



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

RESTORASYON HARÇLARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mürüvvet SÖZER

BURDUR, 2021

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

RESTORASYON HARÇLARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mürüvvet SÖZER

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Hakan İNCE

BURDUR, 2021

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Restorasyon Harçlarının Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

17 / 06 / 2021

Mürüvvet SÖZER

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Hakan İNCE'ye teşekkürlerimi sunarım.

2020-YL-0631 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Haziran, 2021

Mürüvvet SÖZER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Harç Nedir?	3
2.1.1. Harç Malzemeleri.....	4
2.1.1.1. Bağlayıcılar	4
2.1.1.2. Agregalar	6
2.1.1.3. Puzolanlar	7
2.1.1.4. Su.....	9
2.1.1.5. Katkılar	9
2.2. Harçların Sınıflandırılması	9
2.3. Tarihi Harçlar	10
2.3.1. Çamur Harçları	10
2.3.2. Alçı Harçları	11
2.3.3. Kireç Harçları.....	12
2.3.4. Roma Betonu.....	14
2.4. Restorasyon Nedir?	15
2.4.1. Malzeme Seçimi İçin Referans Deneyler	17
2.5. Restorasyon Harçları	18
2.5.1. Restorasyon Harçlarının Çeşitleri	19
2.5.1.1. Reçine Bazlı Restorasyon Harçları.....	19
2.5.1.2. Çimento Bazlı Restorasyon Harçları	19
2.5.1.3. Kireç Bazlı Restorasyon Harçları	20
2.5.1.3.1. Hidrolik Kireç Esaslı Restorasyon Harçları	20
2.5.1.3.2. Puzolanik Kireç Esaslı Onarım Restorasyon Harçları.....	21
2.5.1.3.3. Puzolanik Kireç Esaslı Enjeksiyon Restorasyon Harçları	22
2.5.1.4. Hibrit Karışım Restorasyon Harçları.....	23
2.5.2. Restorasyon Harçlarının Karşılaştırılması	24
2.5.3. Restorasyon Harçlarının Kullanımı.....	25
2.5.4. Türkiye’de Restorasyon Örnekleri	28
2.6. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	43
3.1. Materyal.....	43
3.1.1. Hazır Tamir Harçları	43
3.1.2. Doğal Hidrolik Kireç	44
3.1.3. Hamur Kireç	44
3.1.4. Uçucu Kül.....	45

3.1.5. CEN Standart Kum.....	46
3.1.6. Kiremit İrmigi.....	46
3.1.7. Mermer Tozu	47
3.1.8. Su	47
3.2. Aletler ve Cihazlar.....	47
3.2.1. Dijital Terazı.....	47
3.2.2. Hobart Mikseri.....	47
3.2.3. Yayılma Tablası.....	48
3.2.4. Çimento Kalıbı	49
3.2.5. Sarsma Cihazı	49
3.2.6. Etüv.....	50
3.3. Yöntem	51
3.3.1. Harç Serilerinin Üretimi	51
3.3.2. Yayılma Tablası Deneyi	54
3.3.3. Daldırma Ucu İle Taze Harç Kıvam Tayini Deneyi.....	55
3.3.4. Taze Harç Birim Hacim Kütle Deneyi	56
3.3.5. Kuru Birim Hacim Kütle Deneyi	57
3.3.6. Su Emme Deneyi	57
3.3.7. Kılcal Su Emme Deneyi	59
3.3.8. Eğilme Dayanımı Deneyi	61
3.3.9. Basınç Dayanımı Deneyi	62
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	64
4.1. Daldırma Ucu İle Taze Harç Kıvam Tayini Deneyi Sonuçları	64
4.2. Taze Harç Birim Hacim Kütle Deney Sonuçları.....	65
4.3. Kuru Birim Hacim Kütle Deney Sonuçları	67
4.4. Su Emme Deneyi Sonuçları	68
4.5. Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları.....	70
4.6. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	72
4.7. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	73
5. SONUÇ.....	77
KAYNAKLAR.....	79

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Duvar örülmesi sırasında harç uygulaması	4
Şekil 2.2. Kerpiç evlerde çamur harcı kullanımı.....	11
Şekil 2.3. Kerpiç evlerde çamur harcı kullanımı.....	11
Şekil 2.4. Keops Piramidi, Mısır	12
Şekil 2.5. Edirne Gazi Miha Hamamı ve kubbelerinde kullanılan horasan sıva	14
Şekil 2.6. Edirne Gazi Miha Hamamı duvar ve kubbelerindeki horasan harç ve sıvaları .	14
Şekil 2.7. Çanakkale Rumeli Mecidiye Tabyası projelendirilmesi ve restorasyonu.....	15
Şekil 2.8. İstanbul Topkapı Sarayı Bağdat Köşkü restorasyonu	16
Şekil 2.9. Reçine bazlı restorasyon harcı	19
Şekil 2.10. Çimento bazlı restorasyon harcı.....	20
Şekil 2.11. Kireç bazlı restorasyon harcı.....	20
Şekil 2.12. Hidrolik kireç esaslı restorasyon harcının uygulama örneği.....	21
Şekil 2.13. Puzolanik kireç esaslı onarım restorasyon harcının uygulama örneği	22
Şekil 2.14. Enjeksiyon restorasyon harcının uygulama örneği	23
Şekil 2.15. Hibrit karışım restorasyon harcı.....	24
Şekil 2.16. Modern çimento harcı ve doğal hidrolik kireç kullanılarak örölmüş duvarların genleşme derzleri.....	25
Şekil 2.17. Doğal taş varyasyonunu taklit eden uyumlu görünüm.....	25
Şekil 2.18. Onarımdaki yüzey örneği	26
Şekil 2.19. Restorasyon harcının kullanım örneği	26
Şekil 2.20. Restorasyon harcının uyumsuz görünümü	27
Şekil 2.21. Onarımdaki yüzeyin fazla çalışmasıyla elde edilen yamalı görünüm.....	27
Şekil 2.22. Doğal taş a yakın görünüm	28
Şekil 2.23. İstanbul Topkapı Sarayı'nın mutfaklar bölümü restorasyonu kullanım örneği	28
Şekil 2.24. Van Kalesi restorasyonu	29
Şekil 2.25. Kayseri Talas Ali Sait Paşa Sokak restorasyon projesi.....	29
Şekil 2.26. Diyarbakır İç Kale Cephanelik Binası projelendirilmesi ve restorasyonu.....	30
Şekil 2.27. Batman, Hasankeyf Zeynel Bey Türbesi projelendirilmesi ve restorasyonu	30
Şekil 2.28. Balıkesir Taksiryarhis Kilisesi projelendirilmesi ve restorasyonu	31

Şekil 2.29. İstanbul Yıldız Hamidiye Camii restorasyonu	31
Şekil 2.30. İstanbul Fatih Şeyh Süleyman Mescidi restorasyonu	32
Şekil 2.31. Tunceli Salih Bey Camii restorasyonu.....	32
Şekil 2.32. İstanbul Beyoğlu Nusretiye Camii restorasyonu	33
Şekil 2.33. Iğdır Şerafettin Ejder Kervansarayı restorasyonu	33
Şekil 2.34. Edirne Merkez Büyük Sinagog restorasyonu.....	34
Şekil 3.1. Dijital terazi.....	47
Şekil 3.2. Hobart mikseri.....	48
Şekil 3.3. Yayılma tablası	48
Şekil 3.4. 40x40x160 mm boyutlarında çimento kalıbı	49
Şekil 3.5. Harç karışımına uygulanan sarsma işlemi	50
Şekil 3.6. Etüv	50
Şekil 3.7. Yayılma tablası deneyi.....	54
Şekil 3.8. Yayılmış harç karışımı	55
Şekil 3.9. Daldırma ucu ile taze harç kıvam tayini deneyi.....	56
Şekil 3.10. Taze harcın birim hacim kütesinin tayini.....	57
Şekil 3.11. Numunelerin etüvde bekletilmesi	58
Şekil 3.12. Numunelerin suda bekletilmesi.....	59
Şekil 3.13. Kılcal su emme deney düzeneği.....	60
Şekil 3.14. Kılcal su emme deney düzeneği.....	61
Şekil 3.15. Eğilme dayanımı deneyi.....	62
Şekil 3.16. Basınç dayanımı deneyi	663
Şekil 4.1. Daldırma ucu ile taze harç kıvam tayini deney sonuçları	64
Şekil 4.2. Taze harç birim hacim kütle deney sonuçları	66
Şekil 4.3. Kuru birim hacim kütle deney sonuçları.....	67
Şekil 4.4. Kütlece su emme deneyi sonuçları.....	69
Şekil 4.5. Kılcal su emme deneyi sonuçları	71
Şekil 4.6. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları	72
Şekil 4.7. Basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	74

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. RILEM’e göre harç sınıflandırması.....	9
Tablo 3.1. Doğal hidrolik kirecin teknik özellikleri	44
Tablo 3.2. Uçucu külün kimyasal özellikleri ve yoğunluğu	45
Tablo 3.3. CEN standart kum elek analizi	46
Tablo 3.4. Harç karışımlarına giren malzeme miktarları	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: The American Society for Testing and Materials
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
D	: Taze Harcın Birim Hacim Kütlesi (g/cm^3)
D_{kuru}	: Kuru Birim Hacim Kütlesi (g/cm^3)
HA	: Hamur Kireç
Hİ	: Hidrolik Kireç
HİHA	: Hidrolik Kireç + Hamur Kireç
MT	: Mermer Tozu
N	: Kılcallık Katsayısı ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{dk}^{0.5}$)
RILEM	: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures
R_c	: Basınç Dayanımı (N/mm^2)
R_f	: Eğilme Dayanımı (N/mm^2)
S_k	: Kütlece Su Emme Oranı (%)
UK	: Uçucu Kül
μm	: Mikron

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Restorasyon Harçlarının Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması

Mürüvvet SÖZER

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Hakan İNCE

Haziran, 2021

Tarihi yapıların uzun yıllar boyunca korunabilmesi için yapılan restorasyon uygulamalarında, yapıya en az seviyede müdahale edilmesi istenir. Onarımda kullanılacak malzemenin yapının özgün malzemesiyle uyumlu olmasına özen gösterilir. Çoğu zaman hatalı uygulamalar geri dönüşü olmayan hasarlara sebep olur. Bu tür problemleri engellemek için, özgün yapı malzemelerinin özelliklerinin bilinmesi ve bu malzemelere fiziksel, mekanik ve estetik açıdan uyumlu tamir malzemelerinin kullanılması gerekir.

Bu tez çalışmasında tarihi yapıların restorasyon uygulamalarında kullanılabilecek dört seri harç numunesi üretilmiştir. İlk seri olarak onarım ve restorasyon uygulamalarında kullanılan üç çeşit hazır tamir harcı ile üretim yapılmıştır. Diğer üç seride ise hidrolik kireç, hamur kireç ve hidrolik kireç + hamur kireç ile horasan harçları üretilmiştir. Atık mermer tozu ve uçucu külün değerlendirilmesi için, bağlayıcılar %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ile agregalar da aynı yüzdelerde mermer tozu ile hacimce yer değiştirilmiştir. Üretilen harçlara fiziksel ve mekanik deneyler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: kireç, mermer tozu, uçucu kül, horasan harcı, restorasyon harcı, tamir

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0631-YL-20 proje numarası ile desteklenmiştir.

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Investigation of Engineering Properties of Restoration Mortars

Mürüvvet SÖZER

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Hakan İNCE

June, 2021

In restoration applications carried out to preserve historical buildings for many years, it is desirable to intervene in the building at a minimum level. Care is taken to ensure that the material to be used in the repair is compatible with the original material of the structure. Mostly, faulty applications cause irreversible damage. In order to prevent such problems, it is necessary to know the properties of original building materials and to use repair materials that are physically, mechanically and aesthetically compatible with these materials.

In this thesis, four series of mortar specimens have been produced that can be used in restoration applications of historical buildings. In the first series, production has been made with three kinds of ready-made repair mortars used in repair and restoration applications. In the other three series, on the other hand, khorasan mortars have been produced with hydraulic lime, lime putty and hydraulic lime + lime putty. In order to utilize the waste marble powder and fly ash, binders have been replaced by fly ash in 10%, 20% and 30% percentages, and aggregates have been replaced by marble powder in the same percentages by volume. Physical and mechanical experiments have been performed on the produced mortars and the results have been compared.

Keywords: lime, marble powder, fly ash, khorasan mortar, restoration mortar, repair

The present M.Sc. / Ph. D. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Coordinatorship of Scientific Research Projects under the project number of 0631-YL-20

1. GİRİŞ

Birçok uygarlığın izlerini zamana karşı koruyan tarihi yapılar insanların ortak mirasıdır ve insanların tarihi yapıları koruma konusuna önem vermeleri o ülkenin medeniliğini gösterir. Geçmişten bugüne kadar bütün uygarlıklar kendinden önceki uygarlıkların yapılarına ilgi göstermiş ve korumaya çalışmışlardır. Tarihi yapıların onarımı ve korunması için 19. yüzyılda Avrupa’da başlayan çalışmalar, Carte Del Restauro (1932) ve Venedik (1964) Tüzükleri ile yasallık kazanmıştır. Günümüze kadar hazırlanan pek çok yasa, yönetmelik, tüzük ile tarihi yapıların onarımı ve korunmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Tüm bu çalışmalarla; mimari ve kültürel mirasın korunmasının amaçlandığı müdahalelerde yapının özgünlüğünün korunması ve kullanılacak malzemelerin ve malzeme özelliklerinin yapılan projeye uygun testlerle belirlenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Onarımda kullanılacak yeni malzemeler özgün yani önceden kullanılan malzemelerle uyumlu olmalıdır ve oluşabilecek yeni hasarlar engellenmelidir. Tarihi yapıların günümüze ulaşmasında bağlayıcı malzemelerin rolü büyüktür. Yüzyıllardır ayakta kalabilmiş olan tarihi yapılar; yıllar içinde bozulmaya uğrayabilir ve hasar görebilirler. Onarımda ilk amaç yapının hasar görmesine sebep olan faktörleri ortadan kaldırmak, sonrasında hasarlı bölgeye müdahale etmektir (Akbulut vd., 2017).

Yapılar servis ömürleri boyunca çeşitli nedenlerle restorasyona ihtiyaç duyarlar ancak çoğu zaman onarım malzemelerinin özellikleri iyi bilinmediğinden ve bilinçsiz bir şekilde kullanıldıklarından dolayı restorasyondan olumlu sonuçlar alınamamaktadır. Bu da restorasyon yöntemleri ile onarım/güçlendirme malzemelerinin önemini daha da arttırmaktadır (Özturan, 2003; Canbaz ve Güler, 2017).

Doğru bir restorasyon çalışması yapılabilmesi için yapının duvar örgü teknikleri, kullanılan yapı malzemesinin boyutları, harcın renk, doku ve karakter özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Aksi takdirde bilinçsiz çalışmalar yapıya zarar vermektedir (Kahraman, 2008).

Tüm bu bilgiler ışığında, restorasyonda kullanılabilecek harçlar üretilmesi ve üretilen harçların özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı malzemeler ilave edilerek deneysel bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada 4 seri harç üretilmiştir. İlk seride 3 çeşit hazır tamir harcı üretilmiştir. Diğer üç seride ise hidrolik kireç, hamur kireç ve hidrolik kireç + hamur kireç ile horasan harçları üretilmiştir. Üretilen bu harçların

zelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan agregalar belli oranlarda mermer tozu ile baēlayıcı olan kireēler de belli oranlarda uēucu kül ile hacimce yer deēiřtirilmiřtir. Üretilen harēların fiziksel ve mekanik deneylerle mühendislik özellikleri belirlenip hem kendi arasında hem de hazır restorasyon harēları ile karşılaştırılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Harç Nedir?

Kullanılacağı yere uygun olarak granülometrisi belirlenmiş, sınıfı, cins ve özellikleri seçilmiş agrega (kum), çimento, kireç veya alçı gibi bir bağlayıcı ile doğal ve yapay puzolan ve suyun, gerektiğinde katkı maddeleri katılarak homojen bir şekilde karıştırılıp plastik kıvama getirilmesiyle elde edilen yapı malzemesine harç denir.

Harç ve sıvalar çoğunlukla kullanılan bağlayıcı malzemeye (kireç, çimento, alçı vb.) göre adlandırılırlar. Harçların özellikleri kullanılan bağlayıcı malzemenin özelliklerine bağlıdır.

Zamanla harcın bazı özelliklerini iyileştirmek için harç karışımlarına farklı katkı maddeleri ilave edilmiştir. Kan, yumurta, incir sütü, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, organik polimer, akrilik reçine, epoksi reçinesi eklenen maddelere örnek olarak verilebilir. (Mavioğlu, 2011).

Harçlarda genellikle şu özelliklerin olması istenir:

- Yeterli mukavemete sahip olmalı,
- Su ve rutubete karşı geçirimsiz olmalı,
- Boşluksuz olmalı,
- İyi yapışmalı,
- Dış etkilere karşı yüksek dayanıklılığa sahip olmalıdır.

Bu özelliklerden biri eksik olursa harçtan beklenen özellikler olumsuz yönde etkilenir. Harç yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır (Şimşek, 2007):

Bağlayıcı malzemenin cinsi: Bağlayıcı harcın kullanılacağı yere göre seçilmelidir.

Bağlayıcı malzemenin miktarı: Bağlayıcı miktarı önemlidir çünkü az olursa harç dayanıksız olurken, fazla olursa harç ekonomik olmaz, işlenebilme zorlaşır ve yüzeyde çatlamlar oluşur.

Kum: Temiz, boşluksuz ve dayanıklı kum kullanılmalıdır.

Yoğurma suyu: Kullanılan su temiz, içilebilir nitelikte olmalıdır ve gerekenden fazla miktarda kullanılmamalıdır.

Harçların korunması: Harçlar sıcak, rüzgâr, yağmur, şiddetli don ve diğer dış etkilere korunmalıdır.

Yapılarda harç, yapı bileşenlerini oluşturan elemanların birbiri ile bağlantısını sağlamak amacıyla kullanılır. Harç sayesinde bileşene gelen basınç yükleri dağılır. Ayrıca

harç, bileşenin esnemesini de sağlar. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi harçlar yapılarda tuğlaların birbirine tutturulmasında, duvarların sıvanmasında kullanılır. Harç kullanımının diğer bir amacı da hava şartlarına dayanıklı bir bağlayıcı olan harç sayesinde, yapı elemanlarının çevresel faktörlerden korunmasıdır ve bu sayede bütün yapının beraber çalışması sağlanır.

Genel olarak yapılarda kullanılan harçlar üç çeşittir. İlk çeşit olan duvar harçları duvarın yatay ve düşey boşluklarının doldurulmasını sağlar ve duvarı oluşturan elemanları birbirine bağlar. İkinci çeşit sıva harçlarıdır, bu harçlar da duvarı oluşturan elemanların birlikte çalışmasını sağlar, gelen yatay ve düşey kuvvetlere karşı duvarın dirençli olmasını sağlar. Duvardaki sıva sargı etkisi yaratır ve duvara rijitlik kazandırır. Son olarak suyla teması olan yerlerde, suyun sızmasını önlemek için yüksek dozajda çimento karıştırarak elde edilen harçlar ise şaptır (Mavioğlu, 2011).



Şekil 2.1. Duvar örülmesi sırasında harç uygulaması (URL-1, 2019)

2.1.1. Harç Malzemeleri

2.1.1.1. Bağlayıcılar

Bağlayıcı malzemeler, doğal kalker taşlarının pişirilmesiyle elde edilen ve ince toz halinde olan, su eklendiğinde plastik bir hamur haline gelen, zamanla suyunu kaybedip sertleşerek dayanım kazanan yapı malzemeleridir. Bağlayıcılar harçtaki agregaları bağlar. Bağlayıcılar bileşimlerine ve priz özelliklerine göre; hidrolik bağlayıcılar (su bağlayıcıları) ve hidrolik olmayan bağlayıcılar (hava bağlayıcıları) olarak 2’ye ayrılırlar. Hidrolik

bağlayıcılar, havada ve suda priz yapma özelliği gösteren bağlayıcılardır. Hidrolik olmayan bağlayıcılar ise yalnızca havada priz yapan bağlayıcılardır. Yapı harçlarında kullanılan önemli bağlayıcılar alçı, kireç ve çimento olarak sıralanabilir (Olgun, 2012).

Kireç; bilinen en eski bağlayıcıdır. Kireç taşı da denilen kalker taşlarının 850-900 °C’de pişirilmesi ile kolay ufalanabilir parçalar elde edilir, bu parçalara kireç denir. Havada veya suda sertleşme özelliği olan, beyaz renkli, amorf yapılı ve inorganik yapı malzemesidir. Kireç dört aşamada üretilir. Kireç taşının pişirilmesi (sönmemiş kireç), kirecin su ile söndürülmesi (sönmüş kireç), sönmüş kirecin kurutulması ve son olarak paketleme aşamasıdır. Başlıca kireç çeşitleri aşağıdaki gibidir: (Yalçın, 2021).

Yağlı kireç (hava kireci): Genellikle kalsiyum oksit veya kalsiyum hidroksitten oluşurlar. Yağlı kireç karbondioksit ile reaksiyona girerek havada yavaş sertleşir.

Sönmemiş kireç: Kalsiyum oksit ve magnezyum oksitten oluşan hava kireçleridir. Sönmemiş kireçler, büyük parçalar veya öğütülmüş ince toz şeklindedirler.

Söndürülmüş kireç: Sönmemiş kirecin su ile söndürülmesi sonucu oluşan hava kirecidir. Çoğunluğu kalsiyum hidroksit veya magnezyum hidroksitten oluşur. Söndürülmüş kireçler, kuru toz veya hamur olarak üretilirler. Söndürülmüş kirecin bir türü olan hamur kireç; tipine göre havada veya suda sertleşir. Sürüldüğü yerde oldukça iyi tutunur ve kalıcı olur. Bu yüzden yaygın kullanıma sahiptir. Hamur kireç, binaların kolon, kiriş ve perdeleriyle tuğla arasındaki derzlerde elastik yapı oluşturur ve çatlama oluşumunu engeller. Yapıda elastiklik sağlandığından kalıcı hasarlar önemli ölçüde azalır. Hamur kireç kullanımıyla, nefes alan yapılar, kolay boya tutunumu, zaman ve işçilikten tasarruf, her türlü malzeme ile iyi aderans, maliyet avantajı, çevre ve inşaat alanında temizlik gibi avantajlar sağlanır.

Dolomitik kireç: Dolomit taşının, 900-1000 °C’de pişirilmesiyle elde edilir. Kalsiyum oksit ve magnezyum oksitten oluşan sönmemiş kireçlerdir.

Hidrolik kireç (su kireci): İçeriğinde %10-25 oranında kil bulunan kireç taşının pişirilmesi, söndürülüp öğütülmesiyle üretilen ve esas olarak kalsiyum silikat, kalsiyum alüminat ve kalsiyum hidroksit içeren kireçlerdir. Hidrolik kirecin dayanımı yüksektir ve su altında sertleşme özelliği vardır. Bu yüzden suyla teması olan veya su içindeki yapılarda kullanımı uygundur.

Kirecin yapılarda kullanılabilmesi için söndürülmesi gerekir. Kirecin söndürülmesi sönmemiş kirece su ilavesiyle veya kirecin havada bulunan nem ile reaksiyona girmesiyle olur. Söndürme işlemi sırasında kullanılan suyun özelliği, su/kireç oranı ve karıştırma şekli kirecin özelliklerini etkiler. Söndürme işleminde kullanılan suyun sıcaklığı işlemi

hızlandırmaktadır ancak yüksek sıcaklıklarda kireç topaklanarak plastiklik özelliğini kaybeder (Mavioğlu, 2011). Yapılarda duvar harcı olarak, çimento veya alçı harçlarına karıştırılarak ya da kaba ve ince sıva harcında kullanılır.

Alçı; doğal alçı taşının (jips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 120-190 °C’lerde pişirilmesi ve öğütülmesi ile elde edilen ve su eklendiğinde hızlı bir şekilde katılaşarak bağlayıcılık özelliği gösteren yapı malzemesidir. Genellikle alçıtaşı içerisinde kireçtaşı (CaCO_3), kil, demir oksit, kum ve SiO_2 bulunur. Beyaz renklidir ancak içeriğindeki bileşenlere göre farklı renklerde de olabilir (Mavioğlu, 2011).

Çimento; kil ve kalker kökenli hammaddelerin belli oranlarda karışımının 1200-1500 °C’lerde pişirilmesiyle elde edilen klinkerin alçıtaşıyla öğütülmesiyle üretilen, havada ve suda sertleşebilen, gri veya beyaz renkte toz bağlayıcıdır. Çimento 20. yüzyılın başından beri harç ve betonda hidrolik bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Çimentonun ana hammaddeleri kireçtaşı (kalker) ve kildir. Çimentonun özelliklerine çimentoyu oluşturan ana hammaddelerin miktarları etki eder. Ana hammaddelerin miktarlarına ve pişirilme sıcaklıklarına göre farklı türde çimentolar üretilir. Çimentonun üretimi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonları düzenlemek için çeşitli katkı malzemeleri eklenir. Çimentolar genel olarak portland çimentoları ve katkılı çimentolar olarak 2 gruba ayrılırlar. İnşaatlarda kullanılacak tüm çimentoların üretimleri Türk Standartlarına uygun olmalıdır. (Olgun, 2012).

2.1.1.2. Agregalar

Agrega; farklı boyutlarda sert tanelerden oluşan mineral kökenli malzemedir. Agregalar en çok kum ve çakıl kullanılır. Üretim şekillerine göre 2 çeşittir. Bunlar doğal ve yapay agregalardır.

Kum, harçların iskeletini oluşturan yapı malzemesidir. Bunu sebebi kumun bağlayıcı malzemeden daha ucuz olmasıdır. Harçta kullanılacak kumun bazı özelliklere sahip olması istenir. Bu özellikleri şöyle sıralayabiliriz; sertlik, bağlayıcı malzeme ile kimyasal reaksiyona girmeme, yuvarlak taneli olma, harç suyunu emmeme, kil veya silt bulundurmama, uygun granülometri. Kum, doğal olarak kum ocakları, dere ve akarsu kenarları ya da denizlerden elde edilir. Kumlar kayalardan ayrışır ve kumlarda ayrıştıkları kayaya ait özellikler görülür. Yapılarda genelde sert ve silisli kumlar tercih edilir.

Harç yapımında kullanılan agregaların boyutları iyi ayarlanırsa küçük boyutlu agregalar büyük boyutlu agregaların arasını doldurur. Bunun sonucunda kullanılacak

bağlayıcı miktarı azalır, harç daha dayanıklı olur. Harcın kuruması sırasında en fazla rötreyi yapan bağlayıcı miktarı azalınca oluşan çatlaklarda azalmaktadır (Mavioğlu, 2011).

Çevre kirliliğini önlemek amacıyla atık maddelerin kullanılması kapsamında, harçlarda agrega olarak kullanılabilen bir diğer malzeme mermer tozudur. Kireç taşı olarak da bilinen kalsiyum karbonat yani mermer taşı sık kullanılan bir kimyasal bileşiktir. Doğada deniz kabuklarında ve eski kayaçlarda sık rastlanmaktadır. Mermer tozu üretimi, moloz büyüklüğündeki mermer parçalarının ocaklarda patlatma yöntemi ile yapılmaktadır. Mermer tozları, mermer atıklarının en küçük boyutudur ve çoğunluğu 300 mikronun altında büyüklüğe sahiptir (Sağlam Çitoğlu ve Bayraktar, 2018). Mermer tozları yapı ve inşaat sanayi, çimento imalat sanayi, yol yapımı gibi sektörlerde ana hammadde veya dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kağıt, plastik, boya, şeker, kimya ve yem sanayilerinde yan ürün olarak kullanılmaktadır (Ünal ve Kibici, 2001).

2.1.1.3. Puzolanlar

Tek başına bağlayıcılık özelliği göstermeyen veya çok az gösteren ancak kireç ile reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanan amorf silikatlar ve alüminatların oluşturduğu agregalara puzolan adı verilir. Puzolanlar elde ediliş şekillerine göre 2 çeşittir. Bunlar doğal ve yapay puzolanlardır. İlk grup olan doğal puzolanlara volkanik kül, tuf, tras, opal gibi malzemeler örnek verilebilir. Kiremit, tuğla ve benzeri pişmiş malzemeler, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü gibi malzemeler de yapay puzolanlar grubuna örnek olarak verilebilir (Mavioğlu, 2011).

Doğal puzolanlar, az veya çok değişime uğramış volkanik kökenli doğal tortul kayaçlardan oluşurlar. Doğal puzolanların volkanik kökenli ve ısıtılmış işlem görmüş olmak üzere iki çeşidi vardır. Bunlardan volkanik kökenlilere örnek olarak; volkanik camlar, volkanik tüfler ve traslar örnek verilebilir. Isıtılmış işlem görmüş puzolanlara ise killi ve şeylleri, diatomitler örnek verilebilir (Gündeşli, 2008).

Yapay puzolanik malzeme grubundan tuğlanın ham maddesi kildir. Kilden üretilen malzemeler pişirilmiş ve pişirilmemiş olarak 2'ye ayrılmaktadır. Pişirilmemiş malzemeye örnek olarak kerpiç verilebilir. Tuğla, kiremit ve künkler de pişirilmiş malzemelere örnek verilebilir. Tuğla ve kiremit aynı şekilde üretilir ancak farklı şekilde kalıplanırlar. Tuğlanın özellikleri birçok faktöre göre değişmektedir. Bunları tuğla toprağının karışım oranı, üretim tekniği, pişirilme şekli ve pişirildiği sıcaklık derecesi olarak sıralayabiliriz. Tuğlanın ucuz olmasından dolayı kullanımı yaygındır. Tuğlanın birçok avantajı vardır, tekniğine uygun üretilirse dış etkilere ve donatı dayanıklılıkları, su emme ve basınç

dayanımları yüksek olur. Tuğlanın ısı yalıtımı yüksektir. Roma Dönemi'nde harç ve sıva içine katılan tuğla kırıklarının bağlayıcı etkisi dışında, su tutma etkisinden de yararlanılmıştır (Eroğlu ve Akyol, 2017).

Kiremit üretilirken çamur makinesinde yatay, pres makinesinde ise dikey basınçla sıkıştırılır. 950 °C'de pişer ve bu yüzden mukavemet kazanır. Yükleme sırasında kırılan kiremitler olur, kırık kiremitlerden kiremit tozu ve irmiği imal edilir. Kiremit irmiği ekonomiktir ve bakım gerektirmez. Kullanılacak olan kiremit irmiğinin içeriğinde kömür tozu, toprak gibi yabancı maddeler bulunmamalıdır. Elle ezildiğinde ufalanmayan, renginde solma ya da beyazlaşma olmayan ve sulandığında renk değişikliği olmayan kiremit irmiği tercih edilmelidir. Geçirgenlik ve nem tutma özelliğine sahiptir. Kiremit irmiği; spor tesislerinde, futbol sahalarında, tenis kortlarında, yürüyüş ve koşu yollarında, akvaryumlarda, renkli sıva olarak ve tarihi eser onarımlarında (horasan harcı) kullanılır.

Endüstriyel bir atık olan uçucu kül, düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda uçabilen kül tanecikleridir. Uçucu külün fiziksel özellikleri yakılan kömüre ve yanma sistemine göre değişir. Rengi gridir ve içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça rengi daha koyu olur. Uçucu kül, %60 ile %90 arasında camsı bileşen içerir. Uçucu külün çapları, 1-200 µm arasında değişir ve yuvarlak şekillidir. Uçucu külün özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olduğu için öğütmeden kullanılabilir (Aruntaş, 2006).

Yüksek fırın cürufu, demir çelik üretimi esnasında açığa çıkan yan üründür. Su ile soğutulan sıcak yüksek fırın cürufunun küçük parçalar şeklinde katılaşması sağlanır. İçeriğinin çoğunluğunu silika, alümina ve kalsiyum oksit oluşturur. Büyük boyutlu (4-15 mm) yüksek fırın cüruflarının kısmen kristal yapıları vardır ve gözenekleri çoktur. Hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılırlar. 4 mm'den küçük boyutlu yüksek fırın cüruflarının ise camsı yapıları vardır ve çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılırlar (Kocabıyık, 2010).

Çimento tanelerinin %1'i kadar ince taneli olan silis dumanının aktivitesi çok yüksektir. İçeriğindeki silika miktarı fazladır ve amorf yapılıdır. Çimento üretiminde, betonda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Kocabıyık, 2010).

Romalı mimar Vitruvius "Mimarlık Üzerine On Kitap" adlı eserinde, puzolanik malzemelerin "pozzolana" (puzolan) olarak anılmaya başlanmasından ve Romalıların puzolanın hidrolik özelliğini keşfetmesinden bahsetmektedir (Vitruvius, 1990).

2.1.1.4. Su

Yabancı madde içermeyen, temiz içilebilir nitelikte su kullanılmalıdır.

2.1.1.5. Katkılar

Harcın su geçirmezliğinin, işlenebilirliğinin ve çalışma kolaylığının artırılması gibi isteklerin karşılanması amacıyla harç katkılarının kullanımı günümüzde ihtiyaç haline gelmiştir. Katkılar harcın; bağlayıcılık, sertlik kazanması ve harcı istenen özelliğe getirmek için kullanılır. Arap zıkkı, incir sütü ve tutkalın harçta kullanılma amacı yapışkanlıktır. Kirecin çabuk sertleşmesi veya geç sertleşmesi içinde bazı katkıları kullanılmıştır. Domuz yağı, çavdar hamuru, kesik süt kirecin hızlı sertleşmesini sağlayan katkılardandır. Yumurta akı ve kanın da harcın sertleşmesini geciktirme özelliği vardır. Balmumu harçtaki büzülmeyi önlemektedir. (Böke vd., 2004).

2.2. Harçların Sınıflandırılması

RILEM'e (Uluslararası İnşaat Malzemeleri, Yapı Sistemleri Laboratuvarları ve Uzmanlar Birliği) göre harçlar, Tablo 2.1'de görüldüğü gibi iki gruba ayrılmaktadır (Palomo vd., 2002).

Tablo 2.1. RILEM'e göre harç sınıflandırması

Yapılardaki Kullanımına Göre	Harçta Kullanılan Bağlayıcı Cinsine Göre
Sıva harcı	Kireç harçları
Kaplama uygulamalarında kullanılan harçlar (kaldırımlar, zeminler, duvarlar diğer mimari elemanlar, vb.)	Kireç ve puzolanik maddelerden oluşan harçlar
Dekorasyon uygulamalarında kullanılan harçlar (rölyefler, vb.)	Hidrolik bağlayıcılardan oluşan harçlar
Duvar harcı	Alçı harçları
	Killi bağlayıcılardan oluşan harçlar
	Organik bağlayıcılardan oluşan harçlar
	Birden fazla bağlayıcıdan oluşan harçlar

2.3. Tarihi Harçlar

Tarihi harçlar kompozit materyallerdir. Bağlayıcı malzemelerden, agregalardan ve katkı maddelerinden oluşmaktadır. İçerisine katılan bileşenlere göre özellikleri değişir. Tarihi harçların çeşidi olan çamur, alçı ve kireç harçları temel yapı bileşeni olarak tarih boyunca kullanılmıştır.

Antik dönemlerde sıvalara ve harçlara yumurta, peynir, reçine, kan gibi organik veya pişmiş toprak (kırılmış ve öğütülmüş olarak) gibi inorganik maddeler eklenirdi. Eklenen bu maddelerin sertleşmeyi sağlamak, sertleşmeyi geciktirmek ve dayanımı artırmak gibi farklı görevleri vardır. Sıvalarda bağlayıcı olarak kireç ve alçı kullanılarak dayanıklılıkları arttırılmıştır. Dolgu maddesi olarak da kum, puzzolana, mermer ve tuğla parçacıkları kullanılmıştır. Kullanılan dolgu maddesi miktarı ve kalitesi harç ve sıvaların dayanımını doğrudan etkilemektedir (Aktaş, 2010).

Ülkemizde 1981 yılında tarihi harçlar ve tarihi harçlarla uyumlu çalışabilecek tamir harçlarıyla ilgili ilk deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan horasan harç ve sıvalarının fiziksel ve hidrolik özellikleri, harç karışımına agrega olarak eklenen tuğla ile ilgili vb. birçok bilgiye ulaşılmaktadır (Mavioğlu, 2011).

2.3.1. Çamur Harçları

Günümüzde hala yaygın olarak kullanılan çamur, antik yapılarda kullanılan harçların ilk bağlayıcı malzemesi olmuştur Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te çamur harçlarının kullanım örnekleri görülmektedir. Çamur harçları, toprak ve su birleşimine eklenen hayvan kılları, saman ve otlardan oluşmaktadır. Antik Mısır'da kerpiç harçlar tuğlaları bağlamak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Kerpiç evlerde çamur harcı kullanımı (URL-2, 2019)



Şekil 2.3. Kerpiç evlerde çamur harcı kullanımı (URL-2, 2019)

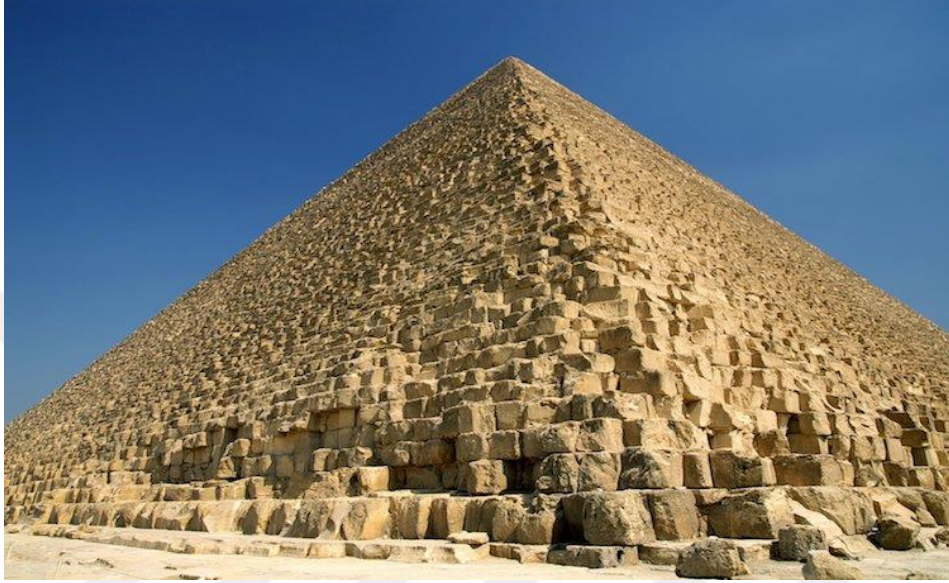
Ülkemizde de eski yerleşim yerlerinde çamur harcı bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu yerlere örnek olarak Çatalhöyük, Hacılar, Beycesultan, Alişar ve Boğazköy verilebilir (Mavioğlu, 2011).

2.3.2. Alçı Harçları

Antik dönemlerde bağlayıcı elde edilmesi sırasında yüksek sıcaklıkları sağlamakta çok zorlanılmıştır. Alçıtaşındaki alçı elde edilirken gereken sıcaklık değeri çok yüksek olmadığı için alçı harcı da sıklıkla tercih edilmiştir.

Mısırlılar yaklaşık 4500 yıl önce ağırlıkları 2 ile 45 ton arasında olan taş bloklar ve alçı harcı ile Şekil 2.4'te görülen piramitleri inşa etmişlerdir.

Alçı harcının buradaki görevi bağlayıcılık değildir. Taş bloklar arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır. Çatalhöyük'te de duvar kaplaması ve süsleme malzemesi olarak alçı kullanılmıştır (Aktaş, 2010).



Şekil 2.4. Keops Piramidi, Mısır (Ertuğrul, 2018)

2.3.3. Kireç Harçları

Antik dönemlerde yapıların inşasında kullanılan en temel bağlayıcı kireç olmuştur. Kirecin ham maddesi kireç taşlarıdır (Aktaş, 2010).

Kireç ile üretilen harç ve sıvalar, Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerde, çimentonun bulunmasına kadar yapı inşalarında kullanılmıştır.

Kireç yapıların korunmasında ve restorasyonunda kullanılan en temel malzemelerden biridir bunun sebebi de yapıların tarihi ve geleneksel dokusuna uyumunun çimentodan daha iyi olmasıdır (Mavioğlu, 2011).

Kireç harç ve sıvalarında bağlayıcı olarak kireç ve dolgu malzemesi olarak agregalar kullanılır. Kirecin veya harcın özelliklerini iyileştirmek amacıyla organik ve inorganik maddelerde katılmaktadır.

Kireç harçları plastik yapıya sahiptir. İşlenebilme ve yerleşme özellikleri yüksektir. Bunun sebebi ise kirecin kâgir malzeme ile yüksek aderans gösteren ve deformasyon kabiliyeti yüksek bir malzeme olmasından kaynaklıdır. Kireç harçlarının büyük boyutlu boşlukları vardır, bu boşlukların toplam boşluk içindeki oranının iyi bir dengede olması

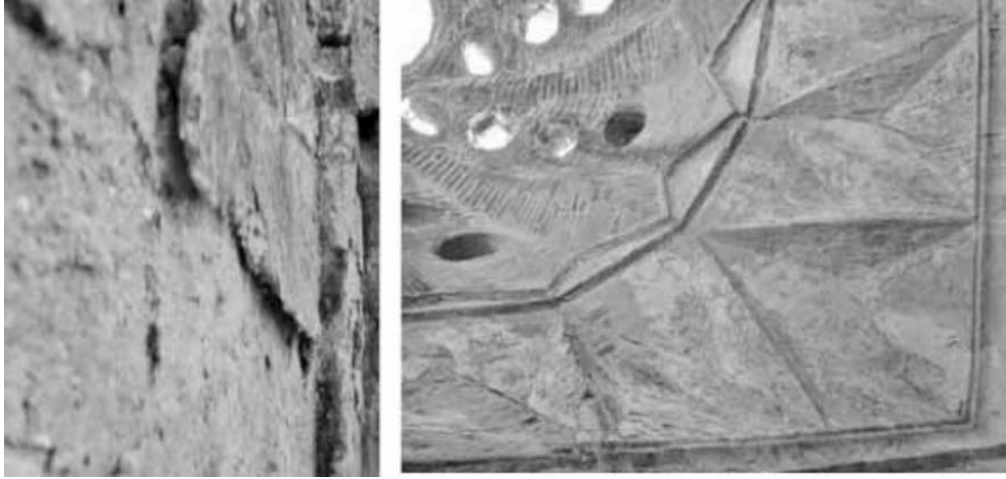
nedeniyle nem ve buhar geçişini engellemez. Kireç harçları bu özelliği ile imento harçlarına üstünlük sağlamaktadır. Kireç harçlarının avantajlarının yanında su direncinin olmaması, düşük mukavemete sahip olması ve sertleşme sırasında hava ile temas gerektirmesi gibi dezavantajları da vardır (Mavi, 2000).

Kireç harçları hidrolik harçlar ve hidrolik olmayan harçlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Horasan harcı en yaygın kullanılan kireç harçlarının başında gelir.

Horasan, toz halindeki kiremit, tuğla, çömlek vb. pişmiş kile verilen isimdir. Horasan belirli miktarda kireç ve su ile karıştırılarak horasan harcı elde edilir. Bazen harcın içerisine kum katılır, bazen de nohut büyüklüğünde parçalar halinde tuğla, kiremit kırıkları katılır. Horasan harç ve sıvaların çeşitli ihtiyaçları karşılamak için kullanıldığına dair binlerce yıldır tarihi kanıtlar vardır. İzolasyon astarı, sarnıçlar, kuyular, su kemerleri, miller ve kaldırımlar için destek malzemesi, kanal drenleri, iç ve dış mekan sıvası olarak, mozaikler, duvarlar ve freskler için destek malzemesi ve derz harçları olmak üzere birçok yerde kullanılmıştır (Moropoulou vd., 2000). Tuğla tozu ve kırıkları Roma Dönemi'nden beri harçlarda kullanılmıştır. Örneğin mimar Vitruvius eserinde kum ve kirecin oluşturduğu harca öğütölmüş veya elenmiş pişmiş toprak ve tuğlanın eklenmesiyle elde edilen ve horasan harcı olarak adlandırılan özellikleri daha iyi olan bir harçtan bahsetmiştir (Mavioğlu, 2011). Horasan harcı, hidrolik harçlar grubundadır. Hidrolik özelliklerinden dolayı ıslak mekânlar için kullanımları uygundur, özellikle deniz suyuna karşı dirençleri oldukça yüksek olduğu için yüksek nemin bulunduğu deniz kıyısı şehirlerde yaygın olarak kullanılmıştır. Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'daki gibi Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemi su kanalları, su sarnıçları ve hamamlarında kullanılmıştır. Hamam yapılarının sıvaları, su ile doğrudan veya yüksek nemin duvarlarda yoğunlaşması sonucu dolaylı olarak sürekli temastadır. Horasan harcı mukavemet ve suya karşı direnç açısından diğer harçlardan üstünlüğünün yanında estetik açıdan da diğer harçlardan üstündür. Bunun sebebi horasan harcının renginin tuğla yapılarla güzel bir uyum sağlamasıdır (Kılıç, 2007).



Şekil 2.5. Edirne Gazi Mihal Hamamı ve kubbelerinde kullanılan horasan sıva (Kılıç, 2007)



Şekil 2.6. Edirne Gazi Mihal Hamamı duvar ve kubbelerindeki horasan harç ve sıvaları (Kılıç, 2007)

2.3.4. Roma Betonu

Modern betona benzeyen roma betonu, agrega (kum, çakıl, kırmataş), bağlayıcı malzeme (kireç veya alçıtaşı) ve suyun karışımından oluşur. Bağlayıcı malzemeler moloz taşlarla karıştırılarak kuvvetli bir harç (kireç harcı) meydana getirilmiştir. Roma'nın bu temel karışıma katkısı, birincil bağlayıcı olarak, özel bir volkanik toz olan pozzolonayı (puzolan) eklemesi olmuştur (Aktaş, 2010).

Pozzolona M.Ö.150'lerde keşfedilen özel bir volkanik tozdur. Pozzolona sayesinde Romalılar su altında da uygulama yapmıştır. Su altındaki uygulamalarda pozzolonanın saf hali kireçle karıştırılmıştır. Pozzolona, agrega ile birlikte çok kuvvetli bir harç oluşturur. (Aktaş, 2010).

2.4. Restorasyon Nedir?

Restorasyon; bir mimari eserin, bir tablo veya bir heykel gibi herhangi bir sanat eserinin zamanla veya başka bir sebeple zarar gören, bozulan kısımlarını, o eserin sanat değerine ve eski şekline zarar vermeden tamir ve ıslah (rehabilitate) edilmesidir.

Diğer bir tanımla restorasyon; eski, tarihi ve özgünlük değeri olan eserin, aslına uygun olarak, orijinal malzemeden, orijinal yapım tekniğinden ve özgünlüğünden faydalanarak, mümkün olduğunca az müdahale ile onarılmasıdır (Yıldızlar, 2019).

Tarihi yığma yapılar, yapısal elemanlar için kullanılan malzemelerin dayanıklılığı, iklim koşulları ve kullanıcı müdahaleleri ile bozulabilir ve bina zaman içinde yapılan fonksiyonel değişiklikler sonucunda özgünlüğünü kaybedebilir. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de görülen restorasyon örneklerinde olduğu gibi yapıları orijinal biçimlerine geri döndürmek için zaman içinde yapılan değişiklikler ve orijinal malzeme özellikleri belirlenerek taşıyıcı elemanların korunması ve böylece hizmet ömürlerinin uzatılması mümkün hale gelmiştir (Yıldızlar, 2019).



Şekil 2.7. Çanakkale Rumeli Mecidiye Tabyası projelendirilmesi ve restorasyonu (URL-4, 2018)



Şekil 2.8. İstanbul Topkapı Sarayı Bağdat Köşkü restorasyonu (URL-4, 2018)

Restorasyonun görevi bir yapının sadece biçimini değil, malzemesini ve yaşayan varlığını da korumaktır. Tarihin yaşatılması için, tarihe tanıklık eden ve izlerini taşıyan eserlerin onarılması ve korunması gerekir. Günümüzde geçmişe, tarihe, arkeolojiye verilen önemle birlikte restorasyonun da önemi artmıştır. Restorasyonun amacı tarihi eserlerin özgün şekliyle korunmasıdır. Bunun için profesyonel bir çalışma gerekir çünkü tarihi eserin özgünlüğünü koruyarak gelecek nesillere aktarmak zor ve hassas bir iştir (URL-3, 2019).

1964 yılında temel restorasyon ilkelerini ortaya koyan Venedik Tüzüğü tarihi yapıların korunması ve restorasyon hakkında uluslararası çerçeve belirleyen bir antlaşmadır. Venedik Tüzüğü maddeleri genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Anıtların korunması ve onarımı için, mimari mirasın incelenmesine ve korunmasına yardımcı olabilecek bütün bilim ve tekniklerden yararlanılmalıdır.
- Anıtların korunmasındaki asıl amaç korumanın kalıcı olması, sürekliliğinin sağlanmasıdır.
- Anıtın tamamlayıcı öğeleri sayılan heykel, resim gibi süslemeler, ancak bunları korumanın başka çaresi yoksa yerlerinden kaldırılabilir.
- Geleneksel teknikler yetersiz kaldığında, koruma ve inşa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği belirlenmiş çağdaş bir teknik ile anıt sağlamlaştırılabilir.
- Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünle uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış yansıtmaması için, özgünden ayırt edilebilecek şekilde yapılması gereklidir.

- Eklemelere, ancak yapının ilgi çekici bölümlerine, geleneksel konumuna, kompozisyonuna, dengesine ve çevresiyle olan bağıntısına zarar gelmediği durumlarda izin verilebilir.

- Yıkıntılar korunmalı, mimari unsurların ve buluntuların sürekli olarak korunması için gerekli önlemler alınmalıdır.

- Bütün koruma, onarım ve kazı işlerinde her zaman çizim ve fotoğraflarla açıklık kazanmış çözüm getirici ve eleştirici raporlar halinde kesin belgeler hazırlanmalıdır. Temizlemenin, sağlamlaştırmanın, yeniden düzenlemenin ve birleştirmenin her safhası çalışma sırasında ortaya çıkan, tanımlanmış biçimsel ve teknik özellikler göz önünde tutularak raporda gösterilmelidir. Bu belgeler bir resmi kurumun arşivine konmalı ve araştırmacılar bundan yararlanabilmelidir. Bu raporların yayınlanması tavsiye edilir (Erder, 1977).

2.4.1. Malzeme Seçimi İçin Referans Deneyler

Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesi için ilk olarak yapının projesi temin edilir. Proje yapı ile karşılaştırılır, değişiklikler ve hasarlar tespit edilir. Proje temin edilemiyorsa veya yapı ile karşılaştırılacak durumda değilse rölöve projesi hazırlanarak hasarlı bölgeler belirlenir, belirlenen bölgeler projede gösterilir. Hasar tespiti ve malzeme özellikleri için ölçüm yapılması gereken elemanlar ve bölgeler belirlenerek aşağıda belirtilen deney ve ölçümler yapılır (Aköz ve Yüzer, 2009).

Yerinde Yapılan Çalışmalar:

- Ölçüm yapılacak bölgeler kodlanır.
- Ölçüm yapılacak bölgede kaplama varsa kaldırılarak, yüzey temizlenir.
- Yüzey sıcaklığı ve nemi belirlenir.
- Ultrases aleti ile ses geçiş süresi ölçülür
- Yüzey sertliği ölçülür.
- Yapıdaki basınç gerilme seviyesi Flat-Jack aleti ile belirlenir, gerilme şekil değiştirme ilişkisi araştırılır.

- Yapıda tuğla veya taş ile harç arasındaki kayma dayanımı belirlenir.
- Gereken durumlarda endoskopik ve georadar yöntemleri uygulanır.
- Yapıdan yeterli sayıda örnek alınır (karot vb.).

Laboratuvarda Yapılan Çalışmalar

- Alındığı yapıya, kata ve elemana göre kodlanmış numuneler deneye hazırlanır.

- Ultrases aleti ile karşılıklı yüzeylerde ses geçiş süresi ölçülür.
- Numunelerde birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme deneyleri yapılır.
- Tek eksenli basınç deneyi yapılır.

Onarımda kullanılacak malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin özgün malzeme ile uyumunun araştırılması için, yapıdan alınan özgün taş, tuğla ve harç numunelerinin mikroyapısal özellikleri belirlenir. Bu amaçla; renk ölçümü yapılır ve onarımda kullanılacak malzeme ve özgün malzemenin renk uyumu araştırılır. İç yapı incelemesi yapılır (XRD, SEM-EDS).

Tarihi yığma yapılarıdaki restorasyon çalışmaları, zaman içerisinde yeterli dayanıklılık sağlayabilecek yeni onarım malzemeleri gerektirir. Laboratuvar testlerinin amacı, uygulamadan önce dayanıklı ve uyumlu bir tamir harcı seçmektir. Yapılan deneyler, mekanik açıdan restorasyon harcı ve orijinal duvar arasındaki arayüzde oluşturulabilecek tüm ana gerilmeleri simüle eder (Grazzini, 2018).

2.5. Restorasyon Harçları

Restore edilecek tarihi eserin yapısal olarak onarılması aşamasında restorasyon harçları kullanılır. Tarihi eserlerin gelecek nesillere aktarılabilmesi için yapılan restorasyon uygulamalarında kullanılan malzemeler mevcut olan asıl malzemelerle uyumlu olmalıdır. Uyumsuz malzemeler kullanıldığında yapılan restorasyon çalışması yapıya zarar vermektedir. Restorasyon öncesinde harç ve sıva numuneleri analiz ettirilerek, karışımda kullanılması gereken malzemeler ve oranları belirlenmelidir. Restorasyon harçlarının geliştirilmesinde tarihi harçlar bir referans olmuştur.

Neredeyse sayısız geleneksel olarak inşa edilmiş yapılar dünya çapında mevcuttur ve onarım çalışmaları için restorasyon harçlarının yaygın olarak kullanılması ulusal ve uluslararası düzeyde belirgindir. Geçmişte büyük ölçüde uyumsuz, geçirimsiz ve/veya çok çimentolu malzemelerin kullanılması, özellikle nem tutma ile ilgili birçok sorunun nedenidir. Malzemenin kullanımından birkaç yıl sonra ortaya çıkan ve devam eden bu sorunlar, restorasyon harçlarının kullanılmasını gerekli kılmaktadır (Torney, 2014).

Restorasyon deneyimli ustalar tarafından yapılırsa ve malzemeler bilinçli olarak kullanılırsa olumlu geri dönüşler elde edilir. Onarımda kullanılan malzemeler binanın nefes almasını sağlamalıdır. Ancak bu nem geçişi sırasında alt tabakalar zarar görmemelidir. Restorasyon harçları yapılarıdaki küçük ölçekli taş bozulmalarına çözüm sunar. Kültürel açıdan önemli alanlarda taş değişiminin yerini tutup büyük ölçüde süreklilik sağlarlar (Torney, 2015).

Restorasyon harçlarının eski harçlarla uyum sağlayarak uzun süreli dayanım kazanmaları için çimento içermemesi ve içerisindeki çözünbilir tuzların sınırlandırılması önemli bir gerekliliktir (Kılıç, 2007).

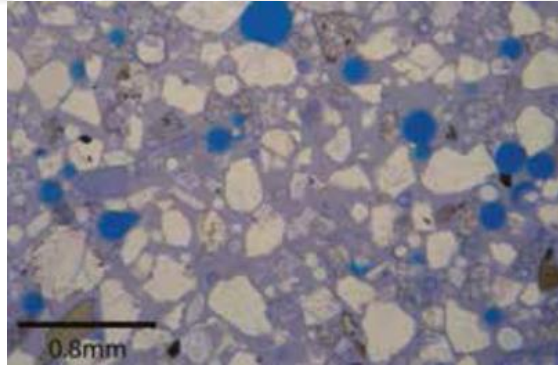
Restorasyon uygulamalarında horasan harcı olarak adlandırılan kireç esaslı harçlar kullanılmaktadır. Horasan harçları formüle edilirken tarihi eserdeki özgün yapı malzemeleriyle uyumlu olmasına önem verilmektedir (Seyhan, 2007).

2.5.1. Restorasyon Harçlarının Çeşitleri

Restorasyon harçları plastik formdadırlar, uygulanan yüzeye yapışır ve uygulandıktan sonra sertleşirler. Restorasyon harçları aşağıdaki gibi kategorilere ayrılırlar: (Torney, 2016).

2.5.1.1. Reçine Bazlı Restorasyon Harçları

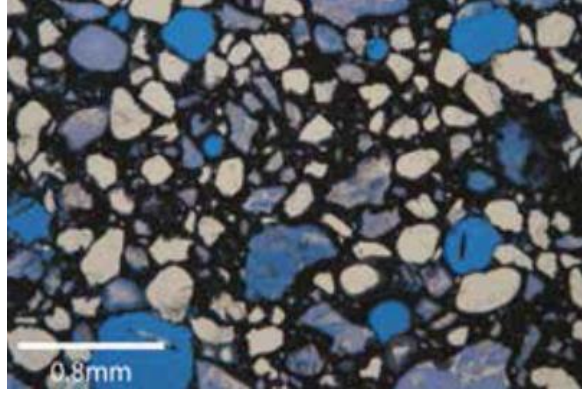
Agrega taneleri ve sıvı reçine karışımına kullanımdan hemen önce sertleştirici eklenir. Reçine bazlı restorasyon harçlarının reçineden dolayı geçirimsizlikleri yoktur. Şekil 2.9'da mikroskop altında reçine bazlı restorasyon harcı gösterilmiştir. Mavi alanlar gözenek boşluklarını göstermektedir (Torney, 2016).



Şekil 2.9. Reçine bazlı restorasyon harcı (Torney, 2016)

2.5.1.2. Çimento Bazlı Restorasyon Harçları

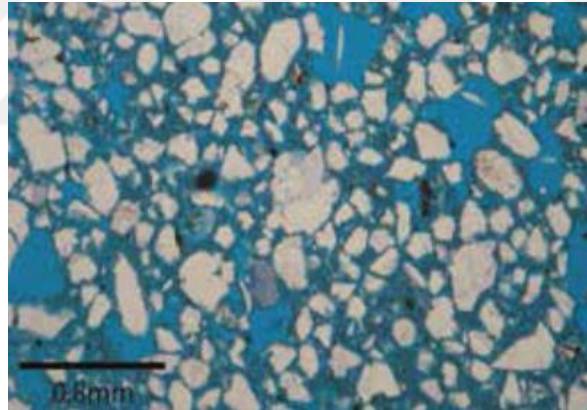
Çimento bazlı restorasyon harçları tipik olarak kuru bir çimento karışımı şeklindedir. Şekil 2.10'da mikroskop altında çimento bazlı restorasyon harcı gösterilmiştir. Bu harçlarda büzülme meydana gelebilir. Harç kuruduktan sonra çatlaklar ortaya çıkabilir. Düşük geçirgenliklerinden dolayı kılcal damarlar nemi çeker ve nem onarımın arasında sıkışır ve duvarda altta bozulma oluşur (Torney, 2016).



Şekil 2.10. Çimento bazlı restorasyon harcı (Torney, 2016)

2.5.1.3. Kireç Bazlı Restorasyon Harçları

Bunlar tipik olarak kuru kireç tozu ve agrega taneleri karışımından oluşur. Kireç bazlı restorasyon harcı mikroskop altında Şekil 2.11'deki gibi görülmektedir. Farklı kireç çeşitleri kullanılabilir. Belirli özellikleri kazandırmak için katkı maddeleri eklenebilir. (örneğin geliştirilmiş işlenebilirlik). Kireç genellikle geçirgendir (Torney, 2016).



Şekil 2.11. Kireç bazlı restorasyon harcı (Torney, 2016)

2.5.1.3.1. Hidrolik Kireç Esaslı Restorasyon Harçları

Hidrolik kireç kullanımı antik dönemlere kadar gitmektedir. Hidrolik kirecin eski duvarlarla gelişmiş uyumluluk, düşük büzülme, tuz ve donmaya karşı direnç, yüksek deforme edilebilirlik özelliklerinden dolayı tarihi yapılarda hidrolik kireç esaslı restorasyon harçlarının kullanımı yeniden canlandırılmıştır (Grilo vd., 2014a).

Tarihi yapılar için hazırlanmış bir harç olup, içeriğinde çimento yoktur. Düşük sıcaklıklarda geleneksel yöntemlerle pişirilmiştir. Su buharı geçirgenliği yüksek olan ve nefes almayı sağlayan bir sıva harcıdır. Hidrolik kireç ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (dikalsiyumsilikat)),

inorganik lifler ve uygun nitelikte agrega eklenerek elde edilen kuru karışım su ile birleşerek harç halini alır ve kullanıma hazır duruma gelir ve Şekil 2.12’de görüldüğü gibi uygulama yapılır.



Şekil 2.12. Hidrolik kireç esaslı restorasyon harcının uygulama örneği (Seyhan, 2007; URL-5, 2021)

Hidrolik kireç esaslı onarım harçlarının yapışma dayanımı yüksektir ve uygulaması kolaydır.

Hidrolik kireç esaslı restorasyon harçları bazı özelliklere sahip olmalıdır (Seyhan, 2007):

- İçeriğindeki suda çözünebilir tuzlar sınırlandırılmalıdır.
- Çiçeklenme direnci yüksek olmalıdır.
- Sınırlı su emme özelliğine sahip olmalıdır.

Kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Taş ve tuğla duvar örme işlerinde,
- Tarihi kâgir yapıların onarımı ya da güçlendirilmesinde,
- Kâgir kubbe ve tonozların çatlak onarım işlerinde,
- Derz imalatlarında horasan harcı kullanılacaksa hidrolik kireç esaslı restorasyon harcı da bağlayıcı olarak kullanılır.

2.5.1.3.2. Puzolanik Kireç Esaslı Onarım Restorasyon Harçları

Puzolanik kireç (puzolan katkılı kireç) esaslı onarım harçlarında özel gradasyonlu doğal agregalar ile puzolanik kireç karıştırılarak mukavemetli bir harç meydana

gelmektedir. Pozolanik kireç esaslı onarım restorasyon harçlarının sülfat ve çiçeklenme direnci yüksektir. Su emme özelliğinin düşük olması, suda çözünebilen tuzların sınırlandırılması ve çimento içermemesi ile tarihi dokuya betona göre daha çok uyum sağlar ve başarılı bir onarım uygulamasına imkan vermektedir (Seyhan, 2007). Duvarlara dolgu ve harç olarak, döşemeye derz malzemesi olarak, kesiti az olan elemanlarda mantolama amacıyla yada güçlendirme uygulamalarında kullanılır. Şekil 2.13'te pozolanik kireç esaslı onarım harçlarının uygulama örneği görülmektedir.

Bu harçlar aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- İyi çalışılabilir,
- Düşük klor içeriği,
- Uygulandığı yüzeye iyi yapışma,
- Yüksek buhar geçirgenliği,
- Su geçirimsizlik özelliği.



Şekil 2.13. Pozolanik kireç esaslı onarım restorasyon harcının uygulama örneği (URL-6, 2021)

2.5.1.3.3. Pozolanik Kireç Esaslı Enjeksiyon Restorasyon Harçları

Tarihi yapı onarımı sırasında duvarların konsolidasyonu ve çatlak onarımları ile sıklıkla karşılaşılır. Zamanla yığma duvarların kesitinde boşluk ve çatlaklar meydana gelir. Duvarın dayanımının ve sünekliliğinin artırılması için Şekil 2.14'teki uygulama örneklerinde görüldüğü gibi doldurulup, duvar kesitinde süreklilik sağlanır. Çok akışkan

bir malzemenin duvara enjeksiyonu ile boşluklar ve çatlaklar doldurulur. Enjeksiyon edilecek malzeme mevcut yapı ile uyumlu olmalıdır.

Puzolanik kireç esaslı enjeksiyon harçları, puzolanik kireç ve mikronize (ısıtılıp, öğütülen) karbonatlar (CO_3) içeren, uygun agregayla oluşturulan yapısal onarımda kullanılan harçlardır. Bu harçta kullanılan agregaların dane boyutu 0,1-30 μm aralığındadır. Enjeksiyon harcında bulunması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Seyhan, 2007):

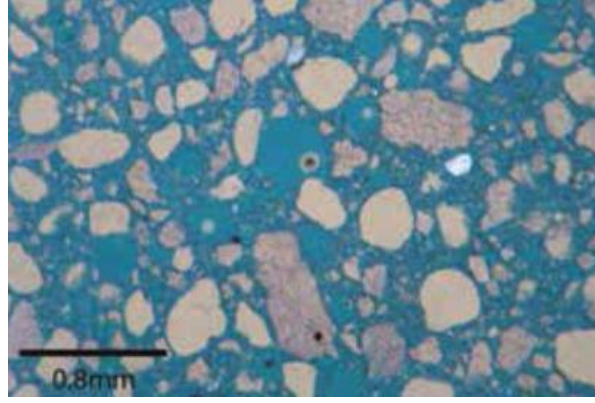
- Kireç esaslı olmalı, içeriğinde çimento, epoksi vb. olmamalıdır.
- Yüksek akışkanlık gösterirken, su kasma görülmemelidir.
- Düşük hidratasyon ısısı olmalıdır.
- Sülfat direnci olmalıdır.
- Nefes alabilme özelliği olmalıdır.



Şekil 2.14. Enjeksiyon restorasyon harcının uygulama örneği (URL-7, 2021)

2.5.1.4. Hibrit Karışım Restorasyon Harçları

Karışımında kireç, çimento, agrega, katkı maddeleri, dolgu maddeler ve pigmentler bulunur. Şekil 2.15’te mikroskop altında görülen hibrit karışım restorasyon harcı iyi işlenebilirliğe, düşük geçirimsizliğe ve don direncine sahiptir (Torney, 2016).



Şekil 2.15. Hibrit karışım restorasyon harcı (Torney, 2016)

2.5.2. Restorasyon Harçlarının Karşılaştırılması

Maravelaki vd. (2005) yaptığı bir çalışmada restorasyon müdahalelerinde çimento ve polimer esaslı malzemeler kullanmışlardır. Bu malzemeler yapı ile uyumsuzluk göstererek sadece uygulanan bölgeye değil diğer bloklarada zarar vermiştir. Bu yüzden restorasyonda öncelikle eskiden yapıda kullanılmış olan tarihi harçlar incelenerek onlarla uyumlu yeni harçlar üretilmelidir. Üretilen bu restorasyon harçlarının performansı laboratuvarıda simüle edilen gerçek çevre koşulları ile ölçülebilir.

Günümüzde çimentonun harçlarda kullanılması yaygındır ancak yüksek geçirimsizliklerinden dolayı reçine ve çimento bazlı ürünlerin kullanımı tavsiye edilmez. Çimentoyu eski binaların korunması ve onarımında kullanmak yapıyı olumsuz etkilemektedir. Çimento içeren restorasyon harçları yetersiz esnekliğe sahiptir. Duvar blokları arasında hareketi engelleyip, eklemleri tıkarlarsa duvarı çatlatabilirler (Grilo vd., 2014b).

Şekil 2.16’da görüldüğü gibi modern çimento harcının kullanıldığı duvarlarda sarı çizgilerle gösterilen birçok genleşme derzi bırakılmıştır. Doğal hidrolik kireç ile inşa edilen duvarda ise sadece bir genleşme derzi kapı açıklığının üzerine uygulanmıştır (Groot, 2016). Özellikle deniz etkisinde olan birçok bina nem etkisine eğilimlidir ve bu yapılarda kireç bazlı ürünler restorasyon için daha uygundur. Hibrit karışım harçlarının ise dayanıklılığı yüksektir. Kireç bazlı harçların uygun olmasının sebepleri aşağıdaki gibidir:

- Kireçte oluşan reaksiyonlar mevcut yapıya zararsızdır.
- Yapışma dayanımı yüksektir.
- Suda çözülen tuzlar içermez.
- Pürüzsüz yüzey sağlar.
- Nefes alabilir, su buharı geçirimsizliği yüksektir.



Şekil 2.16. Modern çimento harcı ve doğal hidrolik kireç kullanılarak örülmüş duvarların genleşme derzleri (Groot, 2016)

2.5.3. Restorasyon Harçlarının Kullanımı

Tarihi yapılarda restorasyon aşamasında bozulan taşın onarımını yapmadan önce bozulma derecesine göre nasıl onarım yapılacağına karar verilmelidir. Bozulma yüzeyde ise minimal müdahale seçeneği düşünülmelidir. Bozulma önemli derecedeysse çürümüş taşın kaldırılması ve yeni taş ile değiştirme genellikle en uygun seçenektir ancak tarihi binalarda bulunan doğal taşların yerine onlarla uyumlu taşları bulmak her zaman mümkün değildir, taş değişiminin yapılamayacağı zamanlarda uyumlu bir restorasyon harcı veya geleneksel olarak hazırlanan kireç harcı, uygun bir tamir seçeneği olabilir. Şekil 2.17, Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'daki uygulama örneğinde görüldüğü gibi onarımda bina ile uyumlu malzemeler kullanılmalıdır. Kullanılan malzemeler ile onarım süreleri uzatılmalıdır.



Şekil 2.17. Doğal taş varyasyonunu taklit eden uyumlu görünüm (Torney, 2016)



Şekil 2.18. Onarımdaki yüzey örneği (Torney, 2016)



Şekil 2.19. Restorasyon harcının kullanım örneği (Torney, 2016)

Restorasyon için kullanılan tamir harçlarının, duvarın uzun vadede dayanıklılığını sağlamak için, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler açısından tarihi malzemelerle uyumlu olması istenir. Uyumluluk kriterleri, orijinal harç özelliklerine göre tanımlanır (Schueremans vd., 2011).

Restorasyon harcı onarımları genellikle daha ucuzdur. Finansal kısıtların olduğu projelerde orijinal taş bulmak yerine tercih edilebilir. Ancak geçici onarımlar, uzun vadede taş değişiminden daha maliyetli olabilir.

Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de uyumsuz malzeme kullanımı sonucu oluşan uyumsuz ve yamalı görüntüler görülmektedir. Restorasyon harçları malzeme üreticilerinin kılavuzuna

göre hazırlanmalıdır. Özellikle katkı içeren malzemeler farklı davranabilirler. Harç onarımı yapılan yapılar harç sertleşinceye kadar özellikle sert hava koşullarından korunmalıdır.



Şekil 2.20. Restorasyon harcının uyumsuz görünümü (Torney, 2016)



Şekil 2.21. Onarımdaki yüzeyin fazla çalışmasıyla elde edilen yamalı görünüm (Torney, 2016)

Restorasyon harçlarında Şekil 2.22’de görüldüğü gibi doğal taşlarla bir uyum yakalamak gerekir. Renk pigmentleri kullanılarak harçların rengi doğal taşla benzer. UV ışınlarına dayanıklı pigmentler kullanılarak renk solması azaltılır. Restorasyon harçları doğal taşla eşleşecek şekilde yapılmalıdır. Yıpranmış taşı taklit etmek ve görsel bütünlüğün korunması için bazı aletler yardımcı olur. Ancak tamamen aynısı şekilde yapılan onarımlar zaman alır ve maliyetlidir. Restorasyon harçları ilk başta görsel olarak etkili olabilir ancak genellikle kötü hava koşullarının etkisinde kalan cephelerde zamanla bozulmalara yol açabilir (Torney, 2016).



Şekil 2.22. Doğal taşa yakın görünüm (Torney, 2016)

2.5.4. Türkiye’de Restorasyon Örnekleri

Türkiye’de yapılan bazı restorasyon örnekleri Şekil 2.23 – Şekil 2.34 arasında görülmektedir.



Restorasyon Öncesi

Restorasyon Sonrası

Şekil 2.23. İstanbul Topkapı Sarayı’nın mutfaklar bölümü restorasyonu kullanım örneği (URL-4, 2019)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.24. Van Kalesi restorasyonu (URL-4, 2019)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.25. Kayseri Talas Ali Sait Paşa Sokak restorasyon projesi (URL-4, 2019)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.26. Diyarbakır İç Kale Cephanelik Binası projelendirilmesi ve restorasyonu (URL-4, 2019)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.27. Batman, Hasankeyf Zeynel Bey Türbesi projelendirilmesi ve restorasyonu (URL-4, 2019)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.28. Balıkesir Taksiryarhis Kilisesi projelendirilmesi ve restorasyonu (URL-4, 2019)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.29. İstanbul Yıldız Hamidiye Camii restorasyonu (URL-8, 2018)



Restorasyon Öncesi

Restorasyon Sonrası

Şekil 2.30. İstanbul Fatih Şeyh Süleyman Mescidi restorasyonu (URL-8, 2018)



Restorasyon Öncesi

Restorasyon Sonrası

Şekil 2.31. Tunceli Salih Bey Camii restorasyonu (URL-8, 2018)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.32. İstanbul Beyoğlu Nusretiye Camii restorasyonu (URL-8, 2018)



Restorasyon Öncesi



Restorasyon Sonrası

Şekil 2.33. Iğdır Şerafettin Ejder Kervansarayı restorasyonu (URL-8, 2018)



Restorasyon Öncesi

Restorasyon Sonrası

Şekil 2.34. Edirne Merkez Büyük Sinagog restorasyonu (URL-8, 2018)

2.6. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Mavi (2000) yaptığı çalışmada, kireç harç ve sıvalarının özelliklerini çağdaş katkı maddeleriyle iyileştirmek amacıyla farklı türde ve miktarda katkı maddeleri ile harç karışımları oluşturmuştur. Bu karışımlara fiziksel ve mekanik deneylerin yanında rötire ve buhar geçirgenlik deneyleri de yaparak özelliklerini karşılaştırmıştır. Kum ve kireç kaymağını bütün karışımlarda aynı oranda (2,4/1) kullanılıp; puzolan, akrilik, su itici, çimento ve kireç suyunu her karışımda farklı miktarda kullanmıştır. Eğilme ve basınç deneylerini 14, 28, 90, 180, 270. günlerde yapmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre; kireç harcına çimento ilavesi su emme yüzdesini artırırken, puzolan ilavesi su emme yüzdesini düşürmüştür. Akrilik ilavesi ve akrilik ve puzolanın aynı anda ilavesi de su emme yüzdesini artırmıştır, akrilik miktarı iki katına çıkarıldığında da su emme yüzdesi artmıştır. Agreganın boyutu küçültüldüğünde de yine su emme yüzdesi artmıştır. Karışıma puzolan ilavesiyle birim hacim ağırlık artmıştır. Puzolanın iki katına çıkarılmasının birim hacim ağırlık üzerinde etkisi olmamıştır. Akrilik ilavesi birim hacim ağırlığı artırmıştır ancak akrilik miktarı iki katına çıktığı karışımda birim hacim ağırlık biraz azalmıştır. Çimento birim hacim ağırlığı önemli ölçüde artırırken, agreganın boyutunun küçülmesi ile birim hacim ağırlık düşmüştür. Akriliğin katıldığı harçlarda kılcallık katsayısı biraz düşüktür, akrilik iki katına çıkarsa bile kılcallık katsayısı yine kireç harcından düşük kalmaktadır. Karışıma puzolan ilave edildiği durumda puzolan miktarı az olan karışımda kılcallık katsayısı düşükken, puzolan iki katına çıkarıldığında kılcallık katsayısı

artmaktadır. Agregada boyutu kılcallık katsayısını artırırken, akrilikle puzolanın birlikte ilave edildiği harçlarda da kılcallık katsayısı artmıştır ancak kılcallık katsayısındaki en fazla artış çimento ilavesiyle üretilen karışımda olmuştur. Akrilik ilavesi, hiçbir malzeme eklenmeden üretilen kireç harcına göre basınç dayanımını artırmıştır ancak eğilme dayanımını düşürmüştür. Akrilik miktarı artırıldığında 270. günde kireç harcı ile aynı eğilme dayanımı değerlerine ulaşılmıştır. Puzolan ilavesinde, basınç dayanımında artış olurken, eğilme dayanımında ise kireç harcına göre düşüş görülmüştür. Hem puzolan hem akrilik beraber ilave edildiğinde basınç dayanımında belirgin şekilde artış olmuştur ve 180. günde en yüksek değerini almıştır. Eğilme dayanımı kireç harcına yakındır. Son olarak çimento ile üretilen karışımda basınç dayanımı kireç harcına göre 135. güne kadar yükselip, daha sonra azalmıştır. Çimento eğilme dayanımını oldukça düşürmüştür.

Lanas vd. (2004) yaptıkları çalışmada, doğal hidrolik kireç ve farklı agregalarla restorasyon çalışmalarında kullanılmak üzere yüz seksen farklı harç hazırlamışlardır. Harçların mekanik davranışını etkileyen faktörleri uzun süreli testlerle incelemişlerdir. Numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarının kürlenme süresine, bağlayıcı/agrega oranlarına, agregaların özelliklerine ve gözenekliliğe göre değişimini tartışmışlardır. Hidrolik kireç harçlarının erken yaşlardaki mukavemet artışının C_3S hidratasyonuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Uzun vadede ise C_2S ve portlandit karbonizasyonu nedeniyle artış gözlemişlerdir. Deney sonuçlarından, bağlayıcı miktarları fazla olan numunelerde en yüksek basınç ve eğilme dayanımına ulaşılmıştır ancak yüksek bağlayıcı miktarının porozite artışına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Agregaların özellikleri de mukavemet ve gözeneklilik ile ilişkilendirilmiştir. Kireçtaşı agregaları mukavemete katkıda bulunurken; geniş, gözenekleri artıran yuvarlak şekilli agregalar, mukavemet azalmasına neden olur, bu sebeple kullanımları tavsiye edilmez. Küçük tane boyutuna sahip agregaların ise mukavemeti artıran arayüzde iyi bir kohezyon sergilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Maravelaki Kalaitzaki vd. (2005) yaptıkları çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak doğal hidrolik kireç ile agregada olarak silisli kum ve kırma tuğla ile tamir harçları hazırlamışlardır ve Yunanistan'ın Girit kentinde tarihi bir duvar işçiliğinin restorasyon çalışmalarında kullanmışlardır. Optimum işlenebilirliği sağlamak için bağlayıcı, agregalar ve su oranları seçmişlerdir. Çimento esaslı harçlarla yapılan önceki uygulamalar hasarın hızlanmasına neden olduğu için magnezyen kireç içeren harçlar kullanmışlardır. Kılcallık, basınç dayanımı, elastisite modülü, gözeneklilik ve gözenek boyutu dağılımı ile su emme, erken yaşlarda ve 1 yıllık kürlenme süresinden sonra belirleyerek, elde edilen sonuçlara göre üretilen harcın uygulama için uygunluğunu kanıtlamışlardır. Doğal hidrolik kireç

bazlı harç ve sıvalar uygulandıktan 3 yıl sonra, uygulanan malzemelerin makroskopik incelemesini, analizlerini yapmışlardır ve herhangi bir çatlak veya çözülebilir tuz salınımı olmadığını ortaya koymuşlardır.

Kahraman (2008) yaptığı çalışmada 19 yapıdan 65 adet harç numunesi alarak, fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikro yapı analizleri yapmıştır. Bu çalışma ile Erken Bizans dönemi horasan harçlarının özelliklerini belirlemeyi, benzer ve farklılıklarını karşılaştırmayı amaçlamıştır. Kütlece su emme yüzdesi saraylarda %23-35, dini yapılarda %19-42, su yapılarında %15-39, kara surlarında %13-50, Marmara surlarında %18-35, Haliç surlarında %23-37, Sampson hastanesi ve Hipodrom'da %20-28 aralığında çıkmıştır. Birim hacim kütlesi saraylarda 1,32-1,52 g/cm³, dini yapılarda 1,23-1,90 g/cm³, su yapılarında 1,26-1,77 g/cm³, kara surlarında 1,14-1,90 g/cm³, Marmara surlarında 1,30-1,66 g/cm³, Haliç surlarında 1,25-1,59 g/cm³, Sampson Hastanesi ve Hipodrom'da ise 1,45-1,66 g/cm³ olduğunu görmüştür. Harç numunelerinin basınç dayanımı 3 ile 8 MPa arasında çıkmıştır, en yüksek basınç dayanımı Sultanahmet civarında yer alan yapılardadır. Yine bu oran saray yapılarında en yüksek değerdedir. Harçlardan örnek alırken, diğer malzemelerle birlikte kopmuştur, buda harçların yapı tuğlası ve yapıda kullanılan taş ile iyi bir aderans oluşturdıkları sonucuna varmasını sağlamıştır. Sultanahmet civarındaki yapılar kendi içlerinde benzer olup, diğer yapılardan farklı özelliklere sahiptirler. Saray yapıları ve su yapılarından alınan örneklerin daha farklı özelliklere sahip olduğunu görmüştür. Erken Bizans Dönemi harçlarının puzolanik katkılar içeren hidrolik özellikli harçlar olduğunu ve Roma betonundan horasana geçiş olduğunu belirtmiştir.

Canbaz ve Topçu (2009) yaptıkları çalışma ile, bağlayıcı olarak kireç ile birlikte kiremit kırığı tozu, mermer tozu ve yüksek fırın cürufu kullanarak harç numuneleri üretmişlerdir. Bu numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler yapmışlardır. Deneyler sonunda kireç ile yüksek fırın cürufunun beraber kullanıldığı harç numunelerinde iyi sonuçlara ulaşmışlardır. Yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin basınç dayanımı, sadece kireç ve standart kum ile üretilen numunelerden yüksek çıkmıştır ve yüksek fırın cürufu miktarının artması dayanımı arttırmıştır. Kiremit tozu katkılı numunelerin basınç dayanımı ise hem yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerden hem de kireç ve standart kum ile üretilen numunelerden düşük çıkmıştır ayrıca kiremit tozu miktarının artması basınç dayanımını düşürmüştür. Mermer tozu ile üretilen numunelerin basınç dayanımları da kiremit tozu ile üretilen numunelere yakın çıkmıştır. Mermer tozunun miktarının artırılması ile basınç dayanımında zamana bağlı artış görülmüştür. Sadece kireç ve standart kum ile üretilen numunelerin basınç dayanımı kiremit kırığı katkılı numunelere yakın

çıkıştır. Kiremit tozu katkılı harç numunelerinin basınç dayanımları düşük çıkarken, zamanla düzenli olarak arttığı gözlenmiştir. Yapılan horasan harcının onarımında başarılı sonuçlar vermesi için malzeme cinsinin önemli olduğunu ve numunenin özelliklerinde kür koşullarının da önemini belirtmişlerdir. Numune sürekli nemli kalacağı ortamda saklanmalıdır sonucuna varmışlardır.

Kozlu (2010) yaptığı çalışmada, volkanik malzemeler yönüyle zengin bir şehir olan Kayseri’de, geçmişte kullanılan sıva ve duvar örgü harçlarının özelliklerini belirleyerek, bu yapıların onarımında kullanılabilecek yeni harçlar üretmiştir. Kayseri’de Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Dönemi’nde inşa edilmiş 15 yapı belirleyip, duvar örgü harcı ve iç mekân sıva harcı örnekleri almıştır. Örneklerle fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizleri yaparak, bileşimlerini belirlemiştir. Aldığı harç örneklerinden de yola çıkarak, yapıların restorasyonunda kullanılabilecek onarım harçları geliştirmiştir. 3 çeşit duvar örgü harcı ile 2 çeşit sıva harcı üretmiştir. 6 aylık sürede mühendislik özelliklerini belirlemiştir ve yapılardan aldığı harç örnekleriyle uygunluğunu karşılaştırmıştır. Yaptığı bütün analizler sonucu yapı sistemlerinde ve yapılarda kullanılan harçlarda bağlayıcı/agrega oranları ve içerikleri, fiziksel özellikleri ve mekanik dayanımları açısından dönemsel bir farklılık veya yapı tiplerinde bir değişim tespit etmemiştir. İncelediği örneklerde Roma Döneminden Cumhuriyet Dönemine kadar sıva ve duvar örgü harçlarının kullanımının değişmediğini görmüştür. İncelediği tüm yapılarda, yapı malzemesi olarak Kayseri bölgesinden elde edilen volkanik taşların kullanıldığını sıva ve duvar örgü harcı olarak da kireç harcı tercih edildiğini belirtmiştir. İncelediği harçlar ile ürettiği harçlar arasında renk ve doku benzerliğini de sağlamıştır. Kozlu, yaptığı çalışma kapsamında üretilen onarım harçlarının özgün harçlara uygun olduğunu ortaya koymuştur. Restorasyon yapılacak yapıya üretilen harç karışımları uygulanmadan önce mutlaka önceden kullanılan harcın karakterizasyonu yapılmasını ve uygunluğunun değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Mavioğlu (2011) yaptığı çalışmada, farklı katkı maddeleri içeren 3 seri horasan harç karışımları hazırlamıştır. Bağlayıcı olarak saf kireç, agrega olarak tuğla kırığı ve dere kumu kullanarak 1. seri harç numunelerini üretmiştir. Diğer iki seride de aynı malzemeleri kullanılıp, bağlayıcının bir kısmı ile iki tip ince öğütülmüş puzolanik katkı ikamesi yapmıştır. Hazırlandığı harç karışımlarında bağlayıcı/agrega oranları 1/2, 1/3 ve 1/4’tür. Deneyler sonucunda iki farklı ince öğütülmüş puzolanik katkı maddesi eklenen harçlarda yapısal özellikler iyileşmiştir ve mukavemet daha hızlı artmıştır. Puzolanik madde ilave edilerek hazırlanan horasan harçlarında ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri puzolanik etkiden dolayı düşmüştür. Suyun kılcal boşluklarda yükselme katsayısı azalmıştır.

Puzolanik katkı malzemesi eklenerek üretilen horasan harçlarının birim hacim ağırlıklarının da arttığını tespit etmiştir. Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri 28, 60 ve 90. günlerde yapılmıştır. Puzolan katılan harçlarda, katkı olmadan üretilen harçlardan daha yüksek değerler elde etmiştir. Sonuç olarak, doğal puzolanların ince öğütülmüş olarak harca eklenmesinin dayanımı ve hidrolik özellikleri artırdığını ayrıca harcın yapısal özelliklerini iyileştirdiğini belirtmiştir.

Grilo vd. (2014a) yaptıkları çalışmayla, farklı laboratuvar ve doğal deniz kürü koşulları altında metakaolin ile farklı yüzdelerde kireci yer değiştirmişlerdir ve doğal hidrolik kireç (NHL 3,5) harçlarının mekanik ve mineralojik özelliklerini araştırmışlardır. Testleri farklı kür yaşlarında yapmışlardır. Metakaolin ilavesinin hidrolik kireç harçlarının dayanımını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu artış çoğunlukla puzolanik reaksiyon ile ilgilidir. Yüksek nem seviyesinde kürlenmiş kireç harçlarının bazılarının eski duvar onarımlarında kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Metakaolin içeren ve içermeyen kireç harçları kürlenme yaşı ve ilave edilen metakaolin oranlarına bağlı olarak farklı dayanım göstermişlerdir. Genel olarak metakaolin ilavesiyle yaşlanma ile dayanımda azalma gözlemişlerdir. Karbonatlaşmanın tüm kürlenme koşullarında ana sertleşme reaksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

Grilo vd. (2014b) yaptıkları çalışma ile, yapı kireçleri için EN 459-1 standardının yeni versiyonunu, hidrolik kireç sınıflarını yeniden tanımlamışlardır ve üreticilerin doğal hidrolik kireçleri yeniden formüle etmesini veya yeniden sınıflandırmasını sağlamışlardır. Bu çalışma ile doğal deniz ortamına, nemli ve standartlaştırılmış koşullara sunulan, EN 459-1'e uygun, yakın zamanda üretilmiş bir doğal hidrolik kireç (NHL 3,5) ile formüle edilmiş harçların mekanik, fiziksel ve mikroyapısal davranışını ve ayrıca kirecin metakaolin ile kısmi yer değiştirilmesinin avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, doğal hidrolik kireç içeren harçların genç yaşlarda olumlu sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Metakaolin ilavesi, kılcal su emilimini düşürürken dayanımı artırmıştır. Hidrolik kireç harçları, metakaolin ilavesiyle üretilen harçlarla karşılaştırıldığında en düşük kuruma indeksi değerleri elde edilmiştir. Hidrolik kireç harçlarının agresif deniz koşullarındaki uygulamalar için uygun olabileceğini göstermişlerdir.

Grist vd. (2015) yaptıkları çalışmada, hidrolik kirece (NHL 5) yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve metakaolin ekleyerek harçlar üretmişlerdir. Amaçları hidrolik kireç esaslı yüksek mukavemetli harç elde etmektir. Üretilen harçları üç farklı ortamda kürlereyrek, fiziksel ve mekanik deneyler yapmışlardır. Deneylerde farklı su/bağlayıcı

oranları kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre su/bağlayıcı oranındaki artışın karbonatlaşmayı artırdığını belirtmişlerdir. Suda kürlen silis dumanı katkılı harçlarda, kürlenme süresi arttığında basınç dayanımının arttığı sonucuna varmışlardır.

Bingöl vd. (2015) yaptıkları çalışma ile, onarım ve güçlendirmede kullanılan hidrolik kireçli harçlara uçucu kül ekleyerek basınç ve eğilme dayanımlarını artırmayı hedeflemişlerdir. Bağlayıcı miktarının %0, %10, %20 ve %30'u oranlarında uçucu kül eklemişlerdir. Harç karışımlarında bağlayıcı/agrega oranını, 1/2, 1/2,5, 1/3 seçmişlerdir. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre bağlayıcı/agrega oranının eğilme ve basınç dayanımları üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bağlayıcı/agrega oranının 1/3 olduğu ve uçucu külün %30 oranında kullanıldığı harç karışımında en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Eğilme dayanımı sonuçlarından ise bağlayıcı/agrega oranı 1/2 ve 1/3 olan harçlarda iyi sonuçlara ulaşmışlardır. Genel olarak, uçucu külün puzolanik özellikleri ve yüksek yüzey alanı etkisi agregalar arasındaki aderansı artırdığı ve horasan harcının özelliklerini iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Centauro vd. (2017) ise organik katkıların hidrolik kireç ve hamur kireç üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışmada yapmış oldukları ön deneylerle en yüksek hacimce karışım oranını 1/1,5/0,5 (bağlayıcı/agrega/su) olarak ve hidrolik kireç harçlarında çalışılabilirliği üç faktöre göre belirlemişlerdir. Bu faktörler harcın doğru miktarda yayılma yapması, uygulama sırasında harcın macunsu özellik göstermesi ve harç katmanının uygulama sonrasında terleme yapmamasıdır. Doğal organik malzemelerin geleneksel harçların özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bütün harçlarda aynı kum, üç farklı organik katkı maddesi (farklı oranlarda keten tohumu yağı, esmer şeker ve inek sütü) ve iki bağlayıcı (doğal hidrolik kireç ve hamur kireç) ile harç numuneleri üretmişlerdir. Harçların renk varyasyonları (kolorimetri), su geçirmezlik davranışı (su kılcallık testi), geçirgenlik (su buharı geçirgenlik testi), mineralojik bileşim (X ışını kırınımı), mekanik özellikleri, optik özellikleri ve bir fenolftalein indikatörü kullanılarak karbonatlaşma 28. gün, 3, 6 ve 12 ay sonra değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kolorimetrik parametrelerde güçlü bir değişiklik, toplam gözenek tıkanıklığı ile bağlantılı olmayan süt ve yağın genel hidrofobik etkisi, katkı maddesi içermeyen numuneye göre hidrolik kireç ile hazırlanan numunelerde mekanik parametrelerde azalmaya, farklı bir makro gözenek dağılımı ve şekline, farklı bir karbonatlaşma seviyesine ulaşmışlardır. Ayrıca yaptıkları çalışma ile doğal organik malzemelerin, geleneksel harçlara etkisinde hazırlama yöntemlerinin rolünü açıklamışlardır.

Kalkan ve Gündüz (2017) yaptıkları çalışmada, bağlayıcı olarak doğal kalsiyum sülfat anhidrit kullanarak üretilen yeni nesil kompozit yapıları horasan harçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Tuğla kırığı agregalar ile yedi farklı harç karışımı hazırlamışlardır. Harçlarda bağlayıcı yani kalsiyum sülfat anhidrit oranı arttıkça numunelerin mekanik dayanımlarının arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca, bağlayıcıdaki artışın kılcal su emme ve kütlece su emmeyi azalttığını belirlemişlerdir. %70 toplam bağlayıcı (anhidrit ve kireç) oranına sahip harçların fiziksel ve mekanik özellikleri çok iyi çıkmıştır. Bağlayıcı oranının %60, %50, %40 ve %30 olduğu harçlar karışımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri ise tarihi horasan harçlarına yakın çıkmıştır. Horasan harcına alternatif oluşturabilecek bu çalışma kapsamında %20 bağlayıcı oranı ile üretilen harç dışında, diğer harçların kullanımının uygun olduğu sonucuna varmışlardır

Canbaz ve Güler (2017) yaptıkları çalışmada, yağlı kireç ve hidrate kirecin horasan harcının fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Numuneler üzerinde 7 günlük ve 28 günlük fiziksel ve mekanik deneyler yapmışlardır. Hidrate kireç yerine yağlı kireç kullanarak harç üretimi yaptıklarında, numunelerin birim ağırlıklarının ortalama %5, ultrases geçiş hızlarının ortalama %60, eğilme dayanımlarının ortalama 2 kat, basınç dayanımlarının ortalama %35 arttığını belirlemişlerdir. Bağlayıcı olarak hidrate kirecin kullanıldığı horasan harçlarında pişmiş kil tozu-kireç oranı arttıkça birim ağırlıklarının önce artıp sonra azalırken, ultrases geçiş hızlarının %37, eğilme dayanımlarının %53, basınç dayanımlarının %20 oranında arttığını belirlemişlerdir. Horasan harcı kullanılan bir tarihi yapının onarımında yağlı kireç ile üretilen harcın kullanımı uygun görülmüştür çünkü yağlı kireç fiziksel ve mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemiştir. Yapıların taşıyıcı kısmındaki harç dayanımı 10 MPa değerinin altına düşmemelidir. Bu nedenle bağlayıcı olarak yağlı kireç kullanıldığında pişmiş kil tozu-kireç oranının 0,5-1 arasında olmasını uygun görmüşlerdir. 1'i geçmemesini önermişlerdir. Bağlayıcı olarak hidrate kireç kullanıldığı durumda ise pişmiş kil tozu-kireç oranının 2'den büyük seçilmesini önermişlerdir. Burada kilin çeşidi, pişirme sıcaklığı, inceliği de horasan harcının özelliklerine etki etmektedir.

Kılıç Demircan ve Kaplan (2017) yaptıkları çalışmada, doğal hidrolik kireç ve yüksek fırın cürufunu beraber kullanarak alternatif restorasyon harçlarının kullanımını araştırmışlardır. Yüksek fırın cürufunu hidrolik kirecin yerine %25, %50 ve %75 oranlarında ekleyerek kullanmışlardır. 12 mm boyutunda kullandıkları bazalt lifini bağlayıcı ağırlığına göre %0,5, %1, %1,5 oranlarında harç karışımlarına ilave etmişlerdir. Harç karışımlarının hazırlanmasında kuvars kumu kullanmışlardır Yaptıkları tüm

karışımlarda, su/bağlayıcı oranını 0,5, agrega/bağlayıcı oranını ise 1 olarak ayarlamışlardır. Bazalt lifi oranının artmasının harcın işlenebilirliğini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Yüksek fırın cürufunun eklendiği harç karışımlarında yüksek fırın cürufunun %75 oranında olması işlenebilirliği artırmıştır sonucuna ulaşmışlardır. Lifin %1 oranında kullanıldığı durumda, yüksek fırın cürufu miktarını artırılarak harçların işlenebilirliğini artırmışlardır. Lif oranındaki artış harcın homojenliğini etkilediği için basınç dayanımını azaltmıştır. 7 günlük basınç dayanımları açısından lif katkısının etkisi olumsuzken 28. gün ve sonrasında lif katkısı harç dayanımını olumlu etkilemiştir. Basınç dayanımlarını arttıran bir diğer faktörde kür süresinin artmasıyla birlikte lif-matris aderansının artması olmuştur. Yüksek fırın cürufunun %50 ve %75 oranında kullanılmasının basınç dayanımları açısından daha uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yapılan tüm deneylere göre, bazalt lifi oranının %0,5 ve yüksek fırın cürufunun %50 olması en uygun oran olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile yüksek fırın cürufu ve bazalt lifi eklenerek hazırlanan kireç harçlarının restorasyonda kullanılması uygundur sonucuna varmışlardır.

Gür (2019) yaptığı çalışmada, puzolanların doğal hidrolik kireç ile gösterdiği performansı incelemek amacıyla üç seri karışım üretmiştir. Karışımlar $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%50 \pm 2$ bağıl nemli ortamda ve $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de suda olmak üzere iki farklı ortamda kürlenmiştir. 7, 28 ve 90. günlerde basınç, eğilmede çekme ve aderans deneyleri; 28 ve 90. günlerde ise diğer fiziksel deneyleri yapmıştır. Suda kürlenene puzolan katkılı hidrolik kireç harcı numuneleri mekanik ve fiziksel yönden, ortamda kürlenene numunelere göre daha yüksek performans göstermiştir. 90. günde alınan verilere göre, suda kürlenene hidrolik kireç harçlarında daha yüksek oranda hidrasyon tepkimesi meydana gelmiştir. Bu yüzden suda kürlenene harçlarda basınç dayanımında 2,39; eğilmede çekme dayanımında 2,08; ultrases hızında 1,5 kata varan yüksek değerler elde edilmiştir. Suda kürlenene harçların eğilmede çekme dayanımı sürekli artarken, ortamda kürlenene harçlarda %10 ile %30 arasında düşüş olmuştur. Ayrıca kapiler ve hacimce su emme oranlarından, suda kürlenene puzolan katkılı harçların ortamda kürlenene göre 2-3 kat daha düşük su emme özelliği gösterdiği sonucuna varmıştır. Harçların su emme davranışını ve porozite değerlerini incelemiştir. Ürettiği hidrolik kireç harçlarından suda kürlenene kireç taşlarıyla, ortamda kürlenene kireç ile tuğla ile kullanıma uygun olabileceği kullanımının uygun olabileceği sonucunu çıkarmıştır.

Yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere, farklı tür katkılarla üretilen kireç harçlarının mühendislik özellikleri katkısız harçlara kıyasla farklılık göstermektedir. Bu çalışmalardan yola çıkarak restorasyon uygulamalarında kullanmak üzere hidrolik kireç,

hamur kireç ve hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen horasan harçlarına atık malzemelerin değerlendirilmesi ve harçların özelliklerinin nasıl değiştiğinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla agrega olarak belirlenen oranlarda mermer tozu, bağlayıcı olarak belirlenen oranlarda uçucu kül ikamesi ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar bir sonraki bölümde sunulmuştur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Hazırlanan harç numunelerinde serilere göre değişmek üzere restorasyon uygulamalarında kullanılan 3 çeşit hazır tamir harcı, bağlayıcı olarak doğal hidrolik kireç, hamur kireç, uçucu kül, agrega olarak CEN standart kum, kiremit irmiği ve mermer tozu kullanılmıştır. Karışımlara gerekli miktarlarda su eklenmiştir. Kullanılan malzemelerle ilgili detaylar bu bölümde verilmiştir.

3.1.1. Hazır Tamir Harçları

Çalışmada 3 farklı üretici tarafından tarihi yapılar için tasarlanmış hidrolik kireç esaslı, çimento içermeyen tamir harçları kullanılmıştır. Tamir harçları üreticilerin kullanım talimatlarına uygun olarak karıştırılmıştır. Tamir harçları 20 veya 25 kg'lık kraft torbalarda temin edilmiştir.

Hazır tamir harçlarının kullanım alanları; tarihi kâgir yapılarda onarım ve güçlendirme uygulamaları, kâgir, kubbe ve tonozların tamiri veya yeniden yapılması işleri, mevcut tarihi kâgir duvarlara temel oluşturulması ve büyük boşlukların doldurulması, tarihi eser taşlarının birbirine bağlanması ve yapıştırılması, iç ve dış sıva yapımı, sıva onarımları, doğal taş derzlerinin onarımları, mevcut tarihi yapıların taş, tuğla ve duvar örme işleri ve restorasyon uygulamaları olarak sıralanabilir.

Kullanılan A hazır tamir harcı; hidrolik kireç esaslı, tarihi yapılar için tasarlanmış, zararsız doğal mineral, lifler içeren, çimento içermeyen bir tamir harcıdır. Harcın uygulanması kolaydır, içeriğinde suda çözülebilir tuzlar bulunmaz. Kapiler su emmesi düşüktür. Yapışma dayanımı, çiçeklenme direnci, mekanik dayanımları ve su buharı geçirimsizliği yüksektir, nefes alabilir. Kullanılan talimatına göre su oranı 0,343 litre/kg'dır. Karışım yoğunluğu 1,90 kg/litredir.

B hidrolik kireç esaslı tamir harcı; lif takviyeli, silis agregalı bir harçtır. Tarihi yapıların restorasyonu için tasarlanmış bir harçtır. Harcın üretim talimatlarına göre, su oranı 0,212 litre/kg'dır. Karışım yoğunluğu 1,9-2,0 kg/litredir.

Son olarak C tamir harcı ise tarihi yapılar için hazırlanmış, çimento içermeyen tamir harcıdır. Nefes alma özelliği sağlar, su buharı geçirgenliği ve çiçeklenme direnci yüksek olan bir sıva harcıdır. Tüm iç ve dış cephelere uygundur ve tarihi yapılarla uyumludur. Harcın üretim talimatlarına göre su oranı 0,17 litre/kg'dır. Karışım yoğunluğu 1,01 kg/litre'dir.

3.1.2. Doğal Hidrolik Kireç

Tarihi yapılar için hazırlanan çimento içermeyen özel bir harçtır. Nefes alma özelliği sağlar ve su buharı geçirgenliği yüksektir. Tarihi yapılarla uyumludur ve farklı özelliklerde harç imalatına imkân verir.

Doğal hidrolik kirecin teknik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Doğal hidrolik kirecin teknik özellikleri

Genel Bilgiler	
Malzeme Yapısı	Doğal hidrolik kireç
Renk	Açık gri ve kırık beyaz
Ambalaj	25 kg kraft torba
Uygulama ve Performans Bilgileri	
Eğilme Dayanımı	$> 1,0 \text{ N/mm}^2$
Basınç Dayanımı	$> 3,70 \text{ N/mm}^2$
Sınıfı (EN 459-1)	NHL 3,5
Harç Yoğunluğu (kg/litre)	$1,65 \pm 0,1$
Kimyasal Özellikler	
CaO	%90,5
MgO	%1,5
SO ₃	%0,8
CO ₂	%4
Çözünmeyen Kalıntı + SiO ₂	%1
R ₂ O ₃	%0,5
Kızdırma Kaybı	%0,2

3.1.3. Hamur Kireç

Deneylerde 10 kg’lık polietilen torbada suyu ile birlikte bulunan hamur kireç kullanılmıştır. Hamur kireç, %40-60 oranında Ca(OH)₂ + %30-40 oranında su içermektedir. Harç karışımı kullanılmadan önce bir kaba dökülüp, su ve kireç homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Hamur kirecin yoğunluğu 1,2 g/cm³’tür.

3.1.4. Uçucu Kül

Deneylede Kütahya Seyitömer Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün kimyasal özellikleri ve yoğunluğu Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Uçucu külün kimyasal özellikleri ve yoğunluğu

Oksit (%)	TS EN 450	TS EN 197-1		ASTM C 618		Seyitömer uçucu külü
		V	W	F	C	
SiO ₂						54,49
Al ₂ O ₃						20,58
Fe ₂ O ₃						9,27
S+A+F				> 70,0	> 50,0	84,34
CaO						4,26
MgO						4,48
SO ₃	< 3,00			< 5,0	< 5,0	0,52
K ₂ O						2,01
Na ₂ O						0,65
KK	< 5,00	< 5,0	< 5,0	< 6,0	< 6,0	3,01
Cl ⁻	< 0,10					0,006
Serb. CaO	< 1,00					0,26
Reak. SiO ₂	> 25,0	> 25,0	> 25,0			39,01
Reak. CaO		< 10,0	> 10,0			2,49
Yoğunluk (g/cm ³)						2,15

- 1) Kullanılan Seyitömer uçucu külünün reaktif kireç miktarı %10'un altındadır. Bu nedenle TS EN 197-1 standardına göre, V sınıfına (silissi uçucu kül) girmektedir (TSE, 2012).
- 2) TS EN 197-1 standardında istenilen koşullara (reaktif silis, reaktif kireç ve kızdırma kaybı) göre, reaktif silisin en az %25 olması gerekmektedir. Seyitömer külü bunu sağlamaktadır. Sınıfları ile ilgili olarak da TS EN 197-1 standardında istenen koşullara uygundur (TSE, 2012).
- 3) ASTM C618 (1998) standardına göre, SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ > %70 koşuluna ve analitik CaO < %10 koşuluna uyan Seyitömer uçucu külü F sınıfına (düşük kireçli kül) girmektedir ayrıca ASTM C618 (1998) standardında, uçucu küller elde edildikleri kömürün niteliğine göre de sınıflandırılırlar. Seyitömer uçucu külünün üretildiği santrallerde linyit ve benzeri kömür kullanıldığından dolayı C sınıfına girmektedir.

Seyitömer uçucu külü bu standarttaki kızdırma kaybı < %6 olmalı koşuluna da uymaktadır.

- 4) Seyitömer külü TS EN 450 standardına göre hem SO_3 (< 3,00) hem de serbest kireç (< 1,00) sınırlamalarına ayrıca kızdırma kaybı ve klorür koşuluna uygundur (TSE, 1998).
- 5) Seyitömer uçucu külü kimyasal bileşim açısından standartlarda; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı, reaktif silis, reaktif kireç SO_3 , MgO, serbest kireç, kızdırma kaybı ve Cl^- için istenilen sınırlamalara tamamen uymaktadır.

3.1.5. CEN Standart Kum

Deneylerde kullanılan CEN Standart kum TS EN 196-1 standardına göre üretilmiştir (TSE, 2009). CEN Standart kum, özellikle en ince taneleri olan silisli doğal ve temiz bir kumdur. Parçacıklar genellikle izometrik ve yuvarlak şekildedir. Kum, her biri 1350 ± 5 g içeren paketlerde sunulmaktadır. Kumun yoğunluğu $2,63 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

Kumun elek analizi Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. CEN standart kum elek analizi

Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Kalan (%)
0,08	99 ± 1
0,16	87 ± 5
0,5	67 ± 5
1	33 ± 5
1,6	7 ± 5
2	0

3.1.6. Kiremit İrmigi

Deneylerde Çorum ilinden temin edilen 1-3 mm boyut aralığında horasan harçlarında kullanılan kiremit irmiği kullanılmıştır. Yoğunluğu $1,2 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

3.1.7. Mermer Tozu

Deneylerde Isparta ilinden temin edilen 0-10 μm boyut aralığında mermer tozu kullanılmıştır. İnce tane boyutlu olduğu için kırma ve öğütme gibi işlemler yapılmadan doğrudan kullanılmıştır. Kullanılan mermer tozunun yoğunluğu $2,55 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

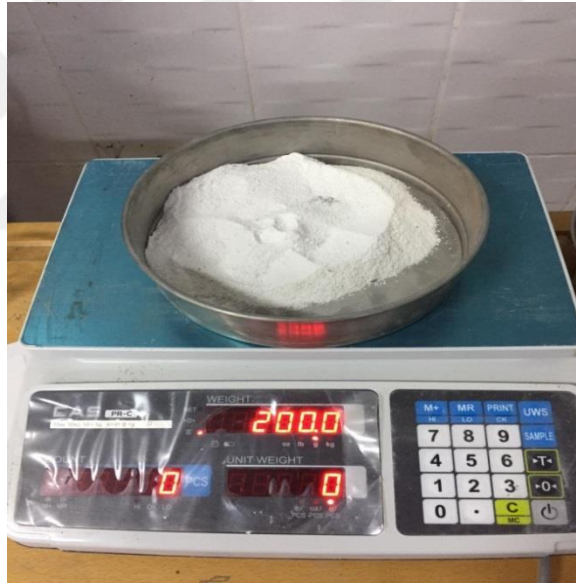
3.1.8. Su

Deneylerde içilebilir nitelikte şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Aletler ve Cihazlar

3.2.1. Dijital Terazi

Şekil 3.1.'de görülen minimum 5 g maksimum 30 kg ölçüm kapasitesi ve 0,1 g ölçüm hassasiyeti olan terazi kullanılarak gerekli malzeme miktarları ölçülmüştür.



Şekil 3.1. Dijital terazi

3.2.2. Hobart Mikseri

Hazırlanan karışımların homojen olarak karışması için Şekil 3.2'de görülen hobart mikseri kullanılmıştır. Karıştırma paletinin hızı TS EN 196-1 standardına göre, düşük hızda karıştırma kabı yörüngesinde 62 ± 5 devir/dakika, kendi eksenini etrafında 140 ± 5 devir/dakika ve yüksek hızda karıştırma kabı yörüngesinde 125 ± 10 devir/dakika, kendi eksenini etrafında 285 ± 10 devir/dakika'dır (TSE, 2009).



Şekil 3.2. Hobart mikseri

3.2.3. Yayılma Tablası

Hazırlanan her harç karışımı kalıba yerleştirilmeden önce TS EN 1015-3 standardına uygun Şekil 3.3'teki alt çapı 100 mm, üst çapı 70 mm ve yüksekliği 60 mm olan kesik koninin içine yerleştirip, yayılma tablası deneyi yapılmıştır (TSE, 2000a).



Şekil 3.3. Yayılma tablası

3.2.4. Çimento Kalıbı

Numune üretiminde Şekil 3.4'te görülen 40x40x160 mm boyutlarında kalıplar kullanılmıştır. Kalıplar sertleştirilmiş çelikten imal edilmişlerdir.



Şekil 3.4. 40x40x160 mm boyutlarında çimento kalıbı

3.2.5. Sarsma Cihazı

Şekil 3.5'te görülen sarsma cihazı, kalıba yerleştirilen harç numunesini sıkıştırmak için kullanılmaktadır. Cihaz, TS EN 196-1 standardına göre 60 devir/dakika'lık sarsma periyodunda 15 mm yükseklikten düşme yapan tabladan oluşur. Kalıp bu tablaya bağlanarak harcın sıkışması sağlanır. Cihazın üzerinde, düşme sayısını gösteren ve ayarlanan sayıya ulaştığında otomatik duran bir sayaç bulunur. Harç karışımı iki tabaka halinde kalıba yerleştirilip sarsma işlemi uygulanır ve sıkışması sağlanır (TSE, 2009).



Şekil 3.5. Harç karışımına uygulanan sarsma işlemi

3.2.6. Etüv

Deneylerde 200 °C'ye kadar çalışabilen Şekil 3.6'da görülen etüv kullanılmıştır. Kullanılan etüvde, iki kat saç levha bulunur ve hava geçirmez yapıdadır. Kuru birim hacim kütle deneyi, kütlece su emme deneyi ve kılcal su emme deneyinden önce numuneler sabit kütleyle gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur.



Şekil 3.6. Etüv

3.3. Yöntem

3.3.1. Harç Serilerinin Üretimi

Yapılan deneylerle 4 seri tamir harcı üretilmiştir. Agregası ve bağlayıcılar değişen oranlarda farklı malzemelerle hacimce yer değiştirilmiştir. Üretilen harç numuneleri hem seriler arası hem de her bir serinin kendi içinde fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek kıyaslanmıştır.

Deneylerde kullanılan numuneler, seri 1 (hazır tamir harçları), seri 2 (hidrolik kireç içeren harçlar), seri 3 (hamur kireç içeren harçlar) ve seri 4 (hidrolik + hamur kireç içeren harçlar) şeklindedir.

Seri 1’de üç farklı firmaya ait onarım ve restorasyon uygulamalarında kullanılan hazır tamir harçlarının üretimi yapılmıştır. A Doğal Hidrolik Kireç Esaslı Tamir Harcı, B Doğal Hidrolik Kireç Esaslı Tamir Harcı ve C Doğal Hidrolik Kireç Esaslı Tamir Harcı kullanılarak numuneler üretilmiştir. Harçların uygulama talimatındaki su miktarı ve karıştırma biçimine uyularak üretim gerçekleştirilmiştir. Kullanılan üç tamir harcı da hidrolik kireç esaslıdır.

Seri 2’de hidrolik kireç içeren horasan harçlarının üretimi yapılmıştır. Önce şahit numune üretilmiştir. Bağlayıcı olarak hidrolik kireç, agrega olarak ise kum ve kiremit irmiği kullanılmıştır. Şahit numunedan sonra, agrega olarak kullanılan kum ve kiremit irmiğinin yerini hacimce %10, %20 ve %30 oranlarında mermer tozunun aldığı harçlar üretilmiştir. Seri 2’nin son üretimi ise bağlayıcı olan hidrolik kireç, hacimce %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ile yer değiştirilerek yapılmıştır.

Seri 3’te ise Seri 2’de kullanılan ve bağlayıcı olan hidrolik kirecin yerini hamur kireç almıştır. Seri 2’de olduğu gibi burada da agrega olarak kullanılan kum ve kiremit irmiği aynı oranlarda mermer tozu ile bağlayıcı olan hamur kireçte uçucu kül ile yer değiştirilmiştir.

Seri 4 hidrolik kireç ve hamur kirecin birlikte kullanılarak üretilen seridir. Bu seride Romalı mimar Vitruvius’un Mimarlık Üzerine On Kitap adlı kitabında bahsettiği horasan harcı formülünden yola çıkılarak üretim yapılmıştır (Vitruvius, 1990). Diğer 2 seride olduğu gibi bu seride de agrega olarak kullanılan kum ve kiremit irmiği %10, %20 ve %30 oranlarında mermer tozu ile hacimce yer değiştirilmiştir. Bağlayıcı olan hidrolik ve hamur kireçte uçucu kül ile hacimce %10, %20, %30 oranlarında yer değiştirilmiştir.

Seri 2, seri 3 ve seri 4’te hazırlanan harçlar restorasyon uygulamalarında kullanılmak üzere üretilmiştir. Seri 2 ve seri 3’de agrega olarak kiremit irmiği %70

oranında kullanılırken, kum %30 oranında kullanılmıştır. Seri 4'te ise kullanılan horasan harcı formülüne göre, agrega olarak kiremit irmiği %36,85, kum %63,15 oranındadır.

Seri 1'de üretilen hazır tamir harçlarının uygulama talimatlarına uygun olarak karışım yapılmıştır.

Seri 2, seri 3 ve seri 4'te karışımlar hazırlanırken ise önce kuru karışım yapılmış, daha sonra sıvı malzemeler eklenmiştir. Karıştırıldıktan sonra homojen hale gelen bütün karışımlara yayılma tablası deneyi ile kıvam tayini yapılmıştır. Kuru harç karışımına eklenecek su miktarı her 3 seride de TS EN 459-2 standardına uygun olarak yayılma tablasında 165 ± 3 mm'yi sağlayacak şekilde ayarlanmıştır (TSE, 2011). Yayılma tablası deneyinden sonra harç karışımı yağlanmış kalıplara önce yarıya kadar doldurulup, sarsma tablasına alınmıştır. Sarsma tablasında 60 kere düşürüldükten sonra kalan yarısı doldurulup tekrar 60 kere düşürülerek iyice yerleşmesi sağlanmıştır ve en son üzeri mala ile düzeltilerek numuneler prizini alması için bırakılmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak nem odasına alınmış ve her gün bir yüzeyi çevrilerek kür uygulanmıştır.

Üretilen harçlara ait örnek kodlama aşağıda verilmiştir:

Bağlayıcı:

Hİ: Hidrolik kireç

HA: Hamur kireç

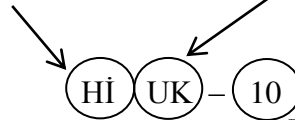
HİHA: Hidrolik kireç + hamur kireç

Katkı:

Ş: Katkısız (şahit)

UK: Uçucu kül

MT: Mermer tozu



UK veya MT ikame oranı:

10: %10

20: %20

30: %30

Deneyisel çalışmalarda üretilen harçlar için karışıma giren malzeme miktarları Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Harç karışımlarına giren malzeme miktarları

	Karışım İsmi	Hazır Harç Karışımı (g)	Hidrolik Kireç (g)	Hamur Kireç (g)	Uçucu Kül (g)	Kum (g)	Kiremit İrmigi (g)	Mermer Tozu (g)	Su (ml)
SERİ 1	A TAMİR HARCI	1500,00							375,00
	B TAMİR HARCI	1500,00							318,75
	C TAMİR HARCI	1500,00							425,00
SERİ 2	HİŞ		600,00			360,00	840,00		480,00
	HİMT-10		600,00			324,00	756,00	213,40	460,00
	HİMT-20		600,00			288,00	672,00	426,81	460,00
	HİMT-30		600,00			252,00	588,00	640,21	470,00
	HİUK-10		540,00		78,18	360,00	840,00		480,00
	HİUK-20		480,00		156,36	360,00	840,00		490,00
	HİUK-30		420,00		234,55	360,00	840,00		515,00
SERİ 3	HAŞ			600,00		360,00	840,00		20,00
	HAMT-10			600,00		324,00	756,00	213,40	30,00
	HAMT-20			600,00		288,00	672,00	426,81	25,00
	HAMT30			600,00		252,00	588,00	640,21	20,00
	HAUK-10			540,00	107,50	360,00	840,00		80,00
	HAUK-20			480,00	215,00	360,00	840,00		100,00
	HAUK-30			420,00	322,50	360,00	840,00		160,00
SERİ 4	HİHAŞ		300,00	300,00		900,00	525,00		230,00
	HİHAMT-10		300,00	300,00		810,00	472,50	198,82	215,00
	HİHAMT-20		300,00	300,00		720,00	420,00	397,65	190,00
	HİHAMT-30		300,00	300,00		630,00	367,50	596,47	260,00
	HİHAUK-10		270,00	270,00	92,84	900,00	525,00		290,00
	HİHAUK-20		240,00	240,00	185,68	900,00	525,00		310,00
	HİHAUK-30		210,00	210,00	278,52	900,00	525,00		350,00

3.3.2. Yayılma Tablası Deneyi

Üretilen harç karışımları kalıplanmadan önce, TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Harç karışımları alt çapı 100 mm, üst çapı 70 mm ve yüksekliği 60 mm olan kesik koni şeklindeki kalıba iki tabaka şeklinde yerleştirilmiştir. Her tabaka 25 defa tokmaklanıp sıkışması ve yerleşmesi sağlanmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra Şekil 3.7’de görüldüğü gibi kesik koni şekilli kalıp yukarıya doğru çekilip yayılma tablası saniyede 1 defa olmak üzere 15 defa düşürülerek, harcın yayılması sağlanmıştır. Şekil 3.8’deki gibi yayılan harç kütlesinin çapı birbirine dik 2 doğrultuda mm olarak ölçülmüştür ve ortalaması alınmıştır. Bulunan değer harç karışımının yayılma değeri olarak kaydedilmiştir (TSE, 2000a).

Harç karışımlarında TS EN 459-2 standardına göre 165 ± 3 mm yayılmayı sağlayan su miktarı kullanılmıştır (TSE, 2011).



Şekil 3.7. Yayılma tablası deneyi



Şekil 3.8. Yayılmış harç karışımı

3.3.3. Daldırma Ucu İle Taze Harç Kıvam Tayini Deneyi

Taze harç kıvamının TS EN 1015-4 standardına uygun olarak daldırma ucu batma derinliğinin belirlenmesi yoluyla tayinidir. Kap iki tabaka halinde her tabaka 10 defa tokmaklanarak doldurulmuştur. Dolu kap taban plakasına yerleştirilip, Şekil 3.9’da görüldüğü gibi sabitleme vidası gevşetilerek daldırma ucunun başlangıç konumundan serbestçe düşmesi sağlanır. Daldırma ucunun harç içerisine girme derinliği, daldırma çubuğunun ölçülendirilmiş üst kısmının alt seviyesinden en yakın milimetreye yuvarlatılarak okunmuştur (TSE, 2000b).



Şekil 3.9. Daldırma ucu ile taze harç kıvam tayini deneyi

3.3.4. Taze Harç Birim Hacim Kütle Deneyi

Taze harç birim hacim kütle deneyi için harç, 40x40x160 mm ölçülerindeki kalıba iki tabaka şeklinde boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve sıkıştırılmıştır. Tabakalar sıkıştırıldıktan sonra üst yüzeyi tesviye edilmiştir. Ölçü kabı harçla doldurulmadan önce ve harçla doldurulduktan sonra Şekil 3.10’da görüldüğü gibi 0,1 hassasiyetli dijital terazi ile tartılmıştır.

Taze harcın boşluklu birim hacim kütlesi (D) TS EN 1015-6 standardına göre Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır (TSE, 2000c).

D: Taze harcın birim hacim kütlesi, g/cm³

m₁: Kabin kütlesi, g

m₂: Kabin içerisindeki harç ile birlikte toplam kütlesi, g

V: Kabin hacmi, cm³

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.1)$$



Şekil 3.10. Taze harcın birim hacim kütlelerinin tayini

3.3.5. Kuru Birim Hacim Kütle Deneyi

Bir cismin birim hacim kütlesi kuru numune kütlelerinin görünür hacmine oranıdır. TS EN 1015-10 standardına göre numuneler sabit kütleye ulaşınca kadar 70 ± 5 °C’de etüvde bekletilmiştir (TSE, 2001). Sonra her bir numunenin kütlesi ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin eni, boyu, yüksekliği ölçülerek hacmi bulunmuştur. Numunelerin kuru birim hacim kütlesi Denklem 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır.

D_{kuru} : Kuru birim hacim kütlesi, g/cm³

M_{kuru} : Kuru numune kütlesi, g

V : Numunenin hacmi, cm³

$$D_{kuru} = \frac{M_{kuru}}{V} \quad (3.2)$$

3.3.6. Su Emme Deneyi

Su emme deneyinde numuneler ilk olarak etüv 70 ± 5 °C’ye ayarlanarak Şekil 3.11’de görüldüğü gibi sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. 24 ± 2 saat aralıkla iki tartım yapılmıştır. Yapılan tartımlar arasındaki fark numune kütlelerinin %0,1’inden büyük

olmadığı için numunenin sabit kütleye ulaştığı kabul edilmiştir ve numunelerin kuru kütlesi ölçülmüştür (W_0).

Sonrasında numuneler, Şekil 3.12'deki gibi su tankı içerisine yerleştirilip, 20 ± 10 °C'lık damıtılmış su ilave edilmiştir. 48 ± 2 saat su içerisinde bekletilen numuneler çıkarılıp, nemli bezle kuruladıktan sonra ağırlığı ölçülmüştür yeniden suya batırılmıştır. 24 ± 2 saat sonra yeniden ağırlığı ölçülmüştür ve fark %1'den fazla olmadığı için deney tamamlanmıştır. Sudan çıkarılan numuneler hızlı bir şekilde nemli bezle kurulanmıştır ve suya doymuş numunenin kütlesi ölçülmüştür (W_1).

Bu deneyler 40x40x160 mm boyutundaki 28 günlük numunelere yapılmıştır. Denklem 3.3'teki kütleye su emme oranı formülünden numunelerin su emme yüzdeleri hesaplanmıştır.

S_k : Kütleye su emme oranı, %

W_0 : Kuru numune kütlesi, g

W_1 : Doygunlaştırılmış numune kütlesi, g

$$S_k = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.3)$$



Şekil 3.11. Numunelerin etüvde bekletilmesi



Şekil 3.12. Numunelerin suda bekletilmesi

3.3.7. Kılcal Su Emme Deneyi

Boşluklu malzemenin içerisinde kılcal boşluklar bulunur. Kılcal borucuk olarak da tabir edebileceğimiz bu boşluklar sıvı ile temas ettiğinde çaplarına bağlı olarak adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin etkisiyle sıvının bu borucuklarda yükselmesine sebep olur. Bu olaya kılcallık etkisi adı verilir.

Kılcal su emme ise; cismin taban yüzeyinin suya değdirilmesi sonucunda suyun, malzeme içindeki kılcal boşluklar içerisinde zamana bağlı olarak yükselmesi olayına denir (Toydemir vd., 2000).

Hazırlanan 40x40x160 mm boyutlarındaki 28 günlük numuneler önce 70 ± 5 °C’de etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilip, kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin sadece tabandan su alması için 4 kenarı parafinlenerek parafinli ağırlıkları da kaydedilmiştir. TS EN 1925 standardına uygun olarak yapılan kılcallık deneyinde, deney numunelerinin yüzeylerinden bir tanesi, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te görüldüğü gibi 3 ± 1 mm su içerisine daldırılarak su emdirilip, zamana bağlı olarak kütledeki artış ölçülmüştür. Deney süresince gereken miktarlarda su eklenerek su seviyesinin sabit kalması sağlanmıştır. Kronometre tutularak belirlenen dakikalarda numune sudan alınıp, nemli bir bezle kurulanmıştır ve ağırlıkları kaydedilmiştir (TSE, 2000d).

Zaman aralıkları için 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, 121, 144. Dakikalar uygun görülmüştür. Numunelerin emdikleri su miktarı ve süreye bağlı olarak kılcallık katsayıları Denklem 3.4 yardımıyla belirlenmiştir.

N: Kılcallık katsayısı ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dk}^{0.5}$)

Q: Emilen suyun ağırlığı (g)

A: Su değen yüzeyin alanı (cm^2)

t: zaman (dakika)

$$N = \frac{Q}{\sqrt{t} \times A} \quad (3.4)$$



Şekil 3.13. Kılcal su emme deney düzeneği



Şekil 3.14. Kılcal su emme deney düzeneği

3.3.8. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı deneyinde, 40x40x160 mm boyutlarındaki prizma şekilli numune deney cihazına Şekil 3.15’te görüldüğü gibi boyuna eksenini mesnet silindirlerine dik olarak yani yan yüzlerinden biri mesnet silindirlerine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. TS EN 196-1 standardına uygun olarak, 50 ± 10 N/s sabit hızla numune kırılıncaya kadar mesnetlere oturmeyan yan yüze yük uygulanmıştır (TSE, 2009). Yapılan her harç karışımından 3’er adet numune ile deney yapılarak, sonuçların ortalaması alınmıştır.

Eğilme dayanımı (R_f) MPa biriminde aşağıdaki Denklem 3.5 ile hesaplanmıştır.

R_f : Eğilme dayanımı, N/mm^2

F_f : Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet, N

l : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık, mm

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, mm

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (3.5)$$



Şekil 3.15. Eğilme dayanımı deneyi

3.3.9. Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyi yapıldıktan sonra iki parçaya ayrılan numunelerin her birine basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneyinde TS EN 196-1 standardına göre, yarım prizmaların her biri cihazın plakaları arasına Şekil 3.16’da olduğu gibi $\pm 0,5$ mm’den fazla taşmayacak şekilde yatay konumda yerleştirilmiştir. Yük 2400 ± 200 N/s hızda prizma kırılana kadar düzgün şekilde arttırılmıştır (TSE, 2009).

Basınç dayanımı (R_c), MPa biriminde aşağıdaki Denklem 3.6 ile hesaplanmıştır.

R_c : Basınç dayanımı, N/mm^2

F_c : Kırılmadaki en büyük yük, N

1600: Plakaların veya yardımcı plakaların alanı (40 mm x 40 mm), mm^2

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.6)$$



Şekil 3.16. Basınç dayanımı deneyi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

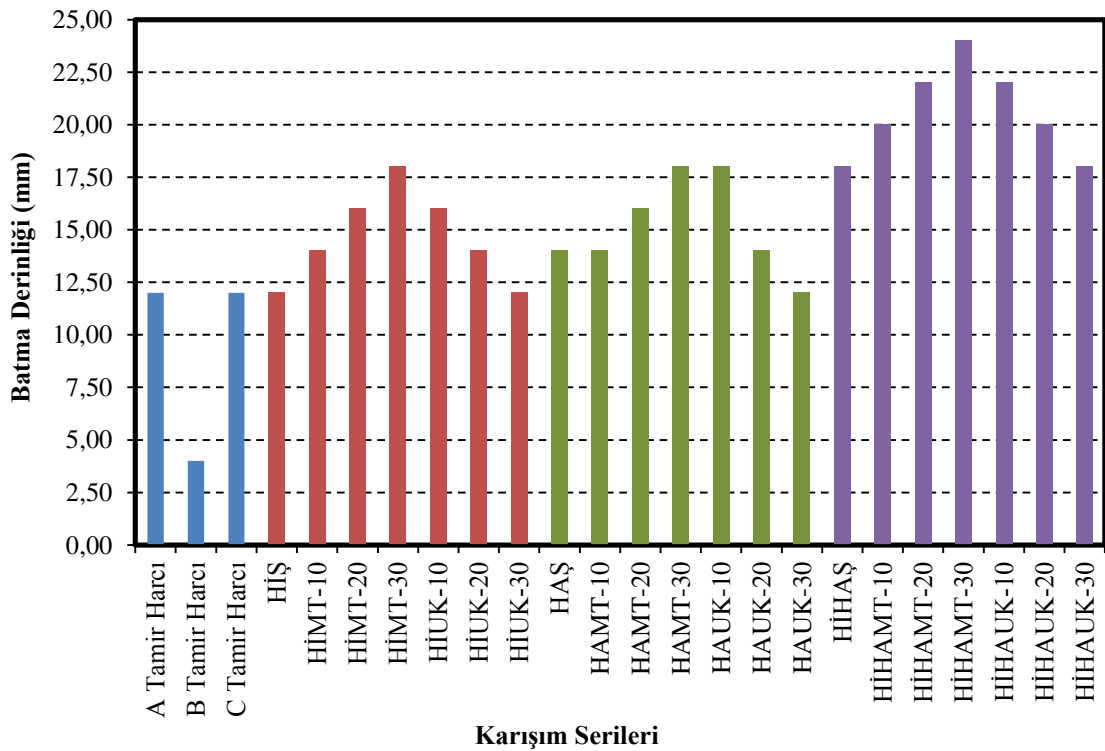
Farklı malzeme cinsleri ve oranlarına göre hazırlanan toplam 4 seri harç üretimi yapılmıştır. Bu harç numuneleri ile standartlara uygun olarak fiziksel ve mekanik deneyler yapılarak, özellikleri belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar grafiklere aktararak, üretilen harç serilerinin kullanılan malzeme cinsleri ve oranlarına göre değişen özellikleri incelenmiştir.

Fiziksel deneylerden daldırma ucu ile taze harç kıvam tayini deneyi, taze ve kuru birim hacim kütle, kütlece su emme, kılcal su emme deneyleri yapılmıştır.

Mekanik deneylerden 28. günde eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

4.1. Daldırma Ucu İle Taze Harç Kıvam Tayini Deneyi Sonuçları

Hazır tamir harçları, hidrolik kireç ile üretilen harçlar, hamur kireç ile üretilen harçlar ve hidrolik + hamur kireç ile üretilen harçlara ait daldırma ucu ile taze harç kıvam tayini deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Daldırma ucu ile taze harç kıvam tayini deney sonuçları

Üretilen harç numuneleri 4 – 24 mm arasında batma derinliği değerlerine sahiptir.

Hazır tamir harcı serisinde batma derinliği değerleri 4 – 12 mm arasındadır. En düşük batma derinliği değeri B tamir harcına ait değerdir.

Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serisinin batma derinliği değeri 12 – 18 mm arasındadır. Agregada olarak mermer tozunun diğer agregalarla %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirilmesiyle batma derinliğinde artış görülmüştür. Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcına %30 mermer tozu eklenmesi ile en yüksek batma derinliği değerine ulaşılmıştır. Bağlayıcı olarak uçucu külün hidrolik kireç ile %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirilmesiyle batma derinliği değerinde azalma meydana gelmiştir ve en düşük batma derinliği değeri bağlayıcı olarak hidrolik kirecin, %30 oranında uçucu kül ile yer değiştirmesi ile üretilen harçta görülmüştür.

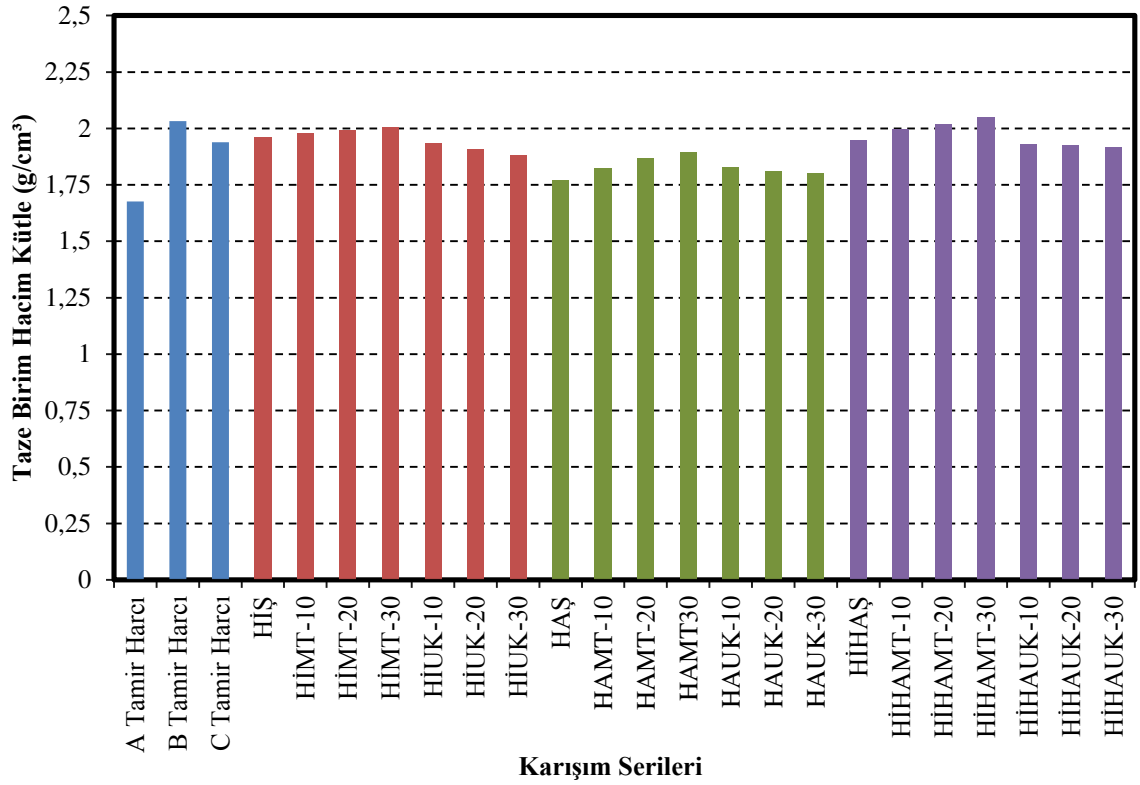
Hamur kireç ile üretilen horasan harcı serisinde batma derinliği değeri 12 – 18 mm arasındadır. Mermer tozunun agregada olarak diğer agregalarla yer değiştirilmesi ile batma derinliği değerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek batma derinliğine yine bir önceki seride olduğu gibi mermer tozunun %30 oranında eklendiği harçta ulaşılmıştır. Uçucu külün hidrolik kireç ile yer değiştirilmesi ile de değerlerde azalma meydana gelmiştir ve en düşük batma derinliği değeri de uçucu külün %30 oranında eklendiği harçta meydana gelmiştir.

Son seri olan hidrolik + hamur kireç ile üretilen horasan harcı serisinde de batma derinliği değeri 18 – 24 mm arasındadır. Agregada olarak diğer agregalarla yer değiştirilen mermer tozunun artan oranlarında batma derinliği değeri artarken, bağlayıcı olarak uçucu külün artan oranlarında azalma meydana gelmiştir.

En yüksek batma derinliği değerlerine son seride ulaşılmıştır. Hazır tamir harcı ile üretilen seri son serinin %38'i ve hidrolik kireç ve hamur kireç ile üretilen diğer iki seride son serinin %71'i mertebesindedir.

4.2. Taze Harç Birim Hacim Kütle Deney Sonuçları

Hazır tamir harçları, hidrolik kireç ile üretilen harçlar, hamur kireç ile üretilen harçlar ve hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harçlara ait taze harç birim hacim kütle deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Taze harç birim hacim kütle deney sonuçları

Üretilen harcı numuneleri $1,68 - 2,05 \text{ g/cm}^3$ arasında taze birim hacim kütle değerine sahiptir.

Hazır tamir harcı serisinde taze birim hacim kütle değerleri $1,68 - 2,03 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. En yüksek taze birim hacim kütle değeri B tamir harcındadır.

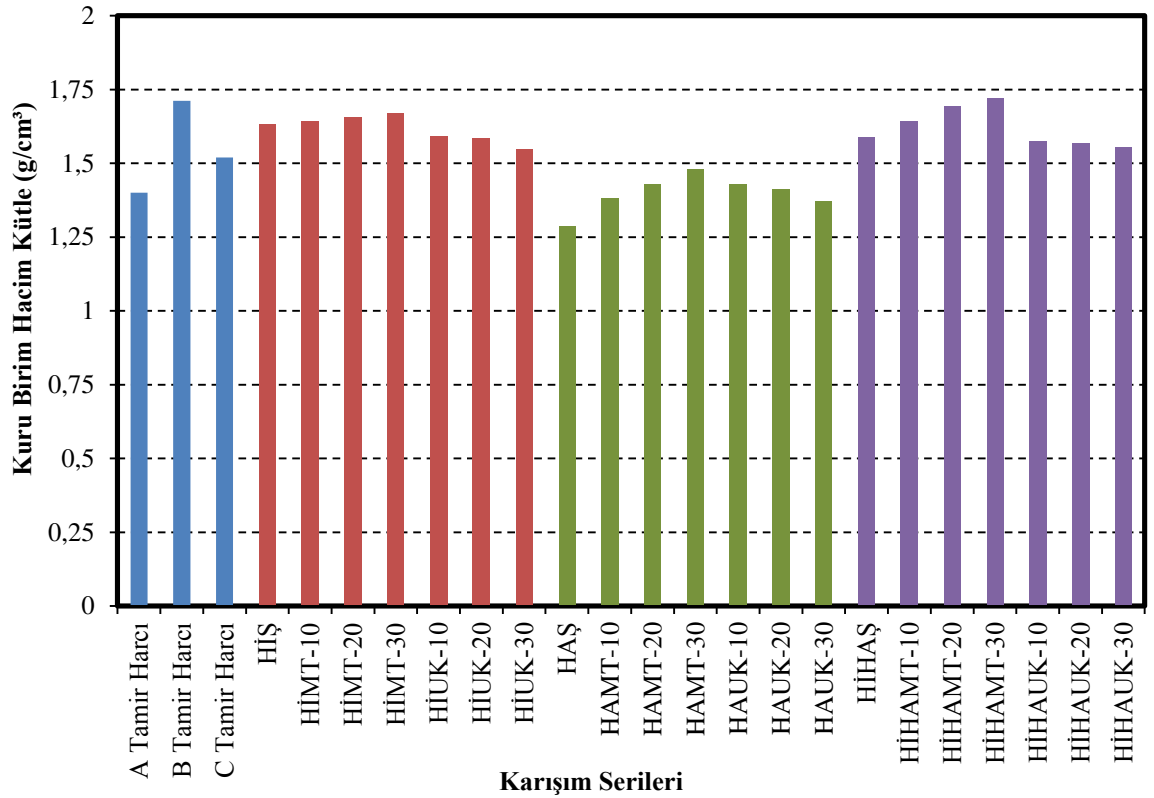
2. seri olan hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serisinde taze birim hacim kütle $1,88 - 2,00 \text{ g/cm}^3$ aralığındadır. Agregat olarak mermer tozunun diğer agregalarla %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirilmesiyle taze birim hacim kütlede az miktarda artış görülmüştür ancak üç oranda da birim hacim kütle değeri birbirine yakındır. Bağlayıcı olarak uçucu kül, hidrolik kireç ile %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirilmesiyle üretilen harç serisinde ise taze birim hacim kütlede azalma meydana gelmiştir ve üç orandaki azalmaların birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Hamur kireç ile üretilen horasan harcı serisinde taze birim hacim kütle değerleri $1,77 - 1,89 \text{ g/cm}^3$ aralığında çıkmıştır. Mermer tozunun agregat olarak diğer agregalarla yer değiştirilmesi ile taze birim hacim kütlede artış meydana gelmiştir. Uçucu külün hidrolik kireç ile yer değiştirilmesi ile de taze birim hacim kütle değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Son seride ise taze birim hacim kütle $1,92 - 2,05 \text{ g/cm}^3$ aralığındadır. Son seri olan hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harç serisinde de agrega olarak diğer agregalarla yer değiştiren mermer tozunun artan oranlarında taze birim hacim kütle artarken, bağlayıcı olarak uçucu külün artan oranlarında azalma meydana gelmiştir ancak taze birim hacim kütle değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

4.3. Kuru Birim Hacim Kütle Deney Sonuçları

Hazır tamir harçları, hidrolik kireç ile üretilen harçlar, hamur kireç ile üretilen harçlar ve hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harçlara ait birim hacim ağırlık deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kuru birim hacim kütle deney sonuçları

Bütün harç numuneleri $1,29 - 1,72 \text{ g/cm}^3$ arasında kuru birim hacim kütle değerlerine sahiptir.

Hazır tamir harcı serisinde kuru birim hacim kütle $1,40 - 1,71 \text{ g/cm}^3$ aralığındadır. En yüksek birim hacim kütle değeri B tamir harcına aittir.

Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serisinde kuru birim hacim kütle değeri $1,55 - 1,67 \text{ g/cm}^3$ aralığındadır. Agrega olarak mermer tozu diğer agregalarla %10, %20 ve

%30 oranında yer değiştirilmesiyle birim hacim kütlede artış görülmüştür ancak üç oranda da birim hacim kütle birbirine yakındır. Bağlayıcı olarak uçucu kül, hidrolik kireç ile %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirilmesiyle üretilen harç serisinde ise birim hacim kütlede azalma meydana gelmiştir yine üç oranda birim hacim kütledeki azalma birbirine yakındır.

Hamur kireç ile üretilen horasan harcı serisinde de kuru birim hacim kütle değeri $1,29 - 1,48 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. Mermer tozunun agrega olarak diğer agregalarla yer değiştirilmesi ile birim hacim kütlede artış meydana gelmiştir. Uçucu külün hidrolik kireç ile yer değiştirilmesi ile de birim hacim kütle değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Son olarak hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harç serisinde ise kuru birim hacim kütle değeri $1,55 - 1,72 \text{ g/cm}^3$ arasında çıkmıştır. Diğer serilerde olduğu gibi mermer tozunun artan oranlarında birim hacim kütle artarken, uçucu külün artan oranlarında birim hacim kütlede azalma görülmüştür.

Mermer tozu katkılı harçların tamamında mermer tozu oranının artmasıyla kuru birim hacim kütle değerleri artmıştır. Bunun sebebi çok ince taneli ($0 - 10 \text{ }\mu\text{m}$) bir malzeme olan mermer tozunun harcın içindeki boşlukları daha fazla doldurarak kuru birim hacim kütle değerini arttırmasıdır.

Oğuz vd. (2015) yaptıkları çalışma ile Bizans, Roma ve Selçuklu döneminde inşa edilen tarihi yapılardan harç numuneleri almışlardır ve alınan numunelerde Bizans dönemi harçlarının birim hacim ağırlığı $1,45 - 1,67 \text{ g/cm}^3$, Roma dönemi harçlarının birim hacim ağırlığı $1,54 - 1,86 \text{ g/cm}^3$, Selçuklu dönemi harçlarının birim hacim ağırlığı ise $1,65 - 1,85 \text{ g/cm}^3$ aralığında çıkmıştır.

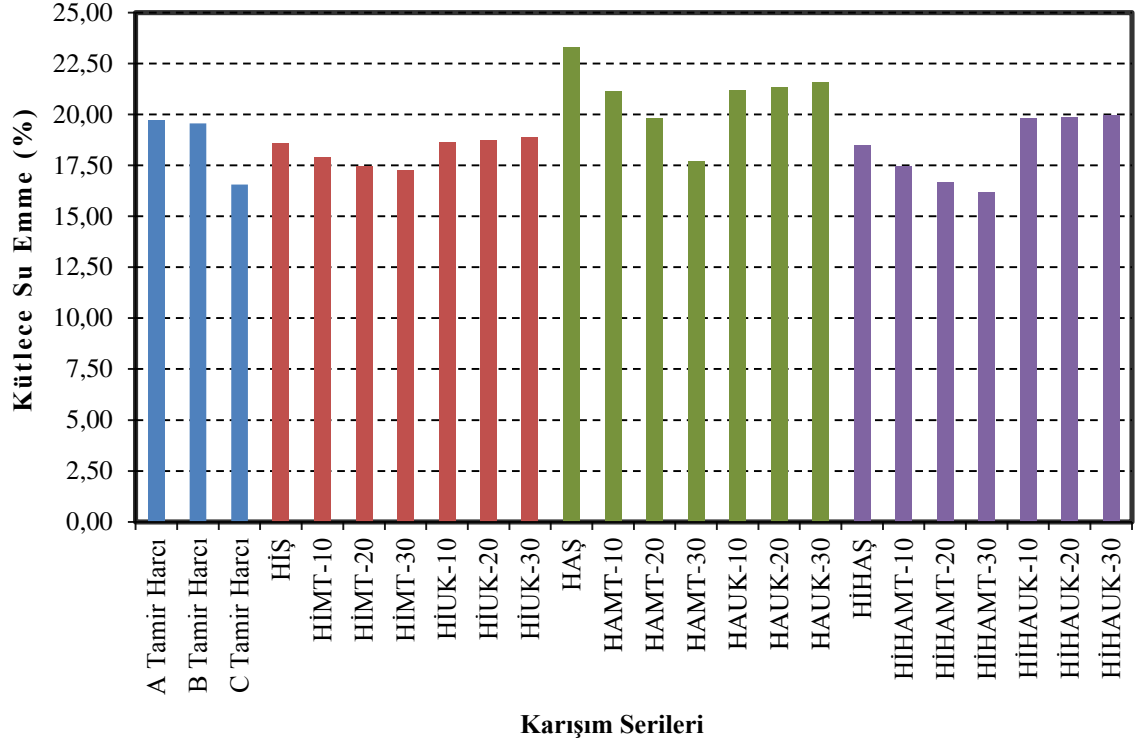
Kahraman vd. (2012) yaptıkları çalışma ile Roma dönemi saray yapılarındaki horasan harçlarını incelemişlerdir ve horasan harçlarının birim hacim ağırlığını $1,32 - 1,61 \text{ g/cm}^3$ aralığında bulmuşlardır.

Mavioğlu (2011) yaptığı deneysel çalışma ile ürettiği horasan harcı numunelerin birim hacim ağırlık değerlerini $1,40 - 1,55 \text{ g/cm}^3$ aralığında bulmuştur.

Ürettiğimiz horasan harcı serilerinin birim hacim kütle değerleri daha önce yapılan çalışmalarla bulunan değerlere paralellik göstermektedir.

4.4. Su Emme Deneyi Sonuçları

Hazır tamir harçları, hidrolik kireç ile üretilen harçlar, hamur kireç ile üretilen harçlar ve hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harçlara ait kütlece su emme deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Küttelece su emme deneyi sonuçları

Deney sonuçlarından, üretilen harçların küttelece su emme değerlerinin %16 ile %24 arasında değiştiği görülmüştür.

Hazır tamir harcı serisinde küttelece su emme değerleri %16 – %19 arasındadır. En düşük yüzde C tamir harcına aittir.

Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serisinde küttelece su emme %17 – %19 aralığındadır. Agrega olarak mermer tozunun diğer agregaların yerine %10, %20 ve %30 oranında eklenmesiyle artan mermer tozu oranına bağlı olarak azalma görülmüştür. Bağlayıcı olarak uçucu kül hidrolik kireç yer değiştirilmiştir ve küttelece su emme değerlerinde üç oranda da birbirine yakın artışlar görülmüştür.

Hamur kireç ile üretilen horasan harcı serisinde küttelece su emme %17 – %24 arasındadır. Artan oranlarda mermer tozu eklenmesiyle su emme azalmıştır. Bağlayıcı olarak hamur kirecin %10, %20 ve %30 oranlarda uçucu kül ile yer değiştirilmesi sonucunda da su emme yüzdelerinde üç oranda da birbirine yakın artışlar görülmektedir.

Son olarak hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen seride de küttelece su emme değerleri %16 – %20 arasındadır. Artan mermer tozu oranına bağlı olarak su emme yüzdeleri azalırken, uçucu külün artan oranlarında birbirine yakın artışlar görülmektedir.

Mermer tozu kullanılarak üretilen tüm serilerde mermer tozu oranı arttıkça kütlece su emme oranları düşmüştür. Bu durum mermer tozu tane boyutunun 10 µm'den daha küçük tane boyutuna sahip olması nedeniyle harcın içindeki boşlukları daha fazla doldurmasından kaynaklanmaktadır. Mermer tozu katkılı harçların kuru birim hacim kütle değerlerindeki artış da bu sonucu desteklemektedir.

Harçların su emmesi, içerisinde bulunan toplam gözenek miktarı ile (porozite) doğrudan ilişkilidir. Yüksek miktarda su emen harçların porozitesinin yüksek olduğu söylenebilir. Su emme, malzemenin dona karşı dayanıklılığını da etkiler (Gür, 2019). En yüksek su emmeye sahip harç hamur kireç ile üretilen şahit numunesidir.

Oğuz vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada Bizans dönemi horasan harçlarının kütlece su emme yüzdesi %18,06 – %25,82 aralığında, Roma dönemi horasan harçlarının kütlece su emme yüzdeleri %14,60 – %23,59 aralığında ve Selçuklu dönemi horasan harçlarının kütlece su emme yüzdeleri %15,71 – %19,13 aralığındadır.

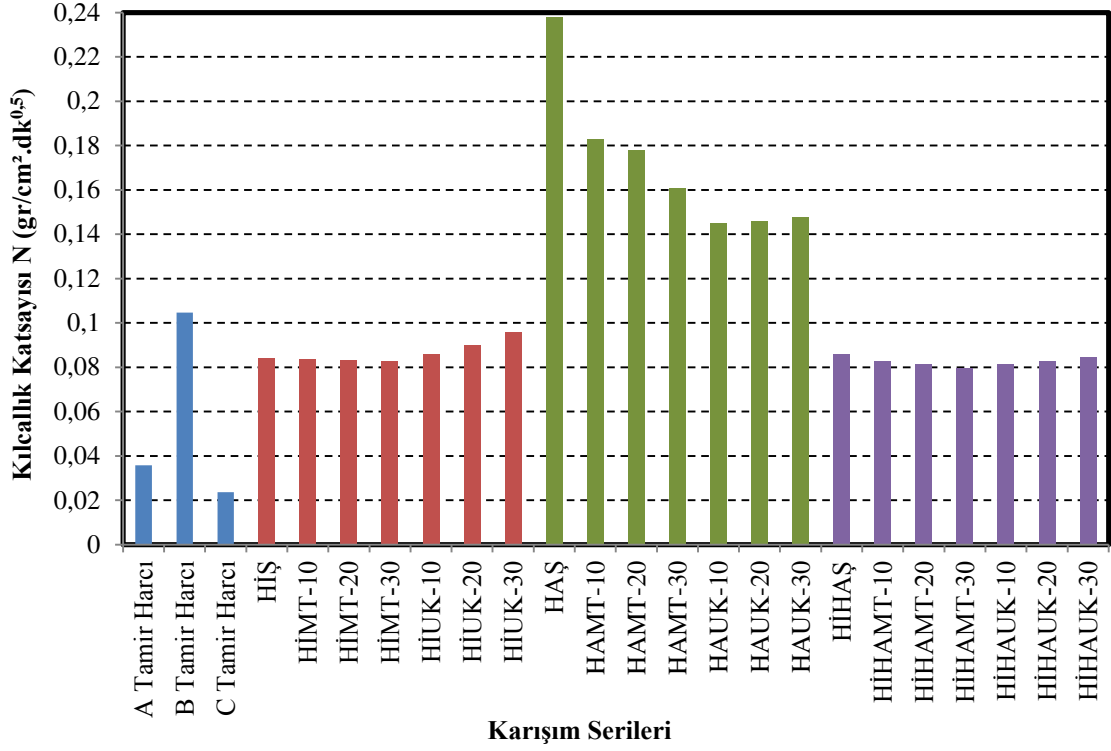
Kahraman vd. (2012) yaptıkları çalışma sonucu horasan harçlarının kütlece su emme yüzdesini %23 – %33 aralığında bulmuşlardır.

Mavioğlu (2011) tarafından yapılan çalışma ile üretilen horasan harcı numunelerinin su emme değerleri %19 – %27 aralığında çıkmıştır.

Geçmiş yıllarda horasan harçları ile yapılan su emme deneyi sonuçları da ürettiğimiz horasan harçlarının su emme değerlerine yakın çıkmıştır.

4.5. Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Hazır tamir harçları, hidrolik kireç ile üretilen harçlar, hamur kireç ile üretilen harçlar ve hidrolik + hamur kireç ile üretilen harçlara ait kılcal su emme deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kılcal su emme deneyi sonuçları

Kılcal su emme deneyi sonuçlarından görüldüğü üzere, hamur kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde en yüksek kılcallık katsayısı değerleri elde edilmiştir.

Hazır tamir harçları ile üretilen serilerde en yüksek kılcallık katsayısı B tamir harcındadır.

Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde şahit, agrega olarak mermer tozunun diğer agregalarla yer değiştirdiği harçlarda kılcallık katsayısı değerleri birbirine yakın çıkarken, bağlayıcı olarak uçucu külün hidrolik kireç ile yer değiştirdiği serilerde ise artan uçucu kül oranlarında kılcallık katsayısında da bir miktar artış görülmüştür. Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde harcın su geçirimsizliği az olduğu için, suyun kapiler boşluklarda yükselme katsayısı da düşük çıkmıştır.

Hamur kireç ile üretilen serilerde ise diğer serilerden daha yüksek kılcallık katsayısı elde edilmiştir. Hamur kireç ile üretilen şahit harç numunesi kılcallık deneyi sonunda fazla su emmekten ikiye bölünmüştür. En yüksek kılcallık katsayısı şahit harcında elde edilirken, agrega olarak mermer tozu artan oranlarda diğer agregalarla yer değiştirildikçe kılcallık katsayısında düşüş görülmüştür. Bağlayıcı olarak uçucu külün %10 ve %20 ve

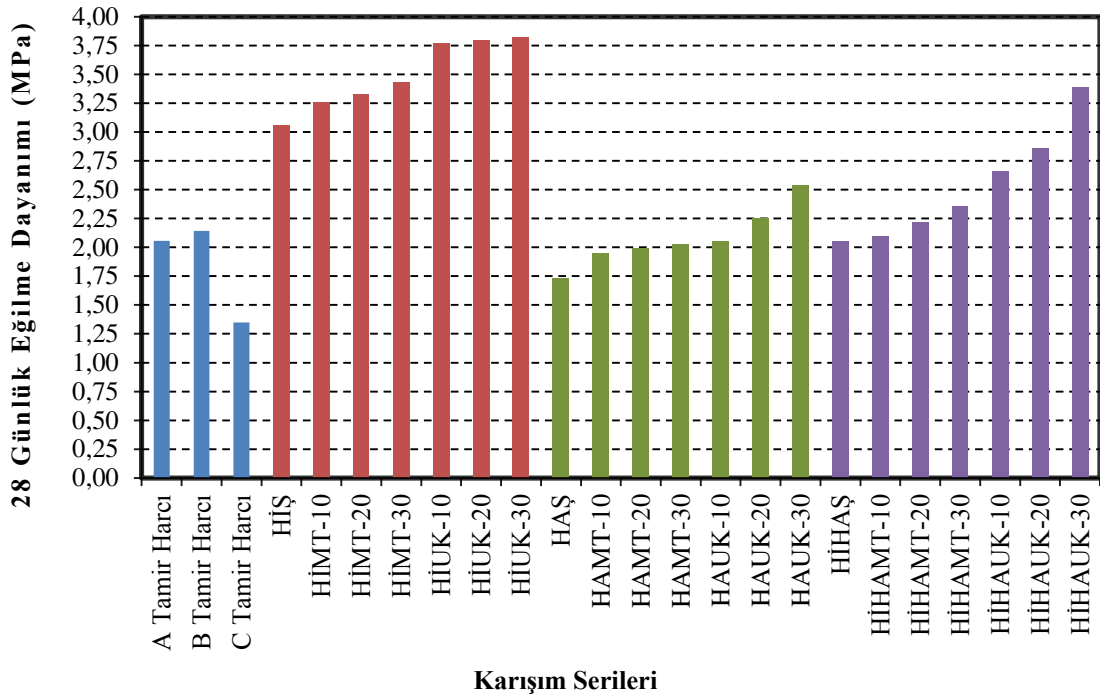
%30 oranında hamur kireç ile yer değiştirilerek üretilen harçların kılcallık katsayısında da düşüş görülmüştür ve uçucu külün üç oranında da kılcallık katsayısı birbirine yakındır.

Hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen serilerde, agrega olarak mermer tozu diğer agregalarla %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirildiğinde kılcallık katsayısında azalma görülmüştür. Bağlayıcı olarak uçucu kül hidrolik kireç + hamur kireçle yer değiştirildiğinde, üç oranda da kılcallık katsayıları birbirine yakın çıkmıştır.

Hamur kireç ile üretilen harçlarda uçucu külün eklendiği durumda, kılcallık katsayısının düşük çıkmasının sebebi uçucu külün puzolanik özelliğinden dolayı kılcal boşlukları doldurması ve su geçirimsizliği azaltmasıdır.

4.6. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Hazır tamir harçları, hidrolik kireç ile üretilen harçlar, hamur kireç ile üretilen harçlar ve hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harçlara ait 28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Hazır tamir harçları serisinde eğilme dayanımı 1,35 – 2,14 MPa arasında değişmektedir. Hidrolik kireç ile üretilen horasan harçları serisinde eğilme dayanımları

3,05 – 3,82 MPa arasında değişmektedir. Hamur kireç ile üretilen horasan harçları serisinde eğilme dayanımı 1,73 – 2,54 MPa arasında değişirken, hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harçlar serisinde 2,05 – 3,39 MPa arasında değişmektedir.

En yüksek eğilme dayanımı hidrolik kireç ile üretilen harç serisinden, %30 uçucu kül eklenen harçta elde edilmiştir. En düşük eğilme dayanımı ise hazır tamir harcı serisinden C tamir harcında elde edilmiştir. Eğilme dayanımında en yüksek sonuçlar hidrolik kireç ile üretilen serilerde elde edilmiştir.

Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde agrega olarak mermer tozu %10, %20 ve %30 oranlarında diğer agregalarla yer değiştirildiğinde eğilme dayanımlarında artış görülmüştür. Bağlayıcı olarak %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül hidrolik kireç ile yer değiştirildiğinde eğilme dayanımlarında yine artış görülmektedir. Uçucu kül ile üretilen harçlarda mermer tozu ile üretilen harçlara göre daha fazla artış görülmektedir.

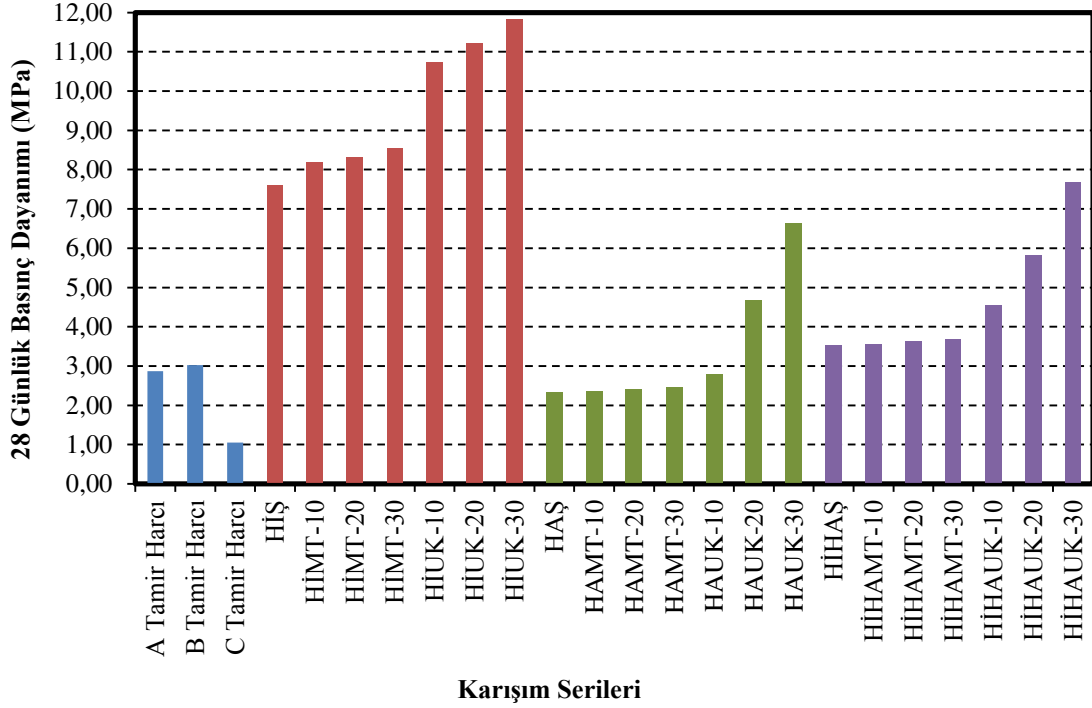
Hamur kireç ile üretilen serilerde %10, %20 ve %30 oranlarında mermer tozu eklenmesi ile eğilme dayanımında artış görülmüştür ancak üç oranda da artışlar birbirine yakın çıkmıştır. Bağlayıcı olarak %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül eklenmesi ile yine artış görülmüştür. Uçucu kül ile üretilen tamir harçlarındaki artışlar mermer tozu ile üretilen tamir harçlarından daha fazla olmuştur.

Hidrolik + hamur kireç ile üretilen serilerde ise yine mermer tozunun değişen oranlarında eğilme dayanımında artışlar sağlanırken, uçucu kül ile üretilen tamir harçlarındaki artışın daha fazla olduğu görülmektedir.

Hidrolik kireç ile üretilen seri en yüksek eğilme dayanımına sahiptir. Hazır tamir harcı ile üretilen seri hidrolik kireç ile üretilen serinin %50'si, hamur kireç ile üretilen seri hidrolik kireç ile üretilen serinin %62'si ve hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen seri de hidrolik kireç ile üretilen serinin %79'u mertebesinde dir.

4.7. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Hazır tamir harçları, hidrolik kireç ile üretilen harçlar, hamur kireç ile üretilen harçlar ve hidrolik + hamur kireç ile üretilen harçlara ait 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Hazır tamir harçları serisinde basınç dayanımı 1,05 – 3,02 MPa arasında değişmektedir. Basınç dayanımı, hidrolik kireç ile üretilen harç serisinde 7,59 – 11,83 MPa, hamur kireç ile üretilen harç serisinde 2,33 – 6,64 MPa, hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen harç serisinde ise 3,53 – 7,67 MPa arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanımı hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serisinden, %30 uçucu kül eklenen harçta elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı ise hazır tamir harcı serisinden C tamir harcında elde edilmiştir.

Hidrolik kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde agrega olarak mermer tozu %10, %20 ve %30 oranlarında diğer agregalarla yer değiştirildiğinde basınç dayanımlarında artış görülmüştür. Bağlayıcı olarak uçucu kül %10, %20 ve %30 oranlarında hidrolik kireç ile yer değiştirildiğinde basınç dayanımlarında yine artış görülmektedir ancak artışlar birbirine çok yakındır. Uçucu kül ile üretilen harçlarda mermer tozu ile üretilen harçlara göre daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir.

Hidrolik kireç, içinde %10 – %25 kil bulunan kalkerin pişirilmesiyle elde edilir. Pişirme sonunda kalkerin ayrışmasıyla meydana gelen kireç, kilin içindeki alümin ve silisle birleşir ve $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ yani C_2S karmaşık bileşenini içinde bulundurur (Baradan vd., 2012). Bu sebeple de hidrolik kirecin mekanik dayanımı hamur kireçten daha yüksektir. Hem

eğilme dayanımı hem de basınç dayanımı deney sonuçlarında hidrolik kireçli harçlar hamur kireçli harçlara göre daha yüksek dayanım vermiştir.

Hamur kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde %10, %20 ve %30 oranlarında mermer tozu eklenmesi ile basınç dayanımında bir miktar artış görülmüştür ancak üç oranda da artışlar birbirine yakın çıkmıştır. Bağlayıcı olarak %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül eklenmesi ile yine artış görülmüştür. Uçucu kül ile üretilen tamir harçlarındaki artışlar mermer tozu ile üretilen tamir harçlarından daha fazla olmuştur.

Hidrolik + hamur kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde ise yine mermer tozunun değişen oranlarında basınç dayanımında artışlar sağlanırken, uçucu kül ile üretilen tamir harçlarındaki artışın daha fazla olduğu görülmektedir.

Basınç dayanımında en yüksek sonuçlar hidrolik kireç ile üretilen serilerde elde edilmiştir. Hazır tamir harcı ile üretilen seri hidrolik kireç ile üretilen serinin %21'i, hamur kireç ile üretilen seri hidrolik kireçle üretilen serinin %46'sı ve hidrolik + hamur kireç ile üretilen seri de hidrolik kireçle üretilen serinin %58'i mertebesindedir.

Uçucu kül puzolanik bir malzemedir. Bir puzolan tarafından bağlanan Ca(OH)_2 miktarının fazla olması o puzolanın aktif madde miktarının fazla olduğunu gösterir. Bağlanan Ca(OH)_2 miktarı puzolan içindeki SiO_2 miktarıyla ilişkilidir (Baradan vd., 2012). Deneylerde kullanılan Seyitömer Termik Santrali uçucu külünün SiO_2 miktarı %54,49 civarındadır. Puzolan tarafından bağlanan kireç miktarı arttıkça kireç – puzolan karışımlarının dayanımı artmaktadır. Deney sonuçlarında da bu gözlenmiştir.

Uçucu külün eklendiği serilerde hem şahit numunelere hem de mermer tozunun eklendiği serilere göre daha yüksek eğilme ve basınç dayanımlarına ulaşılmıştır. Bunun nedeni olarak uçucu külün kullanım oranına bağlı olarak puzolanik özelliğinden ve yüksek yüzey alanı etkisinden dolayı kiremit kırığı ve bağlayıcılar arasındaki aderansı artırması ve harcın özelliklerini iyileştirmesi de söylenebilir (Bingöl vd., 2015). Uçucu kül oranları arttıkça dayanımlar da artmıştır.

Bingöl vd. (2015) yaptıkları çalışmada, hidrolik kireçli harçlara bağlayıcı miktarının %0, %10, %20 ve %30'u oranında uçucu kül eklemişlerdir. Bağlayıcı/agrega oranının 1/3 olduğu ve uçucu külün %30 oranında eklendiği harçlarda en yüksek basınç dayanımını elde etmişlerdir.

Oğuz vd. (2015) yaptıkları çalışma ile Bizans, Roma ve Selçuklu dönemi harçlarının basınç dayanımlarını da ölçmüşlerdir. Bizans dönemi harçlarının basınç dayanımı 8,3 – 9,5 MPa, Roma dönemi harçlarının basınç dayanımı 6,0 MPa ve Selçuklu dönemi harçlarının basınç dayanımı 6,6 MPa çıkmıştır.

Kahraman vd. (2012) yaptıkları çalışma ile horasan harçlarının basınç dayanımların 6 – 8 MPa aralığında çıkmıştır.

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar ile kendi ürettiğimiz horasan harçlarının basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında sonuçlarda paralellik olduğu görülmüştür.



5. SONUÇ

Bu deneysel çalışma ile restorasyon uygulamalarında kullanılmak amacıyla hazır tamir harcı üretimi ve farklı tip kireçler ile horasan harcı üretimi yapılmıştır. 28 günlük harç serileri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Hazırlanan dört seri harç numunelerine daldırma ucu kıvam tayini deneyi yapılmıştır ve 4 – 24 mm arasında batma derinliği elde edilmiştir. En yüksek batma derinliği hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen horasan harcı serilerinde elde edilmiştir. Mermer tozu eklendikçe değerler artarken, uçucu kül eklendikçe düşmüştür. Uçucu kül kullanımı ile harcın yapısı daha yoğun olmuştur.

Üretilen harcı numuneleri $1,68 - 2,05 \text{ g/cm}^3$ arasında taze birim hacim kütle değerine sahiptir. En yüksek taze birim hacim kütle değeri hazır tamir harcı serisinden B tamir harcına aittir. Mermer tozu eklenmesi taze birim hacim kütleyle artırırken, uçucu kül eklenmesiyle taze birim hacim kütle azalmıştır. Mermer tozu eklenen harç numunelerinin taze birim hacim kütlesi daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun, mermer tozunun ince malzeme olmasından dolayı harç numunelerindeki boşlukları doldurmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Harç numunelerinin kuru birim hacim kütle değerleri $1,29 - 1,72 \text{ g/cm}^3$ aralığındadır. En yüksek kuru birim hacim kütle değeri hazır tamir harcı serisinden B tamir harcına aittir. Kuru birim hacim kütle, taze birim hacim kütlede olduğu gibi mermer tozu eklendikçe artarken, uçucu kül eklendikçe azalmıştır. Mermer tozu eklenen harç numunelerinin kuru birim hacim kütlesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Üretilen harç numunelerinin kütlece su emme değerleri %16 ile %24 arasında değişmektedir. Hazır tamir harcı serisinde su emmede en düşük yüzde C tamir harcına aittir. Harç numunelerine mermer tozu eklendikçe şahit harcına göre mermer tozunun artan oranlarında su emme değerlerinde düşüş görülmüştür. Uçucu külün eklendiği horasan harcı serilerinin su emme değerleri ise uçucu külün artan oranlarında birbirine yakın çıkmıştır. Şahit harcı ile kıyasladığımızda ise hidrolik kireç ile üretilen serinin su emme değerleri şahite yakın, hamur kireç ile üretilen serinin su emme değerleri şahitten daha az, hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen serinin su emme değerleri şahitten daha fazladır.

Kılcal su emme deneyine göre, hazır tamir harcı serisinden B tamir harcı en yüksek kılcallık katsayısı değerine sahiptir. Özellikle hamur kireç ile üretilen harçlarda uçucu kül ilave edilmesiyle kılcallık katsayılarının düştüğü görülmektedir, bunun sebebi uçucu kül

ince taneli ve puzolanik bir malzemedir, kılcal boşlukları doldurarak suyun kılcal boşluklarda yükselmesini azaltır. Uçucu külün taneciklerinin çapı küçüktür ve tanecikler arası boşluklar azdır.

Eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, 1. seri olan hazır tamir harcı serisinden B tamir harcı en yüksek eğilme ve basınç dayanımına sahiptir. Diğer üç seriden ise hidrolik kireç ile üretilen seriler de en yüksek değerler elde edilmiştir. Uçucu külün ilave edildiği harç numuneleri şahit harcından ve mermer tozu eklenen harçlardan daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. 1. seride kullanılan 3 çeşit hazır tamir harcı üretilen diğer 3 seri ile kıyaslandığında; hazır tamir harçlarının özellikle hidrolik kireç ile üretilen horasan harçlarından daha düşük eğilme ve basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir.

Üretilen horasan harçlarına gereken su miktarlarını kıyaslayacak olursak, en fazla su hidrolik kireç ile üretilen tamir harçlarına kullanılmıştır. Hamur kireç ile üretilen seriye de en az miktarda su kullanılmıştır. Bunun sebebi hamur kirecin içeriğinde bulunan su sayesinde TS EN 459-2 standardına uygun olarak, 165 ± 3 mm yayılma değerine az miktarda su eklenerek ulaşmasıdır.

Çalışmalar sonucunda hidrolik kireç, hamur kireç ve hidrolik kireç + hamur kireç ile üretilen serilerde en iyi sonuçlar hidrolik kireç ile üretilen serilerde elde edilmiştir. Hamur kireç ile üretilen seride hem basınç ve eğilme dayanımı düşük çıkmıştır, hem de kılcalılık katsayısı çok su emdiği için yüksek çıkmıştır. Hamur kirecin tek başına harç üretiminde kullanımı yerine hidrolik kireç + hamur kireç şeklinde kullanıldığında daha iyi sonuçlar verdiği için Romalı Mimar Vitruvius'un horasan harcı üretimi için verdiği formülden yola çıkılarak üretilen 4. seri tamir harçlarının da restorasyon uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Mermer tozları ve uçucu küller çevre kirliliği oluşturan ve değerlendirilmesi gereken iki önemli atıktır. Mermer işletme tesislerinde işlenen mermer sonucu oluşan atık mermer tozunun sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilmesi amacıyla üretilen serilerde mermer tozu diğer agregalarla hacimce yer değiştirilmiştir ancak harç numunelerinde belirgin şekilde iyileşmeler görülmemiştir. Uçucu külün diğer bağlayıcılarla hacimce yer değiştirilmesiyle harç numunelerinin özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir buda endüstriyel atık olan uçucu külün restorasyon uygulamalarında kullanmak üzere üretilen horasan harçlarına eklenerek değerlendirilebileceğini göstermektedir. Ülkemizde uçucu küllerin geri dönüşümünün ve kullanımının yaygınlaştırılması ile ülke ekonomisine de katkıda bulunulabilir ayrıca uçucu küllerin değerlendirilmesiyle, çevreye salınması veya depolanması durumunda oluşabilecek problemleri engellemekte mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, D., Arpacı, E., Oktay, D., Yüzer, N., 2017. Tarihi yığma yapıların onarımında kullanılan enjeksiyon yönteminin (grouting) ve kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin zaman içerisindeki gelişimi. *Megaron Dergisi*, 13(1), 156-168.
- Aköz, F., Yüzer, N., 2009. Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler. *IMO-1. İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu*, İstanbul, 6-7.
- Aktaş, R., 2010. Antik Dönemde Kullanılan Harç Türleri. <http://www.arkeo-tr.com/antik-donemde-kullanilan-harc-turleri.html> (Erişim Tarihi: 10.05.2019).
- Aruntaş, H.Y., 2006. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 193-203.
- ASTM C618, 1998. *Standard Specification for Use as a Mineral Admixture in Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, USA.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., 2012. *Beton*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 825 s.
- Bingöl, A.F., Tosun, Y., Oltulu, M., Polat, R., Şahin, R., 2015. Hidrolik Kireçli Harçlarda Uçucu Kül Kullanımı, 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, 103-112.
- Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., 2004. Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvalarının özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269, 90-95.
- Canbaz, M., Topçu, İ.B., 2009. Restorasyon Harçlarının Özellikleri, *Uluslararası Katılımlı Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2*, Diyarbakır, 759-772.
- Canbaz, M., Güler, E., 2017. Kireç Türünün Horasan Harcı Özelliklerine Etkisi, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, 543-548.
- Centauro, I., Cantisani E., Grandin, C., Salvini, A., Vettori, S., 2017. The influence of natural organic materials on the properties of traditional lime-based mortars. *International Journal of Architectural Heritage*, 11 (5), 670-684.
- Erder, C., 1977. Venedik Tüzüğü tarihi bir anıt gibi korunmalıdır. *O.D.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3, 167-190.
- Eroğlu, M., Akyol A.A., 2017. Antik yapı malzemesi olarak tuğla ve kiremit: Boğsak Adası Bizans yerleşimi örnekleme. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 141-163.
- Ertuğrul, E., 2018. Büyük Piramidin Mükemmel Hizasının Sırrı Çözölmüş Olabilir. <https://arkeofili.com/buyuk-piramidin-mukemmel-hizasinin-sirri-cozulmus-olabilir/> (Erişim Tarihi: 10.05.2019).

- Grazzini, A., 2018. *Experimental Fatigue Test for Pre-Qualification of Repair Mortars Applied to Historical Masonry*, Advanced Engineering Testing Book, IntechOpen, 116s.
- Grilo, J., Santos Silva, A., Faria, P., Gameiro, A., Veiga, R., Velosa, A., 2014a. Mechanical and mineralogical properties of natural hydrauliclime-metakaolin mortars in different curing conditions. *Construction and Building Materials*, 51, 287–294.
- Grilo, J., Faria, P., Vegia, R., Santos Silva, A., Silva, V., Velosa, A., 2014b. New natural hydraulic lime mortars-physical and microstructural properties in different curing conditions. *Construction and Building Materials*, 54, 378–384.
- Grist, E.R., Paine, K.A., Heath, A., Norman, J., Pinder, H., 2015. Structural and durability properties of hydraulic lime-pozzolan concretes. *Cement and Concrete Composites*, 62, 212-223.
- Groot, C., 2016. Repair mortars for historic masonry: effects of the binder choice on durability. *Heron*, 61(1), 33-56.
- Gündeşli, U., 2008. Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Gür, D., 2019. Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılmak Üzere Puzolan Katkılı Hidrolik Kireç Esaslı Onarım Harcı Üretilme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kahraman, G., 2008. Erken Bizans Dönemi Horasan Harçlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kahraman Altaş, G., Acun Özgünler, S., Güldal, E., 2012. İstanbul'daki Roma Dönemi Saray Yapılarındaki Horasan Harçlarının İncelenmesi. *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 4, 41-49.
- Kalkan, Ş.O., Gündüz, L., 2017. Tarihi-Eski Yapıların Onarımı Amaçlı Yeni Nesil Kompozit Harçların Kullanımı Üzerine Bir İnceleme, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, 153-162.
- Kılıç Demircan, R., Kaplan G., 2017. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazalt Lifi Takviyeli Restorasyon Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, 123-132.
- Kılıç, İ., 2007. Horasan Harç ve Sıvaları, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Ankara, 277-285.
- Kocabıyık, L., 2010. Yüksek Fırın Cürufu Mineral Katkısının Betondaki Etkinlik Katsayısının Belirlenmesi ve Betonun Kırılma Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- Kozlu, H.H., 2010. Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Lanas, J., Perez Bernal, J.L., Bello M.A, Alvarez Galindo, J.I., 2004. Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars. *Cement and Concrete Research*, 34, 2191-2201.
- Maravelaki Kalaitzakia, P., Bakolasb, A., Karatasiosc, I., Kilikoglouc, V., 2005. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete. *Cement and Concrete Research*, 35, 1577– 1586.
- Mavi, Ö., 2000. Kireç Harç ve Sıvalarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Mavioğlu, Ü.A., 2011. Farklı Puzolanik Katkılar İle Hazırlanan Horasan Harçlarının Değişen Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K., 2000. Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1, 45-58.
- Olgun, M., 2012. Yapı Malzemesi Ders Notları. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61371/mod_resource/content/0/imb14.pdf (Erişim Tarihi: 10.05.2019).
- Oğuz, C., Türker, F., Koçkal, N.U., 2015. Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi harçların özellikleri. *İMO Teknik Dergi*, 429, 6993-7013.
- Özturan, T., 2003. Betonarme yapıların restorasyonu ve onarım ve güçlendirme malzemeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 147-150.
- Palomo A., Blanco Varela, M., Martinez Ramirez, S., Puertas, F., Fortes, C., 2002. Historic Mortars: Characterization and Durability. *New Tendencies for Research*. http://www.itam.cas.cz/miranda2/export/sitesavcr/utam/ARCCHIP/w09/w09_palomo.pdf (Erişim Tarihi: 20.02.2021).
- Sağlam Çitoğlu, G., Bayraktar, O.Y., 2018. Atık mermer tozu ve inşaat sektöründeki kullanımı ile ilgili çalışmalar. *SETSCI Conference Indexing System*, 3, 1323-1330.
- Schueremans, L., Cizer, Ö., Janssens, E., Serre, G., Balen, K.B., 2011. Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: research and Practice. *Constructions and Building Materials*, 25 (12), 4338-4350.
- Seyhan, E.C., 2007. Tarihi Yapıların Onarımında Hazır Harçların Kullanımı, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1*, Ankara, 287-292.

- Şimsek, O., 2007. *Yapı Malzemesi II*, 4. Baskı. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 269s.
- Torney, C., Forster, A.M., Szadurski, E.M., 2014. Specialist 'restoration mortars' for stone elements: a comparison of the physical properties of two stone repair materials. *Heritages Science Journal*, 2(1), 2-12.
- Torney C., 2015. Modern restoration mortars: the future of lime in masonry repair? *Journal of the Building Limes*, 22, 7-14.
- Torney C., 2016. *Restoration Mortars for Masonry Repair*, First Edition. Historic Environment Scotland, Edinburgh, 8 s.
- TSE, 1998. *Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü*, TS EN 450, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2000a. *Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası ile)*, TS EN 1015-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2000b. *Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 4: Taze Harç Kıvamının Tayini (Daldırma Ucu Kullanımıyla)*, TS EN 1015-4, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2000c. *Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 6: Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini*, TS EN 1015-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2000d. *Doğal Taşlar - Deney Metotları - Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini*, TS EN 1925, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2001. *Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini*, TS EN 1015-10, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2009. *Çimento Deney Metotları - Bölüm 1 - Dayanım Tayini*, TS EN 196-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2011. *Yapı Kireci - Bölüm 2: Deney Yöntemleri*, TS EN 459-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2012. *Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*. TS EN 197-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- URL-1, 2018. *Duvar Örerken Dikkat Edilmesi Gerekenler*. <http://www.artibes-insaat.com/hizmetlerimiz/duvar-orme-uygulamaları>, (Erişim Tarihi: 10.05.2019).
- URL-2, 2013. *Harran'da Çamurlu Sıva*. <http://www.urfahaberler.com/urfahaberler/harranda-camurlu-siva-h88.html>, (Erişim Tarihi: 10.05.2019).
- URL-3, 2019. *Restorasyon Nedir?* <http://www.artrestorasyon.net/sss/103-restorasyon-nedir-.html>, (Erişim Tarihi: 11.05.2019).

- URL-4, 2019. *Tamamlanan Önemli Restorasyon Uygulamaları*. <https://kvmmg.ktb.gov.tr/TR-108412/tamamlanan-onemli-restorasyon-uygulamalari.html>, (Erişim Tarihi: 15.05.2019).
- URL-5, 2021. *Masteremaco N 275 TIX*. <https://www.adetasyapi.com/masteremaco-n-275-tix>, (Erişim Tarihi: 20.02.2021).
- URL-6, 2021. *Masteremaco N 215 FC*. <https://www.adetasyapi.com/masteremaco-n-215-fc>, (Erişim Tarihi: 20.02.2021).
- URL-7, 2021. *Hidrolik Kireç Enjeksiyon Sistemleri İle Restorasyon*. <https://www.deltayapi.net/hidrolik-kirec-enjeksiyon/>, (Erişim Tarihi: 20.02.2021).
- URL-8, 2019. *Yurt İçi Taşınmaz Vakıf Kültür Varlıklarına Örnekler*. <https://www.vgm.gov.tr/faaliyetler/restore-edilen-tasinmaz-vakif-kultur-varliklari/yurt-ici-tasinmaz-vakif-kultur-varliklari-ornekler>, (Erişim Tarihi: 15.05.2019).
- Ünal, O., Kibici, A., 2001. Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon, 317-325.
- Vitruvius, M., 1990. *Mimarlık Üzerine On Kitap*. Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı, İstanbul, 241s.
- Yalçın, M., 2021. *Bağlayıcı Malzemeler-Kireç*. [https://insaat.eskisehir.edu.tr/muhsiny/MLZ204/icerik/3H1\)%20Ba%C4%9Flay%C4%B1c%C4%B1%20Malzemeler-Kire%C3%A7%20\(2020-2021\).pdf](https://insaat.eskisehir.edu.tr/muhsiny/MLZ204/icerik/3H1)%20Ba%C4%9Flay%C4%B1c%C4%B1%20Malzemeler-Kire%C3%A7%20(2020-2021).pdf) (Erişim Tarihi: 27.03.2021).
- Yıldızlar, B., Sayın, B., Akçay, C., 2020. Saha çalışmalarına ve laboratuvar analizlerine dayalı tarihi bir duvar binasının restorasyonu üzerine bir durum çalışması. *Uluslararası Mimari Miras Dergisi*, 14 (9), 1341-1359.