim Ağırlık (g/cm ³)			
	7. Gün	28. Gün	56. Gün	90. Gün
REF	1,84	1,83	1,8	1,79
BH1	1,62	1,65	1,67	1,66
BH3	1,16	1,19	1,19	1,17
KH1	1,46	1,48	1,51	1,53
KH3	1,21	1,24	1,25	1,25



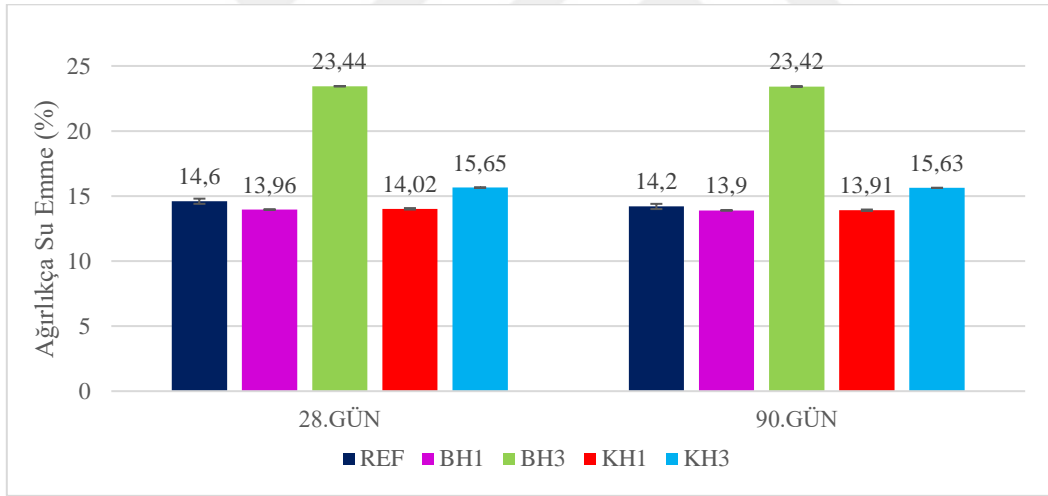
Şekil 6.2 Birim ağırlık deneyi sonuçları

6.2.2 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyleri Sonuçları

Deneyler 3. Bölümde açıklanan standartlara göre yapılmış ve deney sonuçları Tablo 6.3'te ve Şekil 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3 Ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri (%)

Harç Kodu	Ağırlıkça Su Emme (%)				Hacimce Su Emme (%)			
	7. Gün	28. Gün	56. Gün	90. Gün	7. Gün	28. Gün	56. Gün	90. Gün
REF	14,6	14,6	14,5	14,2	26,3	26,2	26,2	25,5
BH1	14,02	13,96	13,91	13,90	22,13	22,07	22,01	21,95
BH3	23,46	23,44	23,44	23,42	30,55	30,11	30,07	30,0
KH1	14,35	14,02	13,99	13,91	23,42	22,98	22,97	22,93
KH3	15,72	15,65	15,63	15,63	28,85	28,41	27,6	27,4



Şekil 6.3 Harç numunelerinin ağırlıkça su emme deneyi sonuçları

Deney sonuçları incelendiğinde; UV ile kurutulmuş büyükbaş atık hayvan kanı katkısı, özellikle yüksek oranlarda (%3) uygulandığında, harç yapısında gözenekliliği artırarak su emme kapasitesinde belirgin bir yükselmeye neden olabileceği kanısına varılmıştır. UV ile kurutulmuş küçükbaş atık hayvan kanı katkısı ise daha sınırlı etkilere sahiptir ve katkı oranı yüksek olsa dahi su emme özelliklerini UV ile kurutulmuş büyükbaş atık hayvan kanı katkısına kıyasla daha az etkilediği tespit edilmiştir. Bu durum, UV ile kurutulmuş büyükbaş atık hayvan kanı katkısının gözenekli bir yapı oluşturarak harç içinde daha fazla su tutmasına

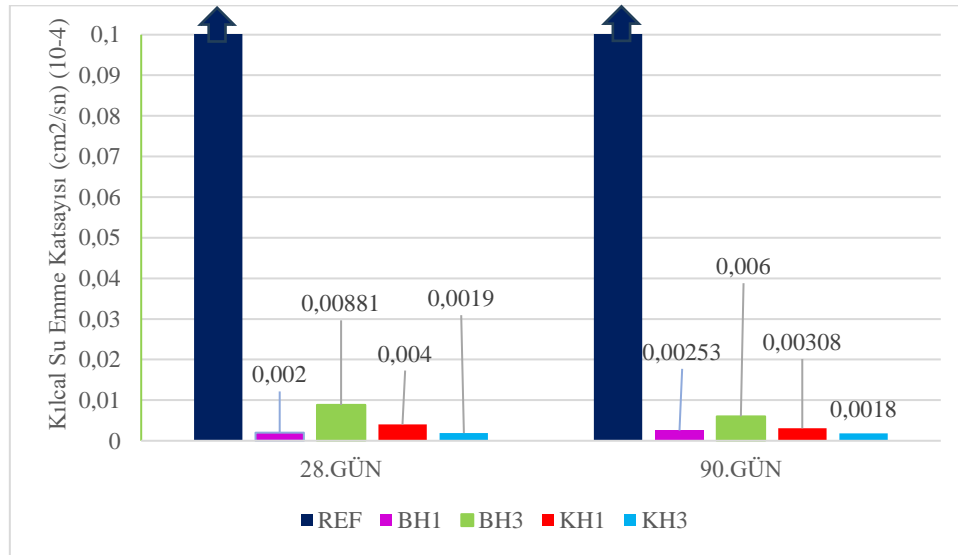
neden olurken, UV ile kurutulmuş küçükbaş atık hayvan kanı katkısının bu etkiyi daha sınırlı düzeyde oluşturduğu kanısına varılmıştır.

6.2.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Kılcal su emme deneyi 3. Bölümde açıklanan TS EN 1015-18 [72] ve TS EN 15801 [73] standartlarına göre yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.4'te verilmiştir. Numunelerin birbiriyle olan farklılıkları Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4 UV ile kurutulmuş harç numunelerinin kılcal su emme katsayıları

SERİ	Kılcal Su Emme Katsayısı ($\times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$)			
	7. Gün	28. Gün	56. Gün	90. Gün
REF	5,1	2,4	1,1	1,0
BH1	7×10^{-3}	2×10^{-3}	$2,53 \times 10^{-3}$	$2,53 \times 10^{-3}$
BH3	0,049	$8,81 \times 10^{-3}$	$4,33 \times 10^{-3}$	6×10^{-3}
KH1	$3,84 \times 10^{-3}$	4×10^{-3}	$4,5 \times 10^{-3}$	$3,081 \times 10^{-3}$
KH3	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-3}$	$1,815 \times 10^{-3}$



Şekil 6.4 Harç numunelerinin kılcal su emme deneyi sonuçları

Yapılan literatür çalışmaları kapsamında [16-31]: kan proteinleri kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile etkileşime girdiğinde, yüksek pH ortamında denatüre olur. Bu denatürasyon, proteinlerin üç boyutlu yapısının değişmesine ve hidrofobik

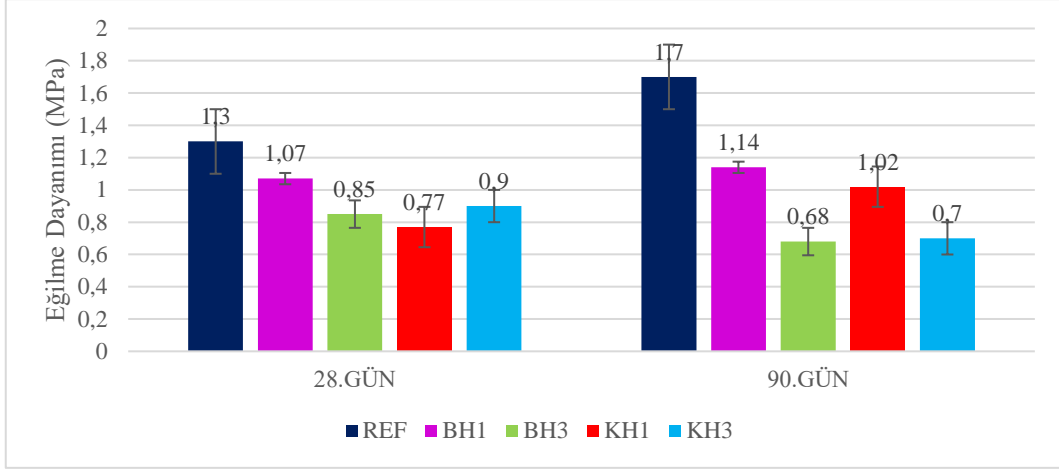
grupların dışarı çıkmasına neden olur. Bu durum, proteinlerin yüzeyde toplanmasına ve suyun yüzeyden daha hızlı buharlaşmasına yardımcı olur. Bunun sonucunda da kan proteinlerinin harcın yüzeyinde yoğunlaşarak kompakt bir katman oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu katman, suyun harçtan hızla emilmesini engelleyerek geçirimsizliği artırır (Tablo 3.5). Bununla birlikte kanın, harç içerisindeki klorürü yüzeye ittiği ve bir nevi bariyer görevi gördüğü yapılan çalışmalarda saptanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda da kan katkısının harcın kılcal su emmesinde yaklaşık %100'e yakın bir iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarda literatürle paralellik göstererek tutarlı sonuçlar verdiği saptanmıştır.

6.2.4 Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri Sonuçları

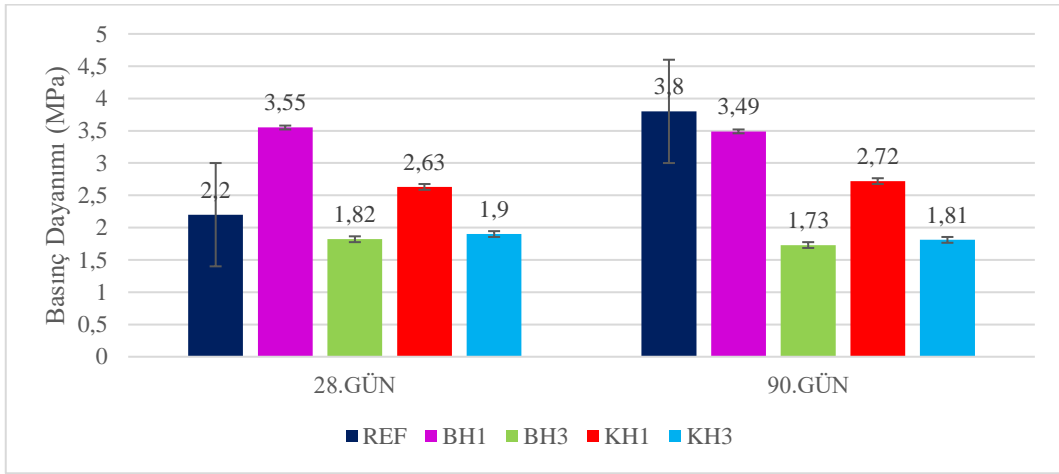
Bölüm 3'te açıklandığı gibi eğilme deneyi TS EN 1015-11 [66] 'na göre gerçekleştirilmiş olup, ortadan ikiye ayrılan numuneler daha düzgün olanları seçilip TS EN 1015-11 [66] standartlarına göre basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları Tablo 6.5'te ve grafik gösterimleri sırasıyla Şekil 6.5, Şekil 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.5 Sertleşmiş harçlarda eğilme ve basınç dayanımı sonuçları

Harç Kodu	Eğilme Dayanımı (MPa)				Basınç Dayanımı (MPa)			
	7. Gün	28. Gün	56. Gün	90. Gün	7. Gün	28. Gün	56. Gün	90. Gün
REF	0,8	1,3	1,5	1,7	1,3	2,2	3,2	3,8
BH1	0,88	1,07	1,2	1,14	1,89	3,55	3,96	3,49
BH3	0,35	0,85	0,71	0,68	0,54	1,82	1,87	1,73
KH1	0,75	0,77	0,99	1,02	1,24	2,63	2,77	2,72
KH3	0,27	0,9	0,7	0,7	0,57	1,9	1,79	1,81



Şekil 6.5 Harç numunelerinin eğilme deneyi sonuçları



Şekil 6.6 Harç numunelerinin basınç deneyi sonuçları

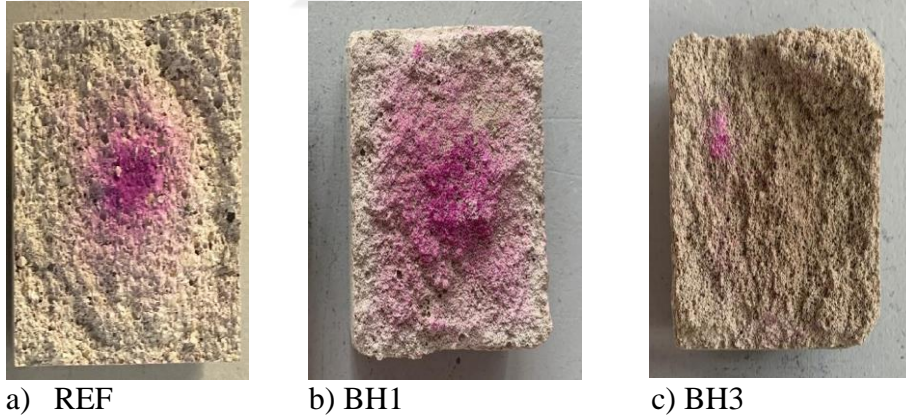
Genel sonuçlara bakıldığında, katkısız numune (REF), eğilme ve basınç dayanımı açısından tüm katkılı numunelere kıyasla en yüksek performansı sergilemektedir. Büyükbaş atık kanı katkısı, küçükbaş atık kanına göre daha iyi dayanım sonuçları sunmakla birlikte, katkı oranının artması dayanım değerlerinde azalmaya yol açmaktadır. Özellikle %1 oranında büyükbaş veya küçükbaş atık kanı katkısı, %3 oranına kıyasla daha yüksek dayanım değerleri sağlamıştır. Bu durum, katkı oranının artmasının malzeme dayanımı üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Tüm bu çıkarımlar doğrultusunda, numunelere eklenen kan katkısının su ile birleşmesi sonucunda meydana gelen köpürme özelliğiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu köpürme, sertleşmiş numunelerde önemli miktarda boşluk oluşumuna yol açmaktadır. Dayanım verilerinin genel olarak birim ağırlık sonuçlarıyla paralellik gösterdiği ve köpürme ile birlikte oluşan boşlukların dayanımın düşmesine neden olduğu sonucuna varılmaktadır [102-103].

6.2.5 Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi Deneyi Sonuçları

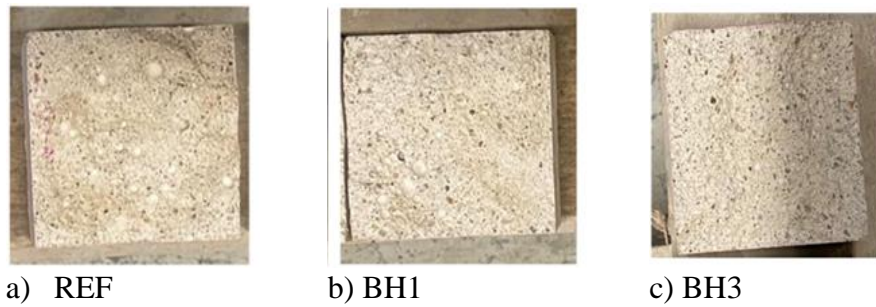
Karbonatlaşma derinliği, malzemelerin iç strüktüründe karbon dioksitin (CO_2) reaksiyonu neticesinde oluşan karbonatlaşmanın ne kadar derine işlediğini belirlemektedir. Betonun karbonatlaşması genellikle çevredeki karbondioksit (CO_2) ile betondaki kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ve diğer hidroksit bileşiklerinin reaksiyona girerek kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşturması süreci olarak tanımlanabilir. Bu reaksiyon, betonun gözenekli yapısı üzerinden ilerler ve yapıların dayanıklılığı açısından önemli etkileri olabilir. Numuneler bölüm 3'te anlatılan fenolfitalin yöntemi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. 7, 21 ve 28.Gün sonuçları Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.7 7. gün karbonatlaşma derinliği



Şekil 6.8 21. gün karbonatlaşma derinliği



Şekil 6.9 28. gün karbonatlaşma derinliği

Doğal hidrolik kireç harcı için karbonatlaşma derinliği, 7. ve 21. günlerde değerlendirilmiştir. Fenolftalein çözeltisi uygulandıktan sonra bir süre beklenmiş ve ardından oluşan mor dairelerin çapları bir kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Referans örneği (REF) için mor dairenin çapı 16,63 mm iken, %1 atık hayvan kanı eklenmiş örnekte bu değer 25,52 mm, %3 atık hayvan kanı içeren örnekte ise 9,12 mm olarak tespit edilmiştir. 28. günde karbonatlaşmanın tamamen sona erdiği görülmektedir (Şekil 6.9). BH1 numunesi, karbonatlaşma derinliği açısından en yavaş ilerlemeyi kaydederken, yani karbonatlaşmaya karşı en yüksek direnci gösterirken, BH3 numunesi bu sürece en savunmasız olanıdır. Bu bulgular, atık hayvan kanının karbonatlaşma süreçleri üzerinde belirgin bir etki yarattığını açıkça göstermektedir. Atık kan katkı oranı arttıkça, daha az karbonatlaşmamış malzeme alanına sahip olduğu gözlemlenmekte olup, bu durumun harçların mukavemetinde farklılıklar yaratabileceği düşünülmektedir.

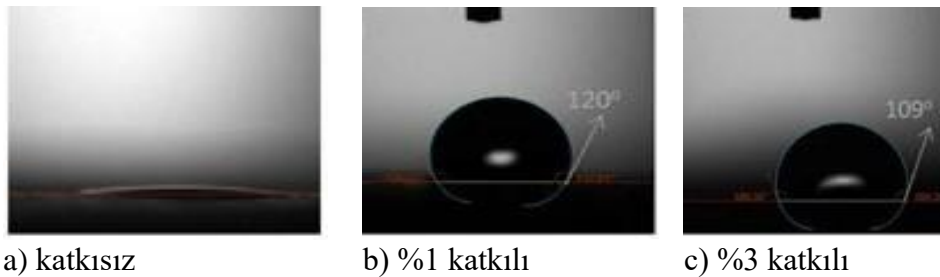
6.2.6 Temas Açısı Deney Sonuçları

Üretimi gerçekleştirilen %1 ve %3 kurutulmuş büyükbaş atık kan katkılı numunelerin 7 ve 28.gün temas açısı deneyleri sonuçları Tablo 6.6'da verilmiştir.

Temas açısı görüntüleri Şekil 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.6 Harç numunelerinin temas açısı sonuçları

Seri	Temas Açısı (o)	
	7. gün	28. gün
REF	-	-
BH1	114	109
BH3	123	120



Şekil 6.10 Sertleşmiş kireç harçlarının 28. gün temas açısı görüntüleri

Temas açısının 90 dereceden büyük olması, yüzeyin hidrofobik özellikte olduğunu, 90 dereceden küçük olması ise hidrofilik özellikte olduğunu göstermektedir. Yapılan incelemeler sonucunda, REF numunelerinin temas açısının 0 derece olduğu tespit edilmiştir. %1 ve %3 oranında UV ile kurutulmuş kan içeren kireç bazlı numunelerin hidrofobik özellikler taşıdığı, özellikle %3 oranındaki numunenin bu açıdan oldukça yüksek bir hidrofobiklik sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durumun kanın yüksek derecede proteinli yapısının bir sonucu olarak hidrofobik özelliğini arttırdığı düşünülmektedir.

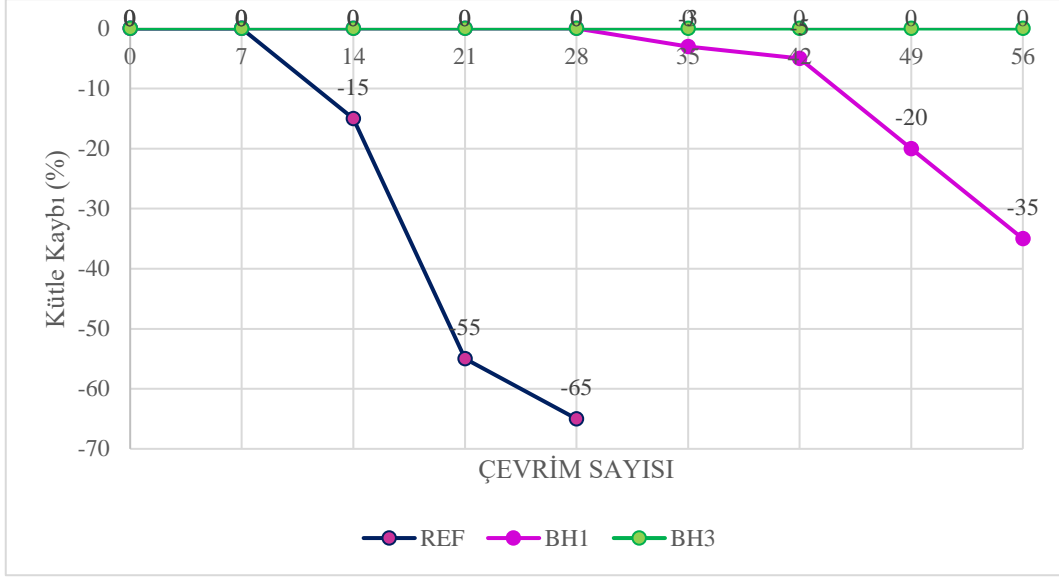
6.2.7 Donma Çözünme Deneyi Sonuçları

Harç numunelerinin üretiminin 56. Gününden sonra donma çözünme deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler bölüm 3'te detaylı anlatılan ve ASTM D560 [81] standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Numunelerin şekil değişimi de Şekil 6.12'de sunulmuştur. Donma-çözülme testinin neden olduğu bozulmaların, %1 UV ile kurutulmuş kan katkılı numune üzerindeki dışarıdan gözlemlenebilir belirtileri Şekil 6.12'de yer almaktadır. Numunelerdeki hasar, döngü sayısının artışına bağlı olarak daha belirgin hale gelmiştir. REF numunesi, on döngülü donma-çözülme işlemi boyunca estetik açıdan büyük ölçüde etkilenmemiştir; yine de yüzeyine yakın gözeneklerde meydana gelen bozulmalardan dolayı bazı hafif hasarlar gözlemlenmiştir. Döngü sayısı arttıkça, numunenin köşelerinde donma-çözülme etkisiyle hasar başlamış ve yüzey deformasyonları giderek artmıştır. Bozulmalar, numunelerin merkezine doğru yayılma göstermiştir. 14. döngüden sonra REF numunesinin görünümünde önemli deformasyonlar meydana gelmiştir. Şekil 6.11'deki veriler incelendiğinde, %3 atık hayvan kanı içeren numuneler, en düşük seviyede bozulma yaşamıştır. Bu durumun kan katkısıyla beraber harç içerisindeki boşluk miktarının artmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 6.11'de görüldüğü üzere, tüm numuneler başlangıç döngülerinde ağırlık kazanmaktadır. Bu ağırlık artışı, şişme eylemi nedeniyle mikro çatlakların ortaya çıkması ile ilişkilidir. İlk döngülerde meydana gelen mikro çatlaklar, gözenekliliği artırmış ve bu da daha fazla su emilimine yol açmıştır. Döngü sayısı arttıkça, numunenin belirli bölgelerinde pullanma ve yüzey hasarları çoğalmış, bu durum sonunda numunenin parçalanmasına ve ağırlık kayıplarına yol açmıştır. Araştırma sonuçları, 28. döngüden sonra REF numunelerinde en büyük kütle kaybının

gerçekleştiğini ve bu numunenin %65 oranında ağırlık kaybettiğini göstermektedir. Ayrıca, %1 atık hayvan kanı içeren harçlarda, 56 döngüden sonra %35 oranında bir kütle azalması gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, %3 atık hayvan kanı içeren harçların kütlelerinde bir azalma kaydedilmemiştir ve deney 56. döngüde sonlandırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, atık hayvan kanı oranının artışıyla birlikte kireç bazlı harcın donma-çözülme direncinin belirgin bir şekilde iyileştiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, kireç harcında kullanılan atık hayvan kanının su itici katkılara benzer etkiler yarattığını düşündürmektedir. Su itici katkılar, daha yüksek bir gözeneklilik sağlarken, hava sürüklenme özellikleri sayesinde daha büyük gözeneklerin oluşumunu teşvik eder. Bunun yanı sıra, kılcal gözeneklerin azalması, bu harçların gözenekli yapısının daha az koheransı olmasına neden olur. Atık hayvan kanının, su itici katkı maddeleri ile benzer davranışlar sergilediği bu bağlamda ayrıca dikkate değerdir [100-101]. Çalışma kapsamında temin edilen atık sıvı kanın ortalama su içeriğinin %82, kuru madde içeriğinin %18, hemoglobin hariç protein oranının %7 ve yağ oranının %0,1 olduğu görülmüştür. Ultraviyole lambalarından yararlanılarak kurutulmuş kanın ise ortalama su içeriğinin %8, ham protein oranının %90 ve yağ oranının %0,35 olduğu tespit edilmiştir. Kan proteinleri kayda değer miktarda köpük oluşturmaktadır. Kurutulmuş kan örneklerinin köpüklenme kapasitesinin ortalama %70 olduğu belirlenmiştir. Numunelerin 10 dakika bekletildikten sonraki köpük stabilitesi %95 olarak belirlenirken, 30 dakika bekletildikten sonraki köpük stabilitesi %90 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan, elde edilen ürünün donma-çözülme dayanıklılık için kullanılan hava sürükleyici katkı malzemesi olarak da yararlanılabileceği; bu amaca yönelik araştırmaların ileriki çalışmalarda yürütülmesi gerektiği görülmüştür.



Şekil 6.11 Harç numunelerinin donma çözülme grafiği



a)

b)

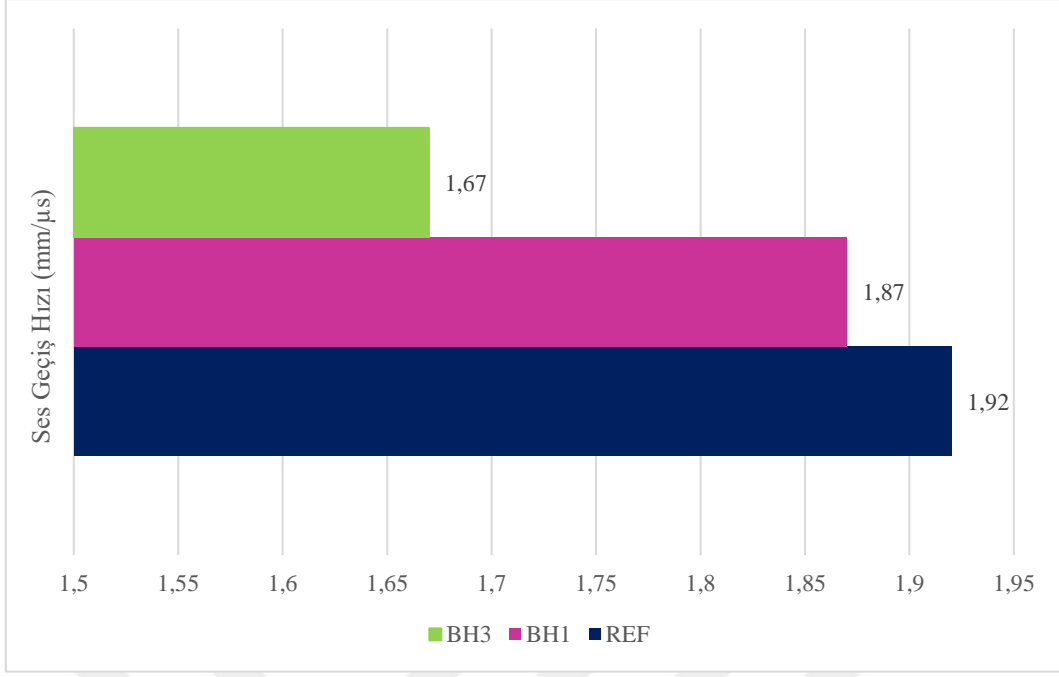
Şekil 6.12 a) Donma çözülme öncesi b) Donma çözülme sonrası

6.2.8 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

Numunelerin donma çözülmeye bırakılmadan önce TS EN 12504-4 [82] standartlarına göre deneyler uygulanmış olup, elde edilen veriler Tablo 6.7'de ve numunelerin birbiriyle olan farklılıkları Şekil 6.13'te gösterilmiştir.

Tablo 6.7 Harç numunelerinin ultrases deney sonuçları

Seriler	Ultrases Geçiş Hızı (mm/μs)	Ultrases Geçiş Süresi (μs)
REF	1,92	83,43
BH1	1,87	87,91
BH3	1,67	99,28



Şekil 6.13 Harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

Analiz edilen veriler, kan katkısının ultrases geçiş hızını belirgin bir şekilde azalttığını göstermektedir. Bu bulgular, ayrıca kanın hava sürekleyici özelliğini güçlendirdiği ve iç yapısındaki gözenekliliği artırdığı yönündeki sonuçları da desteklemektedir.

6.3 Enjeksiyon Malzemelerinin Taze Hal Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, REF, BE1, BE2 ve BE3 adları verilen enjeksiyon malzemeleri, Çizelge 4.1'deki malzeme oranlarıyla üretilmiştir. Bu oranlar, enjeksiyon malzemelerinin taze haldeyken akışkanlık, hacim kararlılığı ve penetrasyon gibi özelliklerini inceleyen deneyler sonucu belirlenmiştir.

6.3.1 Taze Enjeksiyon Malzemeleri Akışkanlık Özellikleri Sonuçları

Serilerin akışkanlık özellikleri, ASTM D6910 standardına [95] göre gerçekleştirilen "Marsh Hunisi" testi ve TS EN445 standardına [96] göre yapılan "Akış Konisi" deneyleri ile ölçülmüştür. Tüm seriler, her iki testte de belirlenen sınır değerleri karşılamaktadır. Akışkanlık özelliklerine dair sonuçlar Tablo 6.8'de sunulmuştur.

Tablo 6.8 Enjeksiyon malzemelerinin akışkanlık özellikleri deney sonuçları

SERİ	Akışkanlık Özelliği Deney Sonuçları	
	Akış Konisi (sn)	Marsh Hunisi (sn)
REF	10	40
BE1	10	43
BE1,5	10	40
BE2	11	33
Limit değer	≤ 25 sn [96]	≤ 45 sn [50,99]

Deneme-yanılma yöntemiyle gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler, belirlenen limit değerleri içinde kalarak gerekli kriterleri karşıladığını göstermektedir.

6.3.2 Taze Enjeksiyon Malzemeleri Hacim Sabitliği Özelliği Deney Sonuçları

Bölüm 4'te de belirtildiği gibi taze enjeksiyon malzemelerinin hacim stabilitesi, terleme deneyi kullanılarak belirlenmektedir. Bu deney, TS EN 445 [85] veya ASTM C 940 [94] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Ortalama deney sonuçları Tablo 6.9'da verilmiştir. Tablo 6.10'da taze hal özelliklerinin uygunluk kontrolü verilmiştir.

Tablo 6.9 Enjeksiyon malzemeleri hacim sabitliği özelliği deney sonuçları

SERİ	Terleme Oranı (%)
REF	2,9
BE1	4,1
BE1,5	4,5
BE2	5
<i>Limit Değer</i>	<i>5 [50,69,88]</i>

Tablo 6.10 Enjeksiyon malzemelerinin taze hal özelliklerine uygunluk kontrolü

SERİ	Akış Konisi (sn)	Marsh Hunisi (sn)	Terleme Oranı (%)	Kum Kolonu T36(sn)	Enjekte Edilebilirlik	Uygunluk Kontrolü
REF	10	40	2,9	4	Kolay	Uygun
BE1	10	43	4,1	8	Kolay	Uygun
BE1,5	10	40	4,5	8	Uygulanabilir	Uygun
BE2	11	33	5	7	Uygulanabilir	Uygun
Limit	≤ 25	≤ 45	<5	<50		

6.4 Enjeksiyon Malzemelerinin Sertleşmiş Hal Özelliklerinin Belirlenmesi

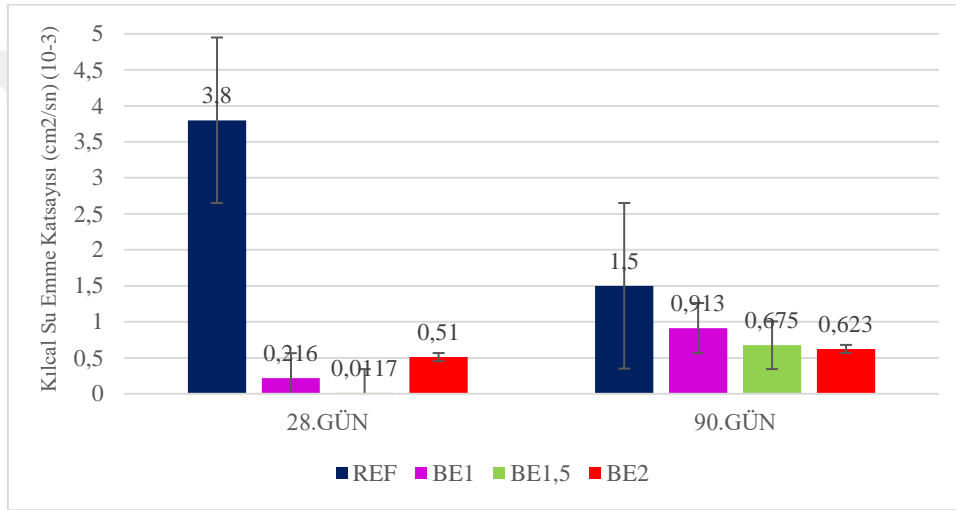
Enjeksiyon malzemesi uygulama koşulları için özel bir standart bulunmadığından dolayı, hava kireç esaslı harçlar için TS EN 1015-11 [66]'te belirtilen uygulama koşulları referans alınmıştır. Numuneler üretim sonrası ilk 7 gün boyunca $\%95 \pm 5$ bağıl nemde tutulmuştur. Bu sürenin ilk 5 günü numuneler kalıp içinde, sonraki 2 gün ise kalıptan çıkarılarak uygulama yapılmıştır. Tüm numuneler, 7. gün sonrasında deney gününe kadar $\%65 \pm 5$ bağıl nemde muhafaza edilmiştir. Uygulama süresince sıcaklık 20 ± 2 °C'de sabitlenmiştir.

6.4.1 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Kılcal su emme testi, bölüm 3'te açıklanan yöntem uygun olarak TS EN 1015-18 [73] ve TS EN 15801 [74] standartlarına göre enjeksiyon malzemesi için gerçekleştirilmiştir. Her bir seri için üç numunede kılcal su emme testi yapılmış ve elde edilen kılcal su emme değerleri Tablo 6.11'de sunulmuştur. Kılcal su emme katsayısını belirlemek için, n değeri kullanılarak ilk 1 saatlik ölçümlerden yararlanılmış, $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği çizilmiş ve doğru eğimden faydalanılmıştır, bu yöntem özgün malzemelerde yapılan deneylerle uyumludur. Kalan numuneler $\%65 \pm 5$ bağıl nemde bekletilmiş kılcal su emme testleri yapılarak ve kılcal su emme katsayıları hesaplanmıştır. Numunelerin 28. ve 90.gün sonundaki sonuçları Şekil 6.14'te sütun grafiğinde gösterilmiştir.

Tablo 6.11 Enjeksiyon numunelerinin kılcal su emme katsayıları

SERİ	Kılcal su emme katsayısı ($\times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$)		
	28. Gün	56. Gün	90. Gün
REF	3,8	2,0	1,5
BE1	0,216	0,595	0,913
BE1,5	0,0117	0,507	0,675
BE2	0,510	0,493	0,623



Şekil 6.14 Enjeksiyon numunelerinin kılcal su emme deneyi sonuçları

Atık hayvan kanı ilavesinin enjeksiyon malzemesine eklenmesi, kireç harçlarındaki gibi birbiriyle bağlantılı gözenek yapısını azaltmakta, bu sayede su emilimini engellemekte veya geciktirmekte olduğu gözlemlenmiştir.

6.4.2 Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları

Eğilme ve basınç deneyleri bölüm 4'te detaylı şekilde anlatılmıştır. Deneyler TS EN 1015-11 [66] standartlarına bağlı kalınarak gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları Tablo 6.12 ve sırasıyla Şekil 6.15, Şekil 6.16'da verilmiştir.

Deney sonuçları irdelendiğinde, katkısız numune (REF) eğilme ve basınç dayanımı açısından tüm katkılı numunelere göre en yüksek değerlere sahip olup, zamanla dayanımda düzenli bir artış sergilemektedir. Katkılı numunelerde ise başlangıç dayanımları kısmen yüksek görünse de ilerleyen günlerde özellikle basınç

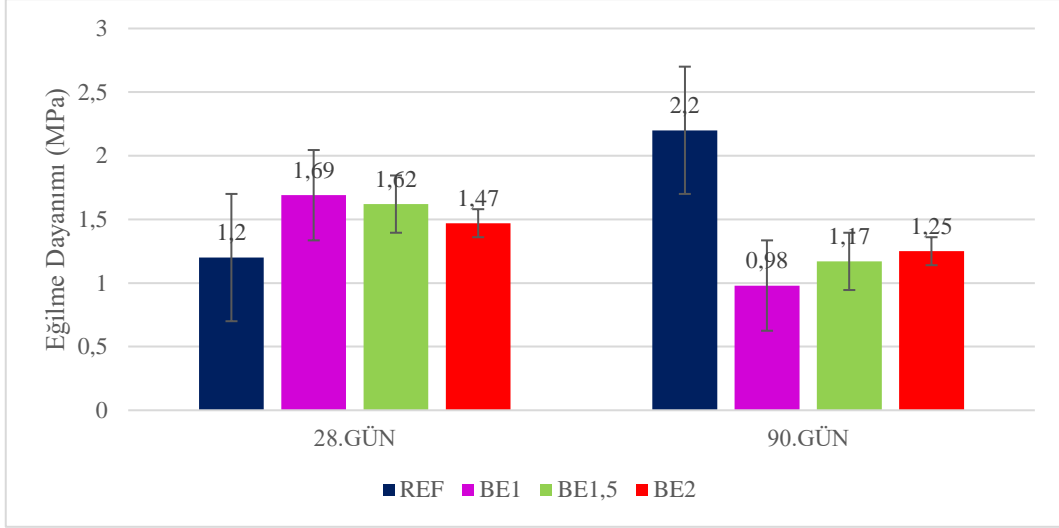
dayanımında belirgin bir düşüş gözlenmiştir. BE1 numunesi, 28. günde katkısız numuneye göre daha yüksek bir eğilme dayanımı sergilerken, ilerleyen günlerde bu değerde ciddi bir düşüş meydana gelmiştir. Bunun olası sebepleri arasında, %1 katkı oranının başlangıçta geçici bir bağlanma etkisi sağlaması, ancak bu etkinin uzun vadede yeterli dayanıklılığı sunamaması olabilir. Organik atık kanı, harç gibi mineral bazlı bir matris içinde uzun vadeli stabilite göstermeyebilir, bu nedenle zamanla katkının yapısal özelliklere zarar vermesi olası olabileceği sonucuna varılmaktadır.

BE2 numunesi başlangıçta daha düşük basınç dayanımı sergileyip, ilerleyen günlerde bu dayanımın daha da düştüğü gözlenmiştir. Bu durum, yüksek katkı oranının matris içinde mikro yapı zayıflığına neden olması ile açıklanabilir. BE2 numunesi, betonun mikroyapısında fazla miktarda organik madde birikmesine ve bu durumun matrisin bütünlüğünü zayıflatmasına yol açabilir. Bu tür yüksek orandaki organik katkıları, enjeksiyon malzemesi içindeki bağların zayıflamasına ve dayanım kaybına neden olabilir.

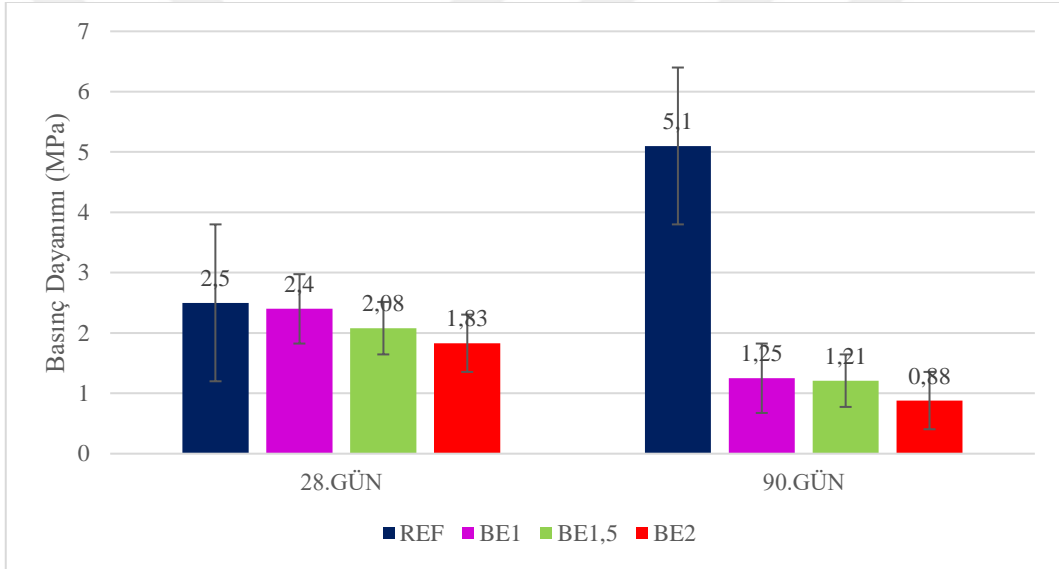
Genel olarak, katkı oranının artması dayanım üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Katkısız numunenin (REF) dayanımı, organik katkıların olmadığı durumda en yüksek seviyededir ve zamanla daha fazla artış göstermektedir. Bu da katkısız yapının daha stabil bir mikroyapı sunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, katkı maddesi oranının artması, özellikle organik kaynaklı maddeler kullanıldığında, malzemenin dayanımını uzun vadede olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.

Tablo 6.12 Sertleşmiş enjeksiyon malzemesinde eğilme ve basınç dayanımı sonuçları

SERİ	Eğilme Dayanımı (MPa)			Basınç Dayanımı (MPa)		
	28. Gün	56. Gün	90. Gün	28. Gün	56. Gün	90. Gün
REF	1,2	1,7	2,2	2,5	3,4	5,1
BE1	1,69	0,99	0,98	2,4	1,84	1,25
BE1,5	1,62	1,2	1,17	2,08	1,72	1,21
BE2	1,47	1,28	1,25	1,83	1,49	0,88



Şekil 6.15 Enjeksiyon numunelerinin eğilme deneyi sonuçları



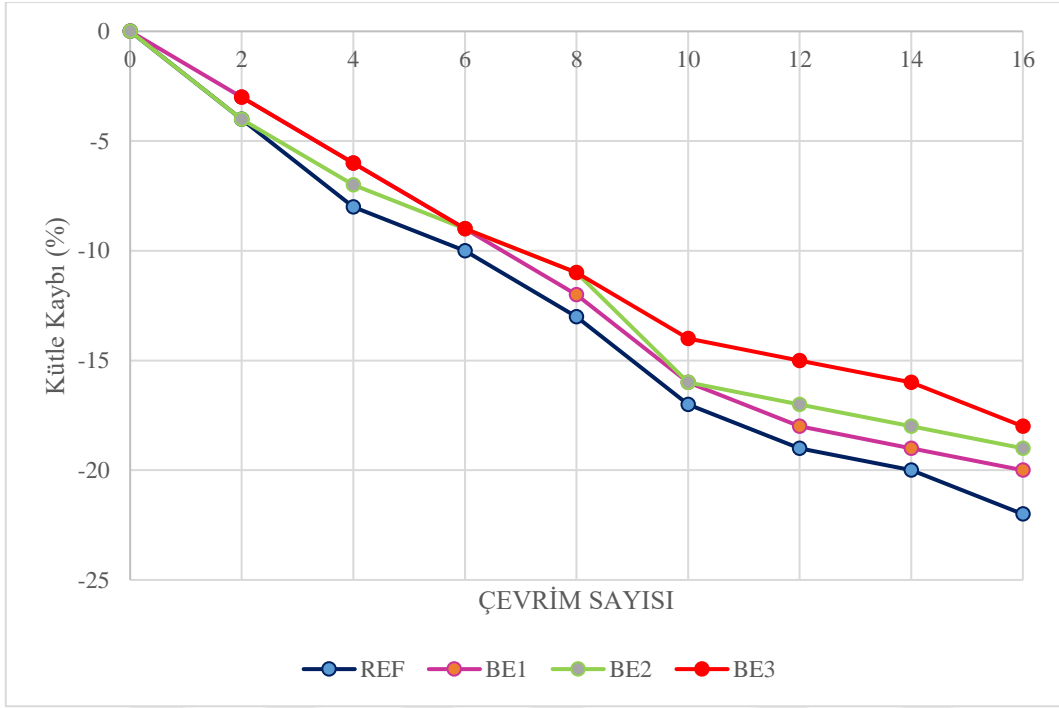
Şekil 6.16 Enjeksiyon numunelerinin basınç deneyi sonuçları

6.4.3 Donma Çözülme Deneyi Sonuçları

Donma çözülme deneyi bölüm 4'te detaylı şekilde anlatılan deney prosedürleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon malzemesi örnekleri 56. günden itibaren testlere maruz bırakılmıştır. Yapılan testler sonucunda enjeksiyon malzemesinin donma çözülmeye karşı direnci Şekil 6.17 ile gösterilmiştir.

Çalışmalar kapsamında atık hayvan kanı hem harçlarda hem de enjeksiyon malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanıldığında donma-çözülme direncini artırma potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar, en fazla kütle kaybının 16. döngüden sonra REF numunesinde gerçekleştiğini ve bu

numunenin %22 oranında kütle kaybına uğradığını göstermektedir (Şekil 6.17). Bu bulgular, atık hayvan kanının enjeksiyon malzemelerinin performansını artırdığını ve donma-çözülme koşullarına karşı daha dirençli hale getirdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 6.18).



Şekil 6.17 Enjeksiyon numunelerinin donma çözülme grafiği



a)

b)

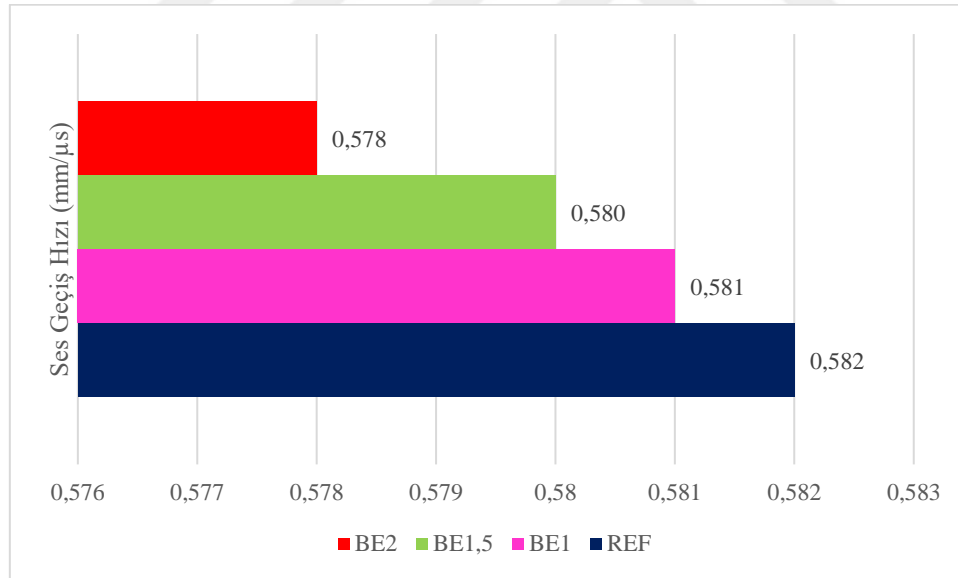
Şekil 6.18 a) Donma çözülme öncesi b) Donma çözülme sonrası

6.4.4 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Enjeksiyonun performansının değerlendirilmesi için, Bölüm 4'te açıklanan yöntemle benzer şekilde TS EN 12504-4 [82] standardına uygun olarak ultrases deneyi gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme deneyinden önce ve sonra UPV deneyi tekrar edilmiş, bu süreç TS EN 12504-4 [82] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 6.13'te verilmiştir.

Tablo 6.13 Enjeksiyon numunelerinin ultrases deney sonuçları

Seriler	Ultrases Geçiş Hızı (mm/ μ s)	Ultrases Geçiş Süresi (μ s)
REF	0.582	274.8
BE1	0.581	275.3
BE1,5	0.580	276.0
BE2	0.578	278.4



Şekil 6.19 Enjeksiyon numunelerinin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

Enjeksiyon malzemesine UV ile kurutulmuş atık kan ilave edilmesi, ultrases geçiş hızında belli bir oranda azalma ortaya çıkarmıştır. Bu gözlem, kanın eklenmesinin iç yapıda gözeneklilik oranını artırmasıyla ilişkilendirilebilir; çünkü artan gözeneklilik, ultrases dalgalarının geçişini engelleyerek hızda bir düşüşe yol açabilir.

6.5 Kurutulmuş Atık Kanın Karakterizasyonu İçin Yapılan Deneyler

6.5.1 Protein Analizi Deney Sonuçları

Bölüm 5’te detaylı anlatılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular Tablo 6.14’te paylaşılmıştır. Her bir grup için 3 farklı numune test edilmiş ortalama değerler alınarak %protein miktarları verilmiştir.

Tablo 6.14 Protein analizi sonuçları

SERİ	Büyükbaş sıvı kan	Küçükbaş sıvı kan	Büyükbaş UV ile kurutulmuş atık kan
% protein miktarı	8.22	5.42	92.09

6.5.2 Kül Analizi Deney Sonuçları

Bölüm 5’te detaylı deney koşulları ve yapılış yöntemleri verilmiştir. Malzemenin protein, yağ ve mineral gibi çeşitli bileşenlerini tayin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bölüm 5’te verilen deney prosedürleri [93] kapsamında deneyler gerçekleştirilmiş olup deney sonuçları Tablo 6.15’te verilmiştir.

Tablo 6.15 Kül analizi deney sonuçları

SERİ	Büyükbaş UV ile kurutulmuş kan	Küçükbaş UV ile kurutulmuş kan
Kül miktarı (%)	4,49±0,06	4,87

6.5.3 Su İçeriğinin Belirlenmesi Deney Sonuçları

Su içeriğinin belirlenmesinde kullanılan yöntem bölüm 5’te anlatılmıştır. Standartlara uyarak [93] etüv kurusu (105C) deneyi ile numunelerin su içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 6.16’da sunulmuştur.

Tablo 6.16 Su içerikleri analiz sonuçları

Grup	Büyükbaş atık sıvı kan	Küçükbaş atık sıvı kan	UV kurutulmuş büyükbaş atık kan
% Su miktarı	84	70	7,10±0,09

7

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, tarihi yapıların onarımında ve güçlendirilmesinde kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemelerine UV ile kurutulmuş atık hayvan kanı katkısının etkilerini araştırmak amacı ile dört farklı enjeksiyon malzemesi ve 3 farklı harç numunesi üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla, üretilen enjeksiyon ve harç malzemelerinin taze ve sertleşmiş hal özellikleri incelenerek kurutulmuş atık kan katkısının enjeksiyon malzemesi ve harç numunesi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmada kullanılan parametreler ile araştırmanın sonunda elde edilen genel sonuçlar ve sunulan öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Atık hayvan kanının karışıma eklenmesi, taze harcın işlenebilirliğini geliştirmiş ve referans harca göre akış değerlerini artırmıştır.
- Numunelerdeki su yükselme miktarlarını kılcallık yoluyla zamanla karşılaştırdığımızda, kan katkılı numunelerin referans numunelere oranla daha düşük su emme özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- UV ile kurutulmuş atık kanın harç içerisinde akışkanlaştırıcı olarak kullanımının, kimyasal bir akışkanlaştırıcıya olan ihtiyacı ortadan kaldıracığı sonucuna varılmaktadır.
- Yapılan bu çalışma doğrultusunda, %1 ve %3 oranlarında UV ile kurutulmuş atık hayvan kanı katkısının, harcın kılcal su emme kapasitesinde katkısız numunelere kıyasla yaklaşık %100'lük bir iyileşme sağladığını göstermektedir. Katkısız numuneler hidrofilik (su çekici) özellikler sergilerken, kuru kan katkısı harca hidrofobik (su itici) özellikler kazandırmıştır. Bu bulgular, atık hayvan kanı kullanımının malzeme özelliklerini önemli ölçüde değiştirebileceğini ortaya koymaktadır.

- Harçlarda uygulanan birim ağırlık deneylerinin sonuçları incelendiğinde, numunelerdeki kurutulmuş atık kan oranının artmasıyla birlikte hem taze hem de kuru birim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.
- Numunelerin mekanik özellikleri, özellikle eğilme ve basınç dayanımı açısından incelendiğinde, atık kan ilavesinin harç ve enjeksiyon malzemelerinin mukavemetini azalttığı gözlemlenmiştir.
- Harç ve enjeksiyon numuneleri üzerinde gerçekleştirilen donma-çözünme deneylerinin sonuçları incelendiğinde, atık kan katkılı hem harç hem de enjeksiyon numunelerinde donma-çözünme direncinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, atık kan katkısının malzeme içerisinde oluşturduğu boşluğun bir sonucunu göstermektedir.
- Atık hayvan kanının büyükbaş veya küçükbaş hayvanlardan temini, deney sonuçlarında önemli bir fark yaratmamıştır.
- Enjeksiyon numuneleri için tüm serilerde, enjeksiyon malzemelerinin üç temel özelliği olan akışkanlık, hacim sabitliği ve penetrasyon, belirlenen sınır koşullarına uygun hale getirilmiştir. Malzemelerin enjekte edilebilirlik performansı, uygulama öncesinde mutlaka test edilmelidir. Bu parametrelerin sağlanması durumunda, numunelerin tarihi yapıların onarımında kullanılabilmesi mümkün olacaktır.

Yapılan genel çalışmaların ana bulgusu, kan ilavesinin harç ve enjeksiyon malzemelerinin su geçirmezlik özelliğini artırdığıdır. Ancak bu durumun yanı sıra, düşük mukavemet gibi olumsuz etkilerin de ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu çalışma sonuçları ışığında, tarihi yapıların onarımında kullanılan UV ile kurutulmuş atık kan katkısının, elde edilen bulgular ve malzeme özellikleri açısından detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Özellikle bu tür katkı malzemelerinin uzun vadeli performansı ve güvenilirliği üzerine daha fazla araştırma yapılması, tarihsel yapıların korunması için kritik önem taşımaktadır.

Günümüzde çevre kirliliğinin önemli sorunlara yol açması nedeniyle, yenilenebilir ve sürdürülebilir yapı malzemelerine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu bağlamda, UV ile kurutulmuş atık hayvan kanının araştırılması ve geliştirilmesi, inşaat sektöründe umut vadeden bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Böyle bir malzemenin kullanımı, sadece çevre dostu uygulamaları desteklemekle kalmayıp,

aynı zamanda yapıların dayanıklılığını ve performansını artırma potansiyeline sahip olabilir. Bu tez kapsamında, UV ile kurutulmuş atık hayvan kanının çevresel etkilerin minimize edilmesi ve yapısal bütünlüğün sağlanması açısından önemli bir katkı sağlayabileceği tartışılmaktadır.



KAYNAKÇA

- [1] Li Bing, Han Jian. (2021). Conservation and regeneration of historical buildings. IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci. 787 012179. doi:10.1088/1755-1315/787/1/012179
- [2] "Historic Building Conservation: Methods and Techniques", National Trust for Historic Preservation.
- [3] Dinç, B. (2018). "Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemelerinin Reolojik Özelliklerine Sıcaklık ve Bekleme Süresinin Etkisi." Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Oktay, D., (2017). Tarihi Kireç Harçlarına Uygun Enjeksiyon Malzemelerinin Üretilmesi ve Model Duvarlarda Uygulanmasının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Fang, S.Q., Zhang, H., Zhang, B.J., & Zheng, Y. (2014). The identification of organic additives in traditional lime mortar. Journal of Cultural Heritage, 15, 144–150. doi:10.1016/j.culher.2013.04.001
- [6] Rao, H., Li, B., Yang, Y., Ma, Q., & Wang, C. (2014). Proteomic identification of organic additives in the mortars of ancient Chinese wooden buildings. Analytical Methods, 7(1), 143-149. https://doi.org/10.1039/C4AY01766H
- [7] Zhang, K., Rampazzi, L., Riccardi, M. P., Sansonetti, A., & Grimoldi, A. (2018). Mortar mixes with oxblood: historical background, model sample recipes and properties. Adv. Geosci., 45, 19–24. https://doi.org/10.5194/adgeo-45-19-2018
- [8] Zhang, K., Grimoldi, A., Rampazzi, L., Sansonetti, A., & Corti, C. (2019). Contribution of thermal analysis in the characterization of lime-based mortars with oxblood addition. Thermochimica Acta, 678, 178303.
- [9] Kalagri, A., Miltiadou-Fezans, A., & Vintzileou, E. (2010). Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures. Materials and Structures, 43(8), 1135–1146. https://doi.org/10.1617/s11527-009-9572-1
- [10] Dinç-Şengönül, B., Yüzer, N., Boylu, S., Erdil, K., and Gündendede, Y.A., "Valorization of Waste Blood as a Chemical Additive in Historical Lime-Based Mortars," Journal Name, vol. Volume, no. Issue, pp. Page Range, Year.
- [11] I. Holmstrom, "Mortars, Cements and Grouts for Conservation and Repair: Some Urgent Needs for Research," [Koruma ve Onarım için Harçlar, Çimentolar ve Harçlar: Araştırma İçin Acil İhtiyaçlar], s. 255.
- [12] E. Y. Gökyiğit Arpacı, "Tarihi Yapılarda Enjeksiyon Yöntemi ile Onarım Çalışmaları," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.

- [13] T. Uğur ve A. Güleç, "Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri," IEEE Makale, pp. 77-91, 2021.
- [14] H. Mete, "Tarihi yapıların malzeme özelliklerinin incelenmesi ve restorasyon süreçleri," Tez çalışması, KTO Karatay Üniversitesi, 2023.
- [15] H. Rao, B. Li, Y. Yang, Q. Ma, and C. Wang, "Proteomic identification of organic additives in the mortars of ancient Chinese wooden buildings," *Analytical Methods*, vol. 7, pp. 143-149, Oct. 2014.
- [16] K. Zhang, H. Zhang, S. Fang, and B. Zhang, "A study of traditional blood lime mortar for restoration of ancient buildings," *Cement and Concrete Research*, vol. 74-76, pp. 232-241, 2015.
- [17] N. IŞIK, "Aspendos'ta Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Özellikleri," Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Mayıs 2019.
- [18] J. Lanas and J.I. Alvarez, "Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior," *Cement and Concrete Research*, vol. 33, pp. 1867-1876, 2003.
- [19] Kozlu, H. H., "Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mayıs 2010.
- [20] P. Vitti, "Mortars and masonry—structural lime and gypsum mortars in Antiquity and Middle Ages," *Archaeological and Anthropological Sciences*, vol. 13, p. 164, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01408-y>
- [21] TS EN 459-1, "Yapı Kireci - Bölüm 1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri," TSE, Ankara, 2015.
- [22] S. Pavia, B. Fitzgerald, and E. Treacy, "An assessment of lime mortars for masonry repair," in *Concrete Research in Ireland Colloquium*, Dublin, December 2005, pp. 101-108.
- [23] C. Şengönül, "Tarihi Taş Duvarların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Malzemesinin Performans Değerlendirmesi," Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2021.
- [24] Xu, D., & Zhang, D. (2022). "Effects of GGBFS on hydration and carbonation process, microstructure, and mechanical properties of NHL-based materials," *Journal of Building Engineering*, vol. 60, p. 105149, 2022.
- [25] Kılıç, İ., "Investigation of Egg White Usage in Khorasan Mortar," *Araştırma Kılıç/Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, vol. 7, no. 1, pp. 122-134, 2021.
- [26] Mahrebel, H. A., "Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2006.
- [27] Yıldırım, Y. H. ve Kuruşcu, A. O., "Tarihi Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Etkinliğinin Değerlendirilmesi," *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture*, c. 6, sayı. 2, ss. 263-289, Ara. 2022, doi:10.53600/ajesa.1123408.

- [28] Zhao, P., Xie, D., Li, G., & Zhang, Y. (2014). An Experimental Study of Pig Blood–Lime Mortar Used on Ancient Architecture in China. *Advanced Materials Research*, 997, 496-499. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.997.496
- [29] S. Fang, K. Zhang, H. Zhang, and B. Zhang, "A study of traditional blood lime mortar for restoration of ancient buildings," *Cement and Concrete Research*, vol. 76, pp. 232-241, 2015.
- [30] J. Li and B. Zhang, "Why Ancient Chinese People Like to Use Organic-Inorganic Composite Mortars?," *Journal of Archaeological Method and Theory*, vol. 26, no. 2, pp. 502-536, Jun. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10816-018-9380-4>
- [31] J. Xu, T. Zhao, P. Zhang, and R. Jiang, "Influence of Ox Blood on Water Absorption of and Chloride Penetration into Concrete," in *Advanced Materials Research*, vol. 261-263, pp. 496-500, 2011.
- [32] Karakuş, F., "Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Sorunlar ve Çözüm Yolları," Yüksek Lisans Tezi, Gazı Üniversitesi, Ocak 2012.
- [33] M. S. Döndüren, Ö. Şişik, and A. Demiröz, "Tarihi Yapılarda Görülen Hasar Türleri," *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, vol. 13, pp. 45-58, 2017.
- [34] G. Croci, "The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage," 1998. Available: <https://books.google.com.tr/books?id=ccXvAwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=tr&pg=PA56#v=onepage&q&f=false>. [Accessed:07.06.2024]
- [35] ÇIRAK, İ. F., "Damages observed in masonry structures, causes and recommendations," *SDU International Technologic Science*, vol. 3, no. 2, pp. 55-60, Feb. 2011.
- [36] İstanbul Bülten, "Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme," İstanbul Bülten, sayı 89/2007, İnceleme.
- [37] BBC Türkçe. "Notre-Dame yangını: Katedral Avrupa kültürünün taşıyıcı kolonlarındandı, yanması herkesten bir parça kopardı." in URL: <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-47943722> [Erişim tarihi 07.06.2024].
- [38] Özkan Önür, Ö., Apay, A. C., & Mutlu, E. (2022). "In Historical Buildings Damage Causitive Structure Physics Factors." *Kültürel Miras Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 244-246.
- [39] S. Tellioğlu, "Tarihi Yapıların Restorasyonu Sırasında Uygulanacak Malzemenin Belirlenmesi ve Göztepe İstasyon Lojmanı Üzerinden Örneklenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, 2023.
- [40] S. Y. Erten and A. Misirli, "Observational Deterioration/Damage Detection of Masonry Buildings: Old Harbiye Barracks," *Bayburt University Journal of Science*, vol. 6, no. 1, pp. 38-50, 2023. [Online]. Available: doi:10.55117/bufbd.1265734.
- [41] Çelik, O. C. (2007). Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi. İnşaat Yüksek Mühendisi.

- [42] ICOMOS Türkiye Mimari Miras Koruma Bildirgesi 2013, StudylibTR, Erişim tarihi: 07.06.2024. URL: https://studylibtr.com/doc/701438/icomos-t%C3%BCrkiye-mimari-miras-koruma-bildirgesi-2013?ysclid=lx0dcaqxzk153081729#google_vignette
- [43] H. G. Kara, "Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2009.
- [44] I. Papayianni and V. Pachta, "Experimental study on the performance of lime-based grouts used in consolidating historic masonries," *Materials and Structures*, vol. 48, no. 8, pp. 2111-2121, 2015.
- [45] D. Akyurt Takır, "Tarihi Yığma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yöntemi ve Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemelerinin (GROUT) Performans Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Şubat 2022.
- [46] A. Bras ve F.M.A. Henriques, "Natural hydraulic lime based grouts – The selection of grout injection parameters for masonry consolidation," ESTBarreiro/IPS, Polytechnic Institute of Setúbal, Portugal ve Department of Civil Engineering, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, doi:10.1109/XXXXX.12345.
- [47] A. Bras ve F.M.A. Henriques, "Performance improvement of hydraulic lime based grouts for masonry consolidation: An experimental study," Conference Paper, June 2013, DOI: 10.2495/STR130351.
- [48] I. Papayianni ve V. Pachta, "Experimental study on the performance of lime-based grouts used in consolidating historic masonries," in *Materials and Structures*, 2015, pp. 2111-2121.
- [49] B. Stille, H. Stille, G. Gustafson, and S. Kobayashi, "Experience with the real time grouting control method," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. xx, no. xx, pp. xx-xx, Sep. 2009. doi: 10.1002/geot.200900036. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/geot.200900036>
- [50] Kalagri, A., Miltiadou-Fezans, A. ve Vintzileou, E., (2010). "Design and Evaluation of Hydraulic Lime Grouts for The Strengthening of Stone Masonry Historic Structures", *Materials structures*, 43: 1135-1146.
- [51] D. Van Gemert and L. Schueremans, "Grout injection of masonry, scientific approach and modeling," Aedificatio Publishers, 1999.
- [52] Binda, L., Modena, C., Baronio, G. ve Abbaneo, S., (1997). "Repair and Investigation Techniques for Stone Masonry Walls", *Construction and Building Materials*, 11(3): 133-142.
- [53] Bras, A.M.A., (2011). Grout Optimization for Masonry Consolidation, Ph.D. Thesis, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- [54] L. G. Baltazar, F. M. A. Henriques, F. Jorne, and M. T. Cidade, "The use of rheology in the study of the composition effects on the fresh behavior of hydraulic lime grouts for injection of masonry walls," *Rheol Acta*, vol. 52, no. 1, pp. 127-138, Jan. 2013.

- [55] A. Bras and F. M. A. Henriques, "Natural hydraulic lime based grouts – The selection of grout injection parameters for masonry consolidation," *Construction and Building Materials*, vol. 26, pp. 135-144, 2012.
- [56] F. Jorne, F.M.A. Henriques, L.G. Baltazar, "Evaluation of consolidation of different porous media with hydraulic lime grout injection," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 16, pp. 438-451, 2015.
- [57] L. G. Baltazar, F. M. A. Henriques, F. Jorne, and M. T. Cidade, "Performance improvement of hydraulic lime based grouts for masonry consolidation: An experimental study," in *Conference Paper*, June 2013, DOI: 10.2495/STR130351.
- [58] Jorne, F., Henriques, F.M. ve Baltazar, L.G., (2015). "Injection Capacity of Hydraulic Lime Grouts in Different Porous Media", *Materials structures*, 48: 2211-2233.
- [59] Papayianni, I. ve Pacht, V., (2015). "Experimental Study on The Performance of Lime-Based Grouts Used in Consolidating Historic Masonries", *Materials structures*, 48: 2111-2121
- [60] E. A. Çongar Bıyıkoglu, "Geleneksel Yöntem ile Kurutulmuş Atık Kan Katkılı Kireç Esaslı Enjeksiyon ve Harç Üretimi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2024.
- [61] E. Özdoğru, "Kan Ununun Modifikasyonu ve Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemesinde Katkı Olarak Kullanılması," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemeleri Programı, Ağustos 2024.
- [62] S. Boylu, "Sürdürülebilir Kireç Esaslı Harç ve Enjeksiyon Malzemesi Üretiminde Atık Hayvan Kanının Katkı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi," Lisans Bitirme Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2024.
- [63] TS EN 1015-2, (2000). Kâgir harcı-Deney metotları-Bölüm 2: İmalatta kullanılan harç yığınlarından numune alma ve deney için hazırlama, TSE, Ankara
- [64] TS EN 1015-6, (2000). Kâgir harcı-Deney metotları-Bölüm 6: Taze harcın boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, TSE, Ankara
- [65] TS EN 1015-3, (2000). Kâgir harcı-Deney metotları-Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), TSE, Ankara.
- [66] TS EN 1015-11, (2000). Kâgir harcı-Deney metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini
- [67] B. Dinç-Sengonül, D. Oktay, N. Yüzer, Effect of temperature, resting time and brick dust (Horasan) on the rheological properties of hydraulic lime-based grouts, *Constr. Build. Mater.* 265(2020), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120644>.
- [68] T. Omur, N. Kabay, N. Miyan, H. " Ozkan, Ç. " Ozkan, The effect of alkaline activators and sand ratio on the physico-mechanical properties of blast furnace slag based mortars, *J. Build. Eng.* 58 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104998>.

- [69] Bras, A. ve Henriques, F.M.A., (2012). "Natural Hydraulic Lime Based Grouts–The Selection of Grout Injection Parameters for Masonry Consolidation", *Construction and Building Materials*, Vol.26(1): 135-144.
- [70] Serhan Ulukaya, (2016). Tarihi Kireç Harcı Özelliklerine Uygun Yeni Malzemelerin Üretimi ve Sayısal Analiz İçin Uygun Malzeme Parametrilerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [71] TS EN 1936, (2010). Doğal Taşlar- Deney Yöntemleri- Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini
- [72] TS EN 1015-10/A1, (2013). Kagir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini, TSE, Ankara
- [73] TS EN 1015-18, (2004). Kagir Harcı - Deney Yöntemleri - Bölüm 18: Sertleşmiş Harcın Kapiler Etkiden Kaynaklanan Su Emme Katsayısının Tayini, TSE, Ankara.
- [74] TS EN 15801, (2010). Kültürel Varlıkların Korunması - Deney Metotları - Suyun Kılcal Emiliminin Tayini, TSE, Ankara.
- [75] M. Stefanidou, I. Papayianni, V. Pachta, Evaluation of inclusions in mortars of different historical periods from Greek monuments, *Archaeometry* 54 (2012) 737– 751, <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2011.00645.x>.
- [76] I. Papayianni, V. Pachta, M. Stefanidou, Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars: The case study of Odeion of the archaeological site of 75 Dion, *Constr. Build. Mater.* 40 (2013) 84–92, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.086>.
- [77] S. Jayasingh, T. Selvaraj, Influence of organic additive on carbonation of air lime mortar–changes in mechanical and mineralogical characteristics, *European Journal of Environmental and Civil Engineering.* 26 (2022) 1776–1791. 10.1080/19648189.2020.1731716.
- [78] I. Rigopoulos, L. Kyriakou, M.A. Vasiliades, T. Kyratsi, A.M. Efstathiou, I. Ioannou, Improving the carbonation of air lime mortars at ambient conditions via the incorporation of ball-milled quarry waste, *Constr. Build. Mater.* 301 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124073>.
- [79] M.A. Oliveira, M. Azenha, P.B. Lourenço, A. Meneghini, E.T. Guimarães, F. Castro, D. Soares, Experimental analysis of the carbonation and humidity diffusion processes in aerial lime mortar, *Constr. Build. Mater.* 148 (2017) 38–48, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.120>.
- [80] K. Luo, J. Li, Q. Han, Z. Lu, X. Deng, L. Hou, Y. Niu, J. Jiang, X. Xu, P. Cai, Influence of nano-SiO₂ and carbonation on the performance of natural hydraulic 70 *conbuildmat.2019.117411*.
- [81] ASTM D 560, (2015). Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures, ASTM, Pennsylvania.
- [82] TS EN 12504-4, (2012). Beton Deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik Darbe Deneyi, TSE, Ankara
- [83] A. Sayar, "Nanofiber Selüloz Katkılı Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemelerinin Taze ve Sertleşmiş Haldeki Özelliklerinin İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2024.

- [84] ASTM D 6910, (2009). Standard Test Method for Marsh Funnel Viscosity of Clay Construction Slurries, ASTM, Pennsylvania.
- [85] TS EN 445, (2012). Şerbet-Öngerilmeli Tendonlar İçin Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- [86] Kalagri, A., Miltiadou-Fezans, A. ve Vintzileou, E., (2010). "Design and Evaluation of Hydraulic Lime Grouts for The Strengthening of Stone Masonry Historic Structures", *Materials structures*, 43: 1135-1146.
- [87] Jorne, F., Henriques, F.M. ve Baltazar, L.G., (2015). "Injection Capacity of Hydraulic Lime Grouts in Different Porous Media", *Materials structures*, 48: 2211-2233.
- [88] Miltiadou-Fezans, A. ve Tassios, T.P., (2013). "Stability of Hydraulic Grouts for Masonry Strengthening", *Materials structures*, 46: 1631-1652.
- [89] BS EN 1771, (2004). Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures - Test Methods - Determination of Injectability and Splitting Tests, British Standards, United Kingdom.
- [90] Duran, A., González-Sánchez, J. F., Fernández, J. M., Sirera, R., Navarro-Blasco, Í., & Alvarez, J. I. (2018). Influence of two polymer-based superplasticizers (polynaphthalene sulfonate, PNS, and lignosulfonate, LS) on compressive and flexural strength, freeze-thaw, and sulphate attack resistance of lime-metakaolin grouts. *Polymers*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/polym10080824>
- [91] Zhao, T. Ve Jiang, L. (2018). "Contact angle measurement of natural materials", *Materials Science*
- [92] Alghunaim, A., Kirdponpattara, S. and Newby, B.Z. (2016), "Techniques for determining contact angle and wettability of powders", *Powder Technology*, 287, 201-215. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.10.002>
- [93] AOAC, "Resmi Analiz Yöntemleri," 17. Baskı, Resmi Analitik Kimyagerler Derneği, Gaithersburg, MD, ABD, 2000, yöntemler 925.10, 65.17, 974.24, 992.16.
- [94] ASTM C 940, (2010). Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM, Pennsylvania.
- [95] ASTM D 6910, (2009). Standard Test Method for Marsh Funnel Viscosity of Clay Construction Slurries, ASTM, Pennsylvania.
- [96] TS EN 445, (2012). Şerbet-Öngerilmeli Tendonlar İçin Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- [97] A. Moropoulou, A. Bakolas, S. Anagnostopoulou, Composite materials in ancient structures, *Cem. Concr. Compos.* 27 (2005) 295–300, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.018>.
- [98] L.-B. Sickels, Organic additives in mortars, *Edinburgh Architect. Res.* 8 (1981) 7–20.
- [99] Miltiadou-Fezans, A., (2012). "Fluidity of Hydraulic Grouts for Masonry Strengthening", *Materials and Structures*, 45: 1817-1828.

- [100] B.A. Silva, A.P. Ferreira Pinto, A. Gomes, A. Candeias, Suitability of different surfactants as air-entraining admixtures for lime mortars, *Constr Build Mater.* 256 (2020). 10.1016/j.conbuildmat.2020.118986.
- [101] A. Izaguirre, J. Lanas, J.I. Alvarez, Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars, *Cem. Concr. Res.* 39 (2009) 1095–1104, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.07.026>.
- [102] Jasiczak, J. And Zielinski, K. (2006), “Effect of protein additive on properties of mortar”, *Cement and Concrete Composites*, 28(5), 451-457. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.12.007>
- [103] Zhao, P., Jackson, M. D., Zhang, Y., Li, G., Monteiro, P. J. M., & Yang, L. (2015). Material characteristics of ancient Chinese lime binder and experimental reproductions with organic admixtures. *Construction and Building Materials*, 84, 477–488.
- [104] Raeker, M.Ö., ve Johnson L.A. (1995), “Thermal and Functional Properties of Bovine Blood Plasma and Egg White Proteins.” *Journal of Food Science*, 60, 4: 685–90
- [105] Zhang, Kun. (2013). “The application history and scientific nature of bloodbased materials in traditional Chinese mortar.” *Sciences of Conservation and Archaeology*. 25. 94-102.
- [106] Lynch, S.A., Mullen, A.M., O'Neill, E.E. and García, C.Á. (2017), “Harnessing the Potential of Blood Proteins as Functional Ingredients: A Review of the State of the Art in Blood Processing”, *Comprehensive Reviews in Food Science And Food Safety*, 16: 330-344.
- [107] Gundogan, R., Can Karaca, A. (2020). Physicochemical and functional properties of proteins isolated from local beans of Turkey, *LWT- Food Science and Technology*, 130, 109609.
- [108] Onsaard, E., Pomsamud, P., & Audtum, P. (2010). Functional properties of sesame protein concentrates from sesame meal. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3(4), 420-431.
- [109] Sun, C., Zhu, Y., Guo, J., Zhang, Y., Sun, G. (2018). Effects of foaming agent type on the workability, drying shrinkage, frost resistance and pore distribution of foamed concrete, *Construction and Building Materials*, 186, 833-839.
- [110] Baltazar, L.G., Henriques, F.M.A., Jorne, F. ve Cidade, M.T., (2013). “The use of Rheology in the Study of the Composition Effects on the Fresh Behaviour of Hydraulic Lime Grouts for Injection of Masonry Walls,” *Rheologica Acta*, Vol. 52(2): 127-138.
- [111] Jorne, F., Henriques, F.M.A. and Baltazar, L.G., (2014). “Evaluation of Consolidation of Grout Injection with Ultrasonic Tomography,” *Construction and Building Materials*, Vol.66: 494-506.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. E., Özdoğru, Y. E., Talas, N., Yüzer, M. O., Yüzer, O. K., Türk, O., Köse. (2024). "Ultraviolet Drying of Ovine Blood and Investigation of Its Usability in Lime-Based Mortars". (İnceleme aşamasında)

Konferans Bildirileri

1. Y. E., Talas, N., Yüzer, B. D., Şengönül, E., Özdoğru, O. K., Türk. (2024). "UV ile Kurutulmuş Atık Hayvan Kanının Kireç Esaslı Harçlarda Değerlendirilmesi", 4. Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, İstanbul, Türkiye.

Projeler

1. Y. E., Talas, N., Yüzer. (2024). "Kurutulmuş Atık Sıvı Kandan Enjeksiyon Malzemesi Üretimi", FYL-2022-5180 Yüksek Lisans Tez Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, İstanbul, Türkiye.
2. N. Yüzer vd. "Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemesi ve Harç İçin Atık Kandan Kimyasal Katkı Üretimi," TÜBİTAK 1001 Projesi, Proje No: 221M279, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, Aug. 2024

Patent

1. Y. E., Talas, N., Yüzer, B. D., Şengönül, E., Özdoğru, M. O., Yüzer. (2024). "UV ile Kurutulmuş Atık Kandan Hidrofobik Yüzey Oluşturan Kimyasal Katkı Üretimi", buluş başlığı ile patent başvurusu yapılmıştır (Başvuru Numarası: 2023/016800).