



T.C.

ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ALÇI ESASLI GELENEKSEL CAS HARCİ İLE ÇİMENTO ESASLI
HARCIN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa BAŞBOĞA

ŞIRNAK, 2023



T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ALÇI ESASLI GELENEKSEL CAS HARCİ İLE ÇİMENTO ESASLI
HARCIN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa BAŞBOĞA

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman HULUSİ ÖREN

ŞIRNAK, 2023

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tez çalışmasının Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlandığını, bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Tezi Hazırlayanın Adı SOYADI: Mustafa BAŞBOĞA

İmza:

TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK

“Alçı Esaslı Geleneksel Cas Harcı ile Çimento Esaslı Harcın Karşılaştırılması” adlı Yüksek Lisans tezi, Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu’na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Mustafa BAŞBOĞA

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Osman Hulusi ÖREN



İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Dr.Öğr.Üyesi Sedat ÖZCANAN

KABUL VE ONAY SAYFASI

Dr.Öğr.Üyesi Osman Hulusi ÖREN ve ikinci danışman Dr.Öğr.Üyesi Murat DOĞRUYOL danışmanlığında Mustafa BAŞBOĞA tarafından hazırlanan “Alçı Esaslı Geleneksel Cas Harcı ile Çimento Esaslı Harcın Karşılaştırılması” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü yönetmeliğinin ilgili hükümleri gereğince İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans** Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi	Unvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Jüri Başkanı	Dr.Öğr. Üyesi Osman Hulusi ÖREN	
Jüri Üyesi	Dr.Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN	
Jüri Üyesi	Dr.Öğr. Üyesi Mahmut DURMAZ	

Savunma Tarihi: 29 / 12 / 2023

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun .././.... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. İbrahim HÜSEYİNİ

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca çok kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her daim olumlu tavırları ile beni cesaretlendiren, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum sayın Dr. Öğretim Üyesi Osman Hulusi ÖREN, ikinci danışman Dr. Öğretim Üyesi Murat DOĞRUYOL' a ve ayrıca Dr. Öğretim üyesi Sedat ÖZCANAN hocama güler yüzü ve yardımları içinde sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmaların analizlerini yaptığım, Proje Müdür Yardımcısı olarak görev yaptığım Limak İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. ye ait Şırnak (Pervari – Narlı) Ayrımı Yolu Yapım Şantiyesinde ve Limak Kurtalan Çimento'da bulunan laboratuvarları kullandığım için Limak İnşaat'a ve ayrıca beni her daim destekleyen özellikle rahmetli babama, anneme, eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Mustafa BAŞBOĞA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
SİMGELER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ.....	1
1.1. Yığma yapılarda kullanılan harçlar.....	5
1.1.1. Kireç Harcı.....	6
1.1.2. Çimento	7
1.1.3. Horasan Harcı.....	14
1.2. Portland Çimentosu Bağlayıcı Harçların Eski Eser Onarımında Kullanılmasının Sakıncaları.....	15
1.3. Harçların Dayanım kazanma süreçleri.....	19
1.3.1. Karbonatlaşma	19
1.3.2. Alçılama (Jipsleşme)	20
1.3.3. Puzolanik Reaksiyon	22
1.4. Geleneksel Cas Evleri	22
1.4.1. Tarihi Cas Evlerinden Örnekler	27
2. MATERYAL VE METOT	30
2.1. Materyal	30
2.1.1. Çimento	30

2.1.2. Kum	31
2.1.3. Su.....	31
2.2. Metot	32
2.2.1. Deneysel Çalışma	32
2.2.2. Çimento esaslı harcın hazırlanması	32
2.2.3. Alçı esaslı harç	33
2.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Analizler	35
2.2.5. Ultrasonik darbe hızı deneyi (Ultrasonic Pulse Velocity- UPV)	35
2.2.6. Su Emme Deneyi.....	36
2.2.7. Mekanik Deneyler	36
2.2.8. Termal analizler.....	38
2.2.9. Mikroyapısal analizler	39
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	42
3.1. Su emme oranları.....	42
3.2. Ultrasonik darbe hızı deneyi (Ultrasonic Pulse Velocity- UPV).....	43
3.3. Mekanik Değerler	44
3.1. Isıl İletkenlik	46
3.5.Mikro analizler	48
3.5.1. SEM-EDX analizleri.....	48
3.5.2 XRD faz analizi	53
SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKÇA.....	59

ÖZET

ALÇI ESASLI GELENEKSEL CAS HARCİ İLE ÇİMENTO ESASLI HARCIN KARŞILAŞTIRILMASI

BAŞBOĞA, Mustafa

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Osman Hulusi ÖREN

Aralık 2023, 80 sayfa

Günümüzde yığma taş yapıların harçlarında kullanılan en yaygın bağlayıcı, ilk olarak 19. yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkan Portland çimentosudur. Portland çimentosu antik çağlardan 21. yüzyıla kadar inşaatlarda kullanılmış olan alçı ve kireç harçlarının büyük ölçüde yerini almıştır. Ancak tarihi yapılarda genellikle alçı, kireç gibi düşük dayanımlı harçlar kullanıldığından bu yapıların tadilatında veya restorasyonunda yüksek dayanıma sahip çimento esaslı harçların kullanılması tarihi yapıların ezilmesine ve zarar görmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, 19. yy. dan itibaren Siirt ve çevresinde inşa edilen özgün mimari eserler olan Cas evlerinde kullanılan alçı esaslı geleneksel Cas harcı ile çimento esaslı harçların su emme, ısı ve ses iletkenliği, basınç ve eğilme dayanımı gibi fiziksel, kimyasal analizleri ve mekanik analizleri yanı sıra Taramalı Elektron mikroskobu- enerji dağılım X-ışını spektrometresi (SEM-EDX) ve X-Ray Diffraction (XRD) analizleri ile de karakteristik özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda; Cas harcının alçı esaslı bir harç olduğu, çimento esaslı harçların alçı esaslı harca göre ısı ve ses iletim hızları ve mekanik değerlerinin çok üstün olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden tarihi yapıların aslına uygun onarılması ve güçlendirmesi için yapının orijinal harçla veya çimento esaslı harçla karışımli olarak kullanılması yığma yapının dayanım ve dayanıklılığına katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: alçı, çimento, basınç-eğilme dayanımı, SEM-EDX, XRD

ABSTRACT

COMPARISON OF GYPSUM BASED TRADITIONAL CAS MORTAR AND CEMENT BASED MORTAR

BAŞBOĞA, Mustafa

Master of Science in Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Osman Hulusi ÖREN

December 2023, 80 pages

The most common binder used in masonry mortars today is Portland cement, which first appeared in the second half of the 19th century. Portland cement has largely replaced gypsum and lime mortars used in construction from antiquity to the 21st century. However, since low-strength gypsum, lime or gypsum and lime mortars are generally used in historical buildings, the use of high-strength cement-based mortars in the renovation or restoration of these buildings causes crushing and damage to historical buildings. In this study, physical, chemical and mechanical analyses such as water absorption, heat and sound conductivity, compressive and flexural strength, as well as Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM-EDX) and X-Ray Diffraction (XRD) analyses were carried out to compare the characteristics of gypsum-based traditional Cas mortar and cement-based mortars used in Cas houses, which are original architectural works built in and around Siirt since the 19th century. In the experimental studies, it was determined that Cas mortar is a gypsum-based mortar and the thermal and sound conductivity and mechanical values of cement-based mortars are superior to gypsum-based mortars. However, it was concluded that the use of the original mortar or cement-based mortar mixture for the restoration and strengthening of historical buildings will contribute to the strength and durability of the masonry structure.

Keywords: Gypsum, Cement, compressive and flexural strength, SEM-EDX, XRD

SİMGELER LİSTESİ

Simge	Açıklama
A	Alüminyum
Se	Selenyum
SO ₄	Sülfat
Al ₂ O	Aluminyum Oksit
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum Oksit
Fe	Demir
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
Na ₂ O	Sodyum Oksit
SiO ₂	Silisyum Dioksit

KISALTMALAR LİSTESİ

SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	:	Enerji dağıtıcı x-ışını
XRD	:	X-Işını Difraksiyon spektroskopisi
XRF	:	X-ışınları Floresans
İBTAM	:	İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi
TÜR-KAK	:	Türk Akreditasyon Kurumu
ASTM	:	Amerikan Malzeme ve Test Derneği (American Society for Testing and Materials)
MPa	:	Mega Pascal
UVP	:	Ultrases Geçiş Hızı
TS	:	Türk Standartları
Vb	:	Ve benzeri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Şiraz (İran) yakınlarındaki Sarvestan sarayında alçı harçlı tuğla duvar kullanımı, M.S. 5. yüzyıl: genel görünüm ve kubbe içleri	2
Şekil 1.2. İran Bastam minaresinde alçı harçlı tuğla duvar kullanımı, Bastam, MS 1120: genel görünümü ve minarenin içi	2
Şekil 1.3. Çimento üretim aşamaları	8
Şekil 1.4. Çimentoyu oluşturan ana bileşenler karakteristikleri.....	9
Şekil 1.5. Hidratasyon ürünlerin SEM görüntüsü	11
Şekil 1.6. Etrenjit ürününün SEM görüntüsü	12
Şekil 1.7. Dresden Teknik Üniversitesi Kampüsteki yirminci yüzyıl başlarına ait bir binanın tuğla yüzeyinde magnezyum sülfat (hekzahidrit) çiçeklenmesi (Siedel,2018).	16
Şekil 1.8. Kumtaşı üzerinde, yeniden derzlenen derzler boyunca ve restorasyon harcı ile değiştirilen alanların çevresinde çiçeklenen tuzlar.	17
Şekil 1.9. Farklı tuğla-harç mukavemet oranlarına sahip farklı duvar iskeleleri için depremlerin ardından gözlenen diyagonal kesme çatlaması	18
Şekil 1.10. Harç-dolgu duvar arasında dayanım ilişkisi.....	19
Şekil 1.11. Yıkılmaya yüz tutmuş geleneksel Cas evi	23
Şekil 1.12. Geleneksel Cas fırını	24
Şekil 1.13. Yığma yapıya ait döşeme	24
Şekil 1.14. Cas evine ait ahşap kapı	25
Şekil 1.15 Yığma Cas evinin ahşap lento.....	26
Şekil 1.16. Geleneksel Cas evi ön balkon	26
Şekil 1.17. Geleneksel Cas evi ön cephe.....	27
Şekil 1.18. Şekil Şeyh Nasrettin Evi Ön Cephe	28
Şekil 1.19. Şekil Şeyh Nasrettin Evi Ana Kapısı	28
Şekil 1.20. Şeyh Kamil Evi Ön Cephe	29
Şekil 2.1. Deneysel çalışmaların yapıldığı laboratuvarlar.....	32

Şekil 2.2. Malzemelerin tartılması	33
Şekil 2.3. Çimento esaslı numunelerin hazırlanması	33
Şekil 2.4. Alçı esaslı numunelerin hazırlanması	34
Şekil 2.5. Proceq marka- Pundit Lab ultra ses deney aleti	36
Şekil 2.6. Çimento harcı basınç ve eğilme testi deney aleti	367
Şekil 2.7. Termal deney aleti.....	39
Şekil 2.8. SEM görüntüleme cihazı.....	40
Şekil 2.9. XRD cihazı.....	41
Şekil 3.1. Su emme oranları	42
Şekil 3.2. Harçların Ultrases geçiş hızı (UPV) karşılaştırması	43
Şekil 3.3. Harçların basınç dayanım değerleri	45
Şekil 3.4. Harçların eğilme dayanım değerleri.....	45
Şekil 3.5. Çimento esaslı harcın a) SEM b) EDX analizi.....	49
Şekil 3.6. Çimento esaslı harçların SEM görüntüsü.....	50
Şekil 3.7. Alçı esaslı harcın SEM-EDX analizi.....	51
Şekil 3.8. Alçı esaslı harcın SEM-EDX analizi.....	52
Şekil 3.9. XRD cihazı.....	53
Şekil 3.10. Çimento bazlı harcın XRD analizi	54
Şekil 3.11. Alçı bazlı harcın XRD analizi	55

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Harçların yıllara göre gelişimi	5
Tablo 1.2. Çimento oluşturan ana bileşenler	9
Tablo 1.3. Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin özellikleri	10
Tablo 1.4. Alçının avantajları ve dezavantajları	21
Tablo 2.1. Çimentonun kimyasal özellikleri.....	30
Tablo 2.2. CEM I 42.5 N fiziksel ve mekanik değerleri.....	31
Tablo 2.3. Çimento esaslı harcın karışım miktarı	32
Tablo 2.4. Tarihi yapıdan alınan alçı esaslı harca ait EDX analizi.....	34
Tablo 2.5. Tarihi harç ile saf alçı harcının kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması	35
Tablo 3.1 Ultrases geçiş hızları ile beton kalitesi arasındaki bağıntı.....	43
Tablo 3.2 Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik değerlerin karşılaştırılması.....	46
Tablo 3.3. Bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları (TS 825, 2009)	47
Tablo 3.4 Termal değerler.....	47

GİRİŞ

Günümüzde yığma taş yapıların harçlarında kullanılan en yaygın ürünlerden biri, ilk olarak 19. yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkan Portland çimentosudur (de Buergo Ballester, 1994; Radonjic, 2001). Portland çimentosu antik çağlardan 21. yüzyıla kadar inşaatlarda kullanılmış olan alçı ve kireç harçlarının (Callebaut vd., 2001) büyük ölçüde yerini almıştır. Alçı harçlarının ilk örnekleri İran, kireç harcı kullanımının ilk örnekleri Filistin ve Türkiye'dedir ve MÖ 12.000 yıllarına kadar uzanmaktadır (Kingery vd., 1988; Von Landsberg, 1992). Antik Yunanistan ve Roma İmparatorluğu'ndaki eserler daha sonraki örneklerdir.

Alçı harcı, Ortadoğu tarihi tuğla yığma binalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Hejazi vd., 2015). Örneğin, bu harcın Asur'daki Part binalarında, Ctesiphon'daki (M.S. 3.yy) Taq-i Kisra'nın kuruluşunda, Damghan ve Sarvestan'ın Sasani saraylarında kullanıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 1.1), Neissar'daki haç tonozu ve Sasani dönemi tonozları (MS 224-642) ve Bastam minaresi gibi İslam dönemine ait tuğla yığma binaların çoğu (Şekil 1.2) (Hejazi vd., 2015). Alçı harcının kullanıldığı Bastam minaresi gibi bazı tarihi yapılarda, alçı harcında %85'in üzerinde yüksek miktarda alçı ana bileşendir. Harcın sertleşmesini ve sertleşmesini geciktirmek ve kontrol etmek için harca kireç harcı (%10) ve kumul kumu (%5) gibi diğer bileşenler eklenebilir. Geleneksel alçı harcı, tuğla ünitelerini bir arada tutacak kadar güçlüdür ve yüksek dayanıklılığa sahiptir. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2 sırasıyla Sarvestan sarayı, kubbe içi ve Bastam minaresi içindeki konumu, tuğlalar arasında bağlayıcı malzeme olarak alçı harcının kullanıldığı kabuk ve döner merdiven vardır (Moayedian ve Hejazi, 2021).



Şekil 1.1.Şiraz (İran) yakınlarındaki Sarvestan sarayında alçı harçlı tuğla duvar kullanımı, M.S. 5. yüzyıl: genel görünüm ve kubbe içleri



Şekil 1.2.İran Bastam minaresinde alçı harçlı tuğla duvar kullanımı, Bastam, MS 1120: genel görünümü ve minarenin içi

Kireç esaslı harçlar, yığma yapıların tarihi eserlerinin ortak malzemesi olarak yüzyıllardır kullanılmaktadır. Bu tür harçlar, bağlayıcılardan (kireç veya kireç ve puzolanik malzemelerin kombinasyonu) ve özellikle kalın derzli duvarlarda genellikle kaba olan agregalardan oluşur (Baronio, 1997; Papayianni ve Karaveziroglou, 1992). Kale duvarlarında çakıl taşlı eski kireç bazlı harçlar da sıklıkla bulunur. Günümüzde anıtların ve tarihi binaların onarımı veya yeniden inşası için yaygın olarak kullanılmaktadır. Dahası, sıvalar ve kaplamalar da kireç bazlıdır, ancak kullanılan agregalar genellikle 0-4 mm'lik daha ince parçacıklardır. Agregaların bir bağlama sistemine eklenmesi, hacim stabilitesine, dayanıklılığa ve yapısal performansa katkıda bulundukları için teknik avantajlar sağladığı

kanıtlanmıştır (Neville AM., 1995; Taylor, 1997). Mineralojileri söz konusu olduğunda farklı agrega türlerinin yanı sıra, karışımdaki hacim içeriği, maksimum boyut ve derecelendirmeleri bir bağlayıcı-agrega karışımının yapısını etkiler (Mehta, 1986; Neville, 1995).

Birkaç yüzyıl boyunca anıtlarda bağlayıcı malzeme olarak kireç bazlı harçlar kullanılmıştır. Hava kireci yaygındı kullanılmış ve harçların nihai özellikleri büyük ölçüde medeniyete bağlıydı. Sonuç olarak, şimdi tarihi binalarda çok çeşitli harçlar bulunabilir. Günümüzde bu geleneksel harçların yerini çimento harçları almıştır (Moropoulou vd., 2005). Çeşitli özellikler atfedilmiştir kireç bazlı harçlara: (i) restorasyon çalışmalarını engelleyen ve geciktiren yavaş ayar; (ii) kireç harçları çimento harçlarından daha düşük mukavemetler sunar ve bunlara ulaşması daha uzun sürer. Bununla birlikte, bu materyaller hakkında titiz bir çalışma eksikliği var.

Çimento bazlı harçlar bu nedenle kireç bazlı harçların yerini almıştır. Harçlar, daha hızlı kurulmaları, daha yüksek mekanik dayanımları ve gelişmiş endüstriyel gelişmeleri ve uygun maliyetleri nedeniyle. Bununla birlikte, inşaat mühendisliğinde yaygın kullanımlarına rağmen, çimento esaslı harçların Kültürel Miras restorasyonu için tamir harcı olarak büyük dezavantajlar sunduğu bulunmuştur. (Lanas ve Alvarez, 2003)(i) eski taşlarla ciddi bir uyumsuzluk gösterirler; (ii) yüksek tuz içeriğine sahiptirler ve bu da eski taşlara zarar verebilir. kristalleşme ve / veya hidrasyon döngüleri ile taş; (iii) sürünme veya termal etkilerden kaynaklanan hareketin durmasını engelleyen kireç bazlı harçların aksine düşük esnekliğe sahip oldukları bulunmuştur (Hendry, 2001; Mosquera vd., 2002) Son zamanlarda çimento harçları kullanılarak yapılan restorasyon müdahaleleri anıta önemli arızalara ve hasarın hızlanmasına neden olmuş, bu da çimento esaslı harçların tarihi yapılarla bağdaşmadığı için uygun olmadığı sonucuna varmıştır (Moropoulou vd., 2005).

Hem kireç hem de çimento harçlarına bildirilen itirazlara yanıt olarak farklı bağlayıcı malzemelerin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu malzemeler aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır: (i) tamir harcı ile eski malzemeler (taş veya tuğla ve bunların yatak harcı) arasındaki kimyasal uyumluluk; (ii) çözünürlük ve su taşıma işlemlerine özel referansla fiziksel uyumluluk; (iii) eski malzemelerle yapısal ve mekanik uyumluluk, taşlar ve harçlar. Daha önce yapılan bir çalışma, özellikle bir yeniden kaplama harcının taştan önemli ölçüde daha zayıf olması ve arızadan önce önemli ölçüde deforme olması gerektiğini belirtmektedir (Mosquera vd., 2002)

Çimento bakımından zengin harçlar söz konusu olduğunda, güçlü sertlikleri malzemeyi zorlayabilir, bu da çatlaklara neden olabilir ve bu da malzemenin hizmet ömrü boyunca kırılmasına neden olabilir. Bununla birlikte, daha yüksek esneklikleri ve duvarın hareketlerinin emilmesini sağlayan geniş bir plastik bölgenin varlığı nedeniyle, kireç bakımından zengin harçlar, Kültürel Miras binalarının restorasyonu için uzun ömürlü malzemelerdir. Ek olarak, bu harçlarda kalsitin çözünme-çökeltme döngüleri, çatlakların kendi kendini onararak kapatılmasına izin verir (Arandigoyen ve Alvarez, 2007).

Tarihi binaların yığma duvarları, geleneksel yapı malzemelerine (taş, tuğla, havai, puzolanik veya hidrolik harçlar vb.), spesifik çevresel yüklere ve önceki restorasyon müdahalelerinde kullanılan malzemelere (kireç, alçı, hidrolik kireç) bağlı olarak bozulur, çimento, polimerik malzemeler vb.). Bozulma nedenleri, duvar içindeki suyun fiziksel (buharlaşıma, kılcal akış, buz oluşumu, vb.) veya kimyasal (sülfat yapışması, alkali-silika reaksiyonu, etrenjit ve gaz gibi genişleyen ürünlerin oluşumu) değişimleriyle ilgili olabilir. Alçıtaşının kalsiyum alüminosilikat hidratlarla reaksiyonu sonucu üretilen bu yüksek molekül ağırlıklı bileşikler, özellikle etrenjit ve taumasit, yüksek genleşme gerilimlerinin oluşması nedeniyle harç kütlelerinde çatlaklara ve yarıklara neden olur. Taumasit oluşumu harcı tutarsız ve dirençsiz hale getirir ve etrenjit oluşturur (Collepardi, 1990).

Hidrolik harçlar Yunan ve Roma dönemlerinden beri kullanılmaktadır. Havada sertleşen kireç, su altında sertleşebilen bir harç veya beton elde etmek için puzolana (doğal veya yapay) ile karıştırıldı. Sadece on sekizinci yüzyılın sonundan ve on dokuzuncu yüzyılın başından itibaren harçlar için kullanılan bağlayıcı tipinde büyük bir değişiklik gözlenir. O zamana kadar, hava sertleşen kireç, binaların yapımında kullanılan en popüler bağlayıcıydı. 18. yy. sonundan itibaren insanlar bağlayıcıların hidrolikliğini denemeye başladılar. Smeaton, 1756'da kil ile kirlenmiş kireçtaşlarının yakılmasıyla elde edilen ürünlerin hidrolik özelliklerini ele aldı ve Vicat, 1812'de bu bağlayıcıların hidrolikliğinin kireçtaşı ve kilin aynı anda yanmasının sonucu olduğunu kanıtladı. 1824'te J. Aspin ilk çimentoyu keşfetti ve 1835'ten (L.C. Johnson) itibaren Portland çimentosu inşaat endüstrisinde baskın bağlayıcı haline geldi. 19. yy. yüzyılın sonundan itibaren Portland çimentosu ve türevleri, çoğunlukla üretiminin standardizasyonu nedeniyle inşaatla en önemli bağlayıcı malzeme haline geldi. Belirli çimentoların tüm özellikleri belirlenir, böylece belirli amaçlar için belirli çimento türleri sağlanır. Havada sertleşen kireç ve doğal hidrolik kireç üretimi sırasında parametreler standartlaştırılmadı ve bu da kirecin özelliklerinde büyük değişikliklere neden oldu (K.

Callebaut vd., 2001; Lea, 1976). Harçların yıllara göre gelişimi Tablo 1.1’de gösterilmiştir (Erdoğan, 2002).

Tablo 1.1. Harçların yıllara göre gelişimi

Dönem	Bağlayıcı malzemelerde gelişmeler
M.Ö. 8000 öncesi	Killi Toprakların bağlayıcılık potansiyelinin keşfi
M.Ö. 8000 – M.Ö. 4500	Alçı ve kirecin bilinçli olarak üretimi
M.Ö. 4500 – M.Ö. 300	Roma’da Puzolan karışımli harçların hidrolik bağlayıcılığının keşfi
1453-1690	Osmanlıda Horasan harcının üretilme ve yaygın kullanımı
1790-1800	İngiltere’de doğal çimentonun üretimi ve kullanımı
1800-1824	Hidrolik kireç bağlayıcının üretimi ve gelişimi
1824-1850	Portland çimentosunun üretimi
1850-1865	Betonarme malzemenin kullanılmaya başlanması
1865-1900	Bağlayıcı malzemeler ve beton için temel deney yöntemlerinin standardizasyonu
1900-1910	Hazır beton üretimi (Türkiye’de 2000 yılı)
1910-1920	Türkiye’de ilk çimento fabrikasının kurulması (İstanbul, 1910 yılı)
1930-1950	Betonun pompa gücü kullanılarak taşınması ve vibrasyon uygulaması
1950-1970	Kimyasal ve mineral katkı malzemelerinin geliştirilmesi
1970-1980	Lifli beton kullanımı

1.1.Yığma yapılarda kullanılan harçlar

Yapı sistemlerinde üç tip harç kullanılmaktadır: horasan harcı, çimento harcı ve kireç harcı. Kum, kireç ve su, bir macun olan kireç harcı oluşturmak için belirli bir oranda birleştirilir. Harcı daha uygulanabilir hale getirmek için gerekli bir bağlayıcı kireçtir. Çimento harcı adı verilen polimerik bir bağlayıcı, çimento, kum ve suyun belirli bir oranda birleştirilmesiyle oluşturulur (Güleç,1992; Akman, 2003).

Yığma duvarlar için sıklıkla çimentolu kireç harcı kullanılır. Kireç su kaybını en aza indirir ve harcın katılaşmasını sağlar. Harcın mukavemeti çimento ile artırılır. Harcın kademeli olarak sertleşmesi, yığma duvarların yavaş inşasıyla uyumludur. Özellikle tarihi yığma yapılarda kullanılan bir bağlayıcı madde de horasan harcıdır. Horasan olarak adlandırılan malzemeler arasında kırık veya öğütülmüş tuğlalar, kiremitler ve toprak kaplar yer alır. Horasan, harç oluşturmak için kireçle karıştırılan pişmiş kilden yapılır. Horasan

harcı üretiminin bazı uygulamalarında harca kum eklenir. Çeşitli uygulamalarda kırık tuğla veya kiremit gibi nohut büyüklüğünde seramik malzeme parçalarına rastlanabilir (Güleç,1992; Akman, 2003).

Harç yığma duvarda sürekli bir ortam sağlar. Duvar bileşenlerini meydana getiren elemanların birbirleri ile bağlantısını sağlayan harcın temel kullanım amacı yığma duvarda bir bütün oluşturmaktır. Duvarın maruz kaldığı yüklerin dağılımını gerçekleştiren harç, bileşenlere esneklik sağlar. Harç, yığma yapı elemanının basınç, kayma ve çekme dayanımına katkısı açısından çok önemli bir role sahiptir. Yığma yapı elemanlarında temel olarak iki çeşit birleşim dayanımı vardır; çekme dayanımı ve kayma dayanımı. Çekme dayanımı, tuğla veya taş ile harcın birleşim noktasına dik yönde oluşan çekme kuvvetlerine karşı koyar. Kayma dayanımı ise birleşim noktalarına paralel oluşan kuvvetlere karşı koyar. Harçların basınç gerilmelerine karşı dayanımı, genel olarak bağlayıcı malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır (Bağlayıcı malzeme ve su miktarı oranı gibi) (Bayülke, 2018).

Yığma birimleri ayrı ayrı mekanik özelliklere sahiptir. Basınç ve çekme gerilmesine karşı dayanım, poisson oranı ve elastisite modülü gibi parametreler yığma birimleri olan tuğla ve harç için farklılık göstermektedir. Bu farklılık yığma yapının çeşitli yükler altında davranışını oldukça etkilemektedir. Basınç dayanımı, yığma yapının göçme davranışının belirlenebilmesi adına önemli bir parametredir (Bayülke, 2018).

1.1.1. Kireç Harcı

Kireç bilinen en eski bağlayıcı malzemedir. Hava kireci eski Babilliler, Mısırlılar, Fenikeliler, Hititler ve Persler tarafından inşaatlarda bağlayıcı madde olarak kullanılmıştır. Su kireci ise Roma döneminde bulunmuş ve su içerisindeki inşaatlarda kullanılmıştır. Türkler ise tuğla kırıntılarını (pişmiş kil) puzolanik kireçle (volkanik esaslı, killi, kireçli toprak) ezip birleştirerek Horasan harcını oluşturmuşlardır. Ayrıca bu tür bir bağlayıcı Hindistan'da surki, Mısır'da ise homra olarak adlandırılır. Kireç Bizans'ta freskli sıva yapımında kullanılmıştır. Orta Çağ boyunca daha fazla ilerleme kaydedilmemiştir (; Erdoğan, 2002; Middendorf vd., 2005).

1.1.1.1.Hava kireci (yağlı kireç)

Kirecin üretiminde iki aşama vardır: pişirilme ve söndürme (Böke vd.,2004).

1.1.1.2.Pişirilme işlemi (kalsinasyon)



Bu işlem, söndürülmemiş kalsiyum (kireçtaşı) kireci veya CaO üretir. Kalsiyum hidroksit veya Ca(OH)₂, doğal kireç taşının belirli fırınlarda 900 ila 1000 °C arasında bir sıcaklığa ısıtılmasıyla elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Kireçtaşı kireci daha sonra ısıyı serbest bırakmak ve söndürülmek için su ile muamele edilebilir. Beyaz ve şekilsiz olan CaO'nun özgül ağırlığı 3,0-3,4 gr/cm³'dir. Elektrikli bir fırında 2580 °C'de buharlaşır ve erir. Isı bozunmasına neden olmaz (Böke vd.,2004).

1.1.1.3. Söndürme işlemi

Kireçler CaO olarak uygun değildir. Susuzluklarını gidermek için su arıtımı gereklidir. Kireçle su verme bir hidrasyon olayıdır. Söndürülmemiş kirece az miktarda su eklendiğinde, sonunda kireç parçasının genişlemesine, bölünmesine ve parçalanmasına neden olurken, aynı zamanda sıcaklıkta ve buharlaşmada artışa neden olur (Güleç, 1992).



Bu reaksiyonun gerçekleşebilmesi için kirecin ağırlığının 1/3'ü kadar suya ihtiyaç vardır. Reaksiyon sonunda elde edilen Ca(OH)₂ sönmüş kireçtir (Böke vd.,2004).

1.1.1.4. Su kireci (hidrolik kireç)

Bu tür kireç, içinde %10 ila %25 arasında kil bulunan kireçtaşının yakılmasıyla elde edilir. Alümina ve silika, bu yanma sırasında oluşan sönmemiş kireç ile birleştirilir. Bu yöntemle dikalsiyum silikattan (2 CaOSiO₂) oluşan küçük parçalı kireç elde edilir. Malzemeyi toz haline getirmek için su arıtma kullanılır; öğütme bir seçenek değildir. Suda söndürme yoluyla toz haline getirilecek kireç için minimum %10 CaO içeriği gereklidir (Böke vd.,2004).

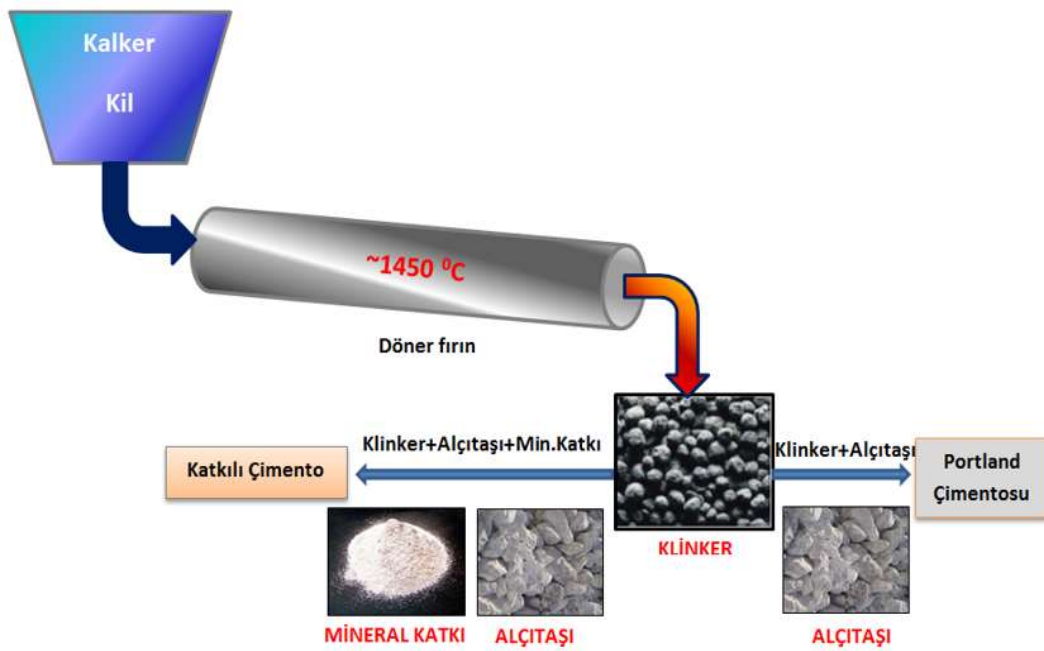
Bu yöntem, suda çözünmek yerine katılaşabilen ve sertleşebilen kireç verir. Sonuç olarak, su yapılarına uygulanabilir. İnşaatta hava kireci ve su kireci kullanmanın avantajları aynıdır. Su kireci, hava kirecinden daha güçlü olma ve suda katılaşma özelliğine sahip olma avantajına sahiptir. Su kireci 28 gün sonra 20-250 kg/cm² basınç dayanımına sahiptir (Böke vd.,2004).

1.1.2. Çimento

Çimento, insanlık tarihinin başlangıcından bu yana birçok isim ve özelliğe sahip bir yapı malzemesi olmuş ve günümüze kadar gelişmeye devam etmiştir. "Çimento" kelimesi Latince "caementum "dan gelmektedir ve kırık taş taneleri anlamına gelmektedir. Ancak

zamanla "bağlayıcı-birleştirici" terimi de benimsenmiştir. "Çimento" kelimesi ilk olarak 1300'lü yıllarda Fransa'da bu anlamda kullanılmıştır. "Çimento" terimi ilk olarak 1400'lerde İngilizce kullanımına girmiştir (Eriç, 2010).

Kireçtaşı ve kil, çimento yapımında kullanılan başlıca temel malzemelerdir. Çimento yapım sürecinde, uygun oranlarda demir oksit (Fe_2O_3), silika (SiO_2), alümina (Al_2O_3) ve kireç (CaO) içeren hammaddeler birleştirilir. Eğimli bir döner fırında, farin olarak bilinen toz halindeki hammadde karışımı yaklaşık 1400-1500 °C sıcaklığa kadar pişirilir. Hammadde taneleri yarı erimiş halde birbirlerine yapıştığında fırının alt çıkış ucuna doğru "klinker" olarak bilinen granüle küresel parçacıklar oluşur. Klinker soğuduktan sonra az miktarda alçıtaşı ile ezilir. Alçı, çimentonun priz süresini değiştirmek için çimentoya eklenir. "Portland Çimentosu" olarak bilinen ürün, klinkerin alçı taşı ile öğütülmesiyle elde edilir (Erdoğan, 2002). Çimento üretim aşamaları Şekil 1.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Çimento üretim aşamaları

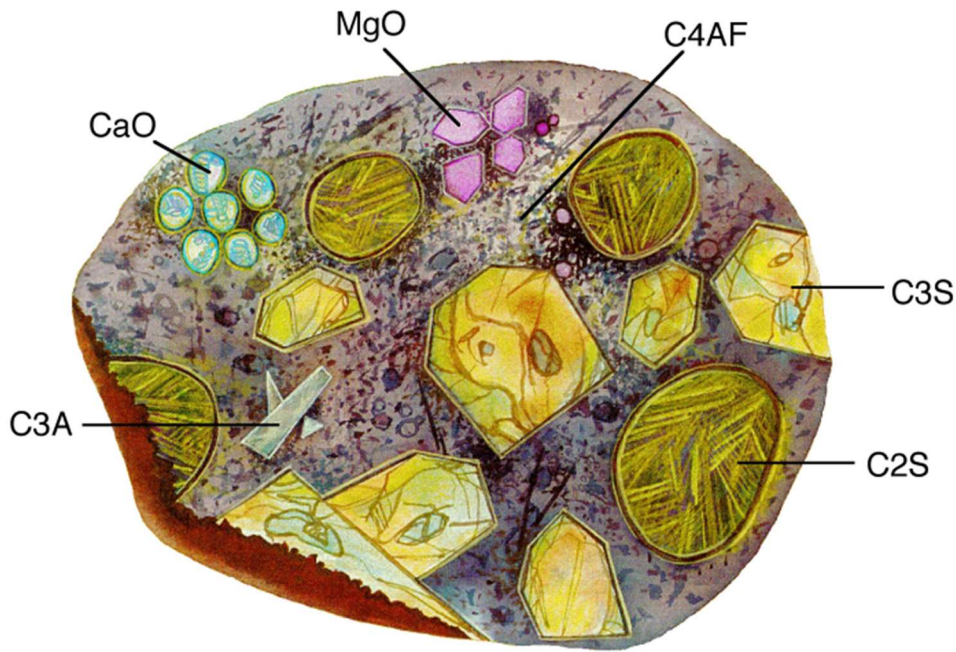
1.1.2.1. Çimentonun Ana Bileşenleri

Çimentonun ana bileşenleri çeşitli oksitlerden oluşmaktadır. Ana bileşenler silikatlar ve alüminatlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Silikatlar çimentonun dayanımı artıran ürünler oluşturmaktadır. Alüminatlar ise çimentoya priz ve karakteristik gibi diğer özelliklerini kazanmasını sağlamaktadır. Çimentoyu oluşturan ana bileşenler aşağıda Tablo 1.2'de verilmiştir (Erdoğan, 2002).

Tablo 1.2. Çimento oluşturan ana bileşenler

Silikatlar		Alüminatlar	
$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$
Trikalsiyum silikat (C_3S)	Dikalsiyum silikat (C_2S)	Trikalsiyum alüminat (C_3A)	Tetrakalsiyum alüminoferrit (C_4AF)

Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerden C_3S çokgen, C_2S oval, C_3A çubuk kristal, C_4AF çimento matrisini dolduran tanecik olarak karakteristik görüntüleri Şekil 1.4’de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Çimentoyu oluşturan ana bileşenler karakteristikleri

1.1.2.2. Çimento ana bileşenlerinin özellikleri

C_3S : Priz sürelerini, erken ve nihai dayanımı etkiler. C_3S yüzdesi arttıkça çimentonun ilk yaşlardaki dayanımı daha yüksek olur.

C_2S : Reaksiyona girmesi yavaştır ve genel olarak bir haftadan sonraki dayanımda etkilidir.

C_3A : Erken yaşlardaki dayanım gelişimi üzerine etkisi çok azdır. Reaksiyonda ilk çözünen bileşendir. Büyük miktarda ısı artışına neden olur. Klinkerin öğütülmesi sırasında katılan alçıtaşı C_3A ’nın hidratasyon hızını yavaşlatır. Alçıtaşı ilave edilmemiş C_3A ’lı bir çimento hızla katılaşır. C_3A yüzdesi düşük çimentolar özellikle sülfat ihtiva eden su ve zemine karşı dayanıklıdır.

C₄AF: Klinkerleşme sıcaklığını düşürerek çimento üretimine etki eder. Çimentoya rengini veren bileşendir.

Çimento ana bileşenleri çimento karakterine farklı özellikler kazandırmaktadır. Bu özelliklerden çimentonun bağlayıcılık özelliklerine etki eden bileşenler olarak silikatlar olarak dikkat çekmektedir. Silikatlardan C₃S erken dayanım “Yüksek” C₂S’nin “Düşük” etki yaratması çimentonun erken dayanımını belirlemede önemli bir etki yaratmaktadır. Alüminatlardan C₃A reaksiyon hızı “Hızlı” olması çimentonun erken priz almasında etki yaratmaktadır. Çimento sınıfı belirlemede etkili olan ana bileşenlerin çimento üzerindeki etkisi Tablo 1.3.’de gösterilmiştir (Erdoğan, 2002).

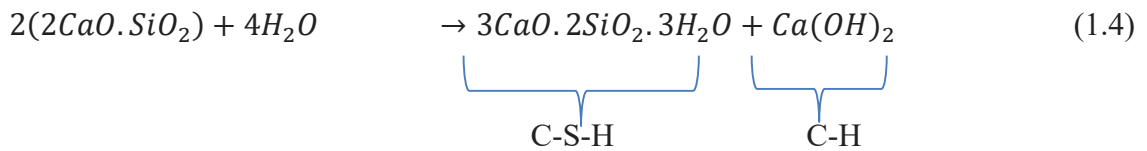
Tablo 1.3. Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin özellikleri

Özellik	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Reaksiyon Hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Orta	Az	Çok	Orta
Erken Dayanım	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Geç Dayanım	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

1.1.2.3.Hidratasyon ürünleri

C₃S ve C₂S bileşenlerinin suyla reaksiyonu sonucu 2 adet ürün oluşur (Erdoğan, 2002).

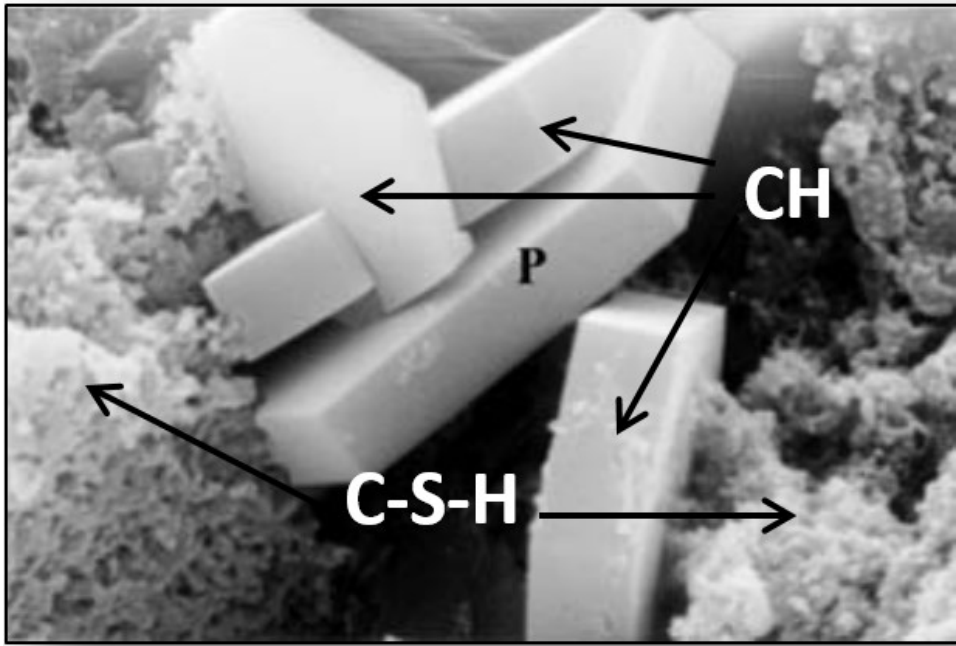
1. Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H)
2. Kalsiyum hidroksit (CH)



C-S-H jel veya kalsiyum silikat hidrat, çimentoya mukavemetini ve bağlayıcı niteliklerini veren maddedir. Ürünün molekülleri çimento parçacığınınkinden yaklaşık bin kat daha küçüktür. Hidratlanan maddelerin yaklaşık %60’ ını oluşturur. Taramalı elektron mikroskop (SEM) ile görüntüsü “ağımsı” bir görüntüye sahiptir.

CH veya kalsiyum hidroksit, betona temel yapısını veren ancak mukavemet üzerinde hiçbir etkisi olmayan bir maddedir. Zayıf yapısı ve adhezyonu zayıflatıcı etkisi nedeniyle gereğinden az kullanılan bir üründür. Hidratlı ürünlerin yaklaşık %20'si bu maddeden oluşur. Katkılı çimento kullanılan betonlarda CH oranı oldukça düşüktür. CH'nin yapısı düzgün altıgen tabakalardan oluşur. C-S-H ile karşılaştırıldığında, CH'nin boyutu çok daha büyüktür ve tipik olarak boşluklarda ve yapışma (arayüz) alanlarında toplanır.

SEM ile görüntüsü “çokgen” plak bir görüntüye sahiptir. Hidratasyon ürünlerinin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü Şekil 1.5’de verilmiştir (Arslan ve Kırğız, 2006).



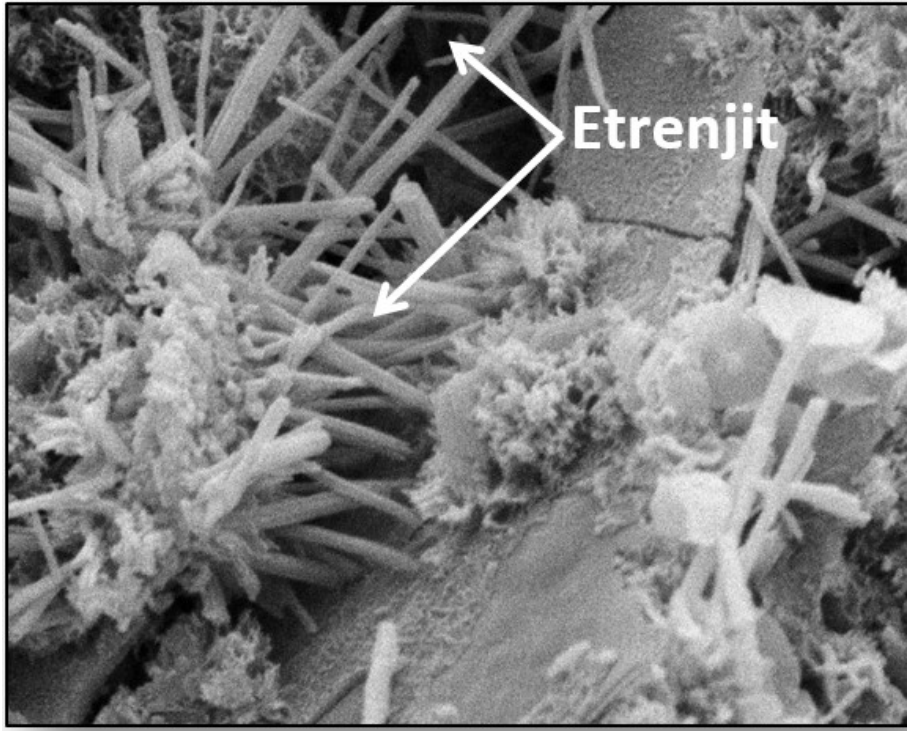
Şekil 1.5. Hidratasyon ürünlerinin SEM görüntüsü

1.1.2.4. Diğer ürünler

C_3A 'ın alçı ve suyla girdiği reaksiyon sonucu “etrenjit” adı verilen iri kristallerden oluşan bir yapı meydana gelir. Etrenjitin çimento hamurunun dayanımı üzerine etkisi yoktur, ancak çimentonun prizinde etkilidir.

Alçı miktarı düşükse ya da C_3A oranı yüksekse etrenjit kararsız bir hal alarak C_3A (trikalsiyum aluminat) ile tepkimeye girer ve monosülfat adı verilen benzer yapıda bir ürün oluşur. Monosülfat, sülfatlı ortama maruz kaldığında ters yönde bir tepkime ile etrenjit oluşumuna neden olur. Monosülfatın etrenjite dönüşmesi sonucu ürün hacmi yaklaşık 2,5 kat artarak betonun çatlamasına ve hasar görmesine neden olur. Bu nedenle, sülfatlı ortama

maruz kalacak betonda çimentonun C_3A oranı sınırlandırılmıştır. Hidratasyon ürünü etrenjit SEM görüntüsü Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6..Etrenjit ürününün SEM görüntüsü

1.1.2.5.Çimento ile ilgili bilinmesi gereken bazı terimler

Blaine (ölgül yüzey): 1 gram çimentonun içindeki taneciklerin cm^2 cinsinde yüzey alan toplamıdır. Ölgül yüzey alanının artması daha ince hal alması ile mümkün olmakla birlikte bağlayıcılığı artıran bir özelliktir.

Genleşme veya Hacim Sabitliği (Le Chatelier): Çimento içinde bağlanmamış olan serbest CaO ve MgO bileşenlerinin hidratasyonu sonucu meydana gelen hacimsel artıştır.

Kızdırma Kaybı: Çimento 975 ± 25 $^{\circ}C$ ’de kızdırılarak bünyesindeki CO_2 (karbondioksit) ve H_2O (su) uzaklaştırılır. Ağırlık kaybı yüzdesi ile kızdırma kaybı hesaplanır. Beklemiş ve nemlenmiş çimentoda kızdırma kaybı değeri yüksek çıkar.

Kireç Standardı (KST veya LSF): CaO miktarının belirli katsayılarla sahip SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 toplamına oranıdır. Bu değeri serbest kireç miktarını belirlediği gibi, döner fırındaki pişme kalitesi hakkında da bilgi vermektedir.

Serbest Kireç: Çimento içinde diğeri bir oksitle bağlanmamış olan CaO yüzdesidir.

Eşdeğer Alkali Miktarı: Çimento içinde bulunan alkali bileşenlerden Na_2O ve K_2O 'nun Na_2O eşdeğerinde toplam alkali miktarıdır ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eşdeğer}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$). Bu değer % ile ifade edilir. Alkali bileşenler yüksek olursa reaktif silis içeren beton agregası ile reaksiyona girerek betonda istenmeyen hacimsel genleşmeler buna bağlı olarak yüzeysel çatlaklar ve bozulmalar oluşturmalarına neden olur. Bu reaksiyon alkali-silika reaksiyonu (ASR) yaygın kullanılan adıyla “beton kanserine” neden olmaktadır (Karasin vd., 2022).

1.1.2.6.Çimento Türleri, Bileşenlerine Göre Çeşitleri ve Özellikleri

TS EN 197-1, (2002) Kapsamında genel çimento türleri aşağıda belirtildiği gibi 5 ana tipte gruplandırılmıştır. Gruplandırma çimento içerisinde kullanılan mineral katkıların tipi ve oranına göre yapılmıştır (Topçu, 2019).

- CEM I Portland çimentosu
- CEM II Portland-kompoze çimento
- CEM III Yüksek fırın cürufu çimento
- CEM IV Puzolanik çimento
- CEM V Kompoze çimento

CEM I Portland Çimentosu

1824 yılında İngiliz Joseph Aspdin tarafından patenti alınan günümüzde en yaygın bağlayıcı olarak kullanılan çimento, Portland Çimentosudur. Portland Çimentosu, ismini rengini andırdığı Büyük Britanya'ya bağlı olan Portland Yarımadası'ndan almıştır. Belirli oranlarda kalker taşı (CaO) ve kil (SiO_2 ve Al_2O_3) gerekli durumlarda demir cevheri (Fe_2O_3) ile karıştırılıp döner fırında pişirilir.

CEM II Portland-Kompoze Çimento

Portland çimentosu üretmek için klinkerin ağırlığının %35'ine kadarını diğer bileşenlerle ve alçıtaşı ile karıştırılarak elde edilir. Kireçtaşı, uçucu kül, pişmiş şeyl, yüksek fırın cürufu ve silika dumanı klinker ile birlikte birincil bileşen olarak kullanılabilir. Klinkere eklenen birincil bileşen, CEM II tipi çimentolara verilen isimlendirmeyi belirler. Özellikle CEM II/A tipi çimentolar, herhangi bir benzersiz özelliğe ihtiyaç duymayan herhangi bir

yapıda kullanım için uygundur. Alçı üretirken veya çevreye daha dayanıklı bir beton gerektiğinde, tipik olarak CEM II/B tipi çimentolar tercih edilir.

CEM III Yüksek Fırın Cürufu Çimento

Çelik endüstrisinin bir yan ürünü olan granüle yüksek fırın cürufu ve Portland çimentosu klinkeri, yüksek fırın cürufu çimentoları oluşturmak için az miktarda alçıtaşı ile birleştirilir. TS EN197-1'e (2012) göre, yüksek fırın cüruf çimentoları üç kategoriye ayrılır: CEM III/A, CEM III/B ve CEM III/C.

Yüksek fırın cürufu çimentolardaki cüruf miktarı özelliklerini belirler. Deniz suyu ve diğer sülfat koşullarında, bu çimentolar tipik olarak Portland çimentosundan daha fazla direnç gösterir. Hidratasyon ısısı Portland çimentosundan daha azdır. Yüksek fırın cürufu çimentoların dayanım artışı Portland çimentosundan daha uzundur, ancak daha yavaş gerçekleşir. Ayrıca betonun geçirgenliği üzerinde de olumlu bir etkiye sahiptirler. Düşük erken dayanımlı çimentolar, TS EN 197-1'e (2012) göre yüksek fırın cürufu çimentolar için kullanılan bir diğer terimdir.

CEM IV Puzolanik Çimento

Puzolanik çimento yapmak için portland çimentosu klinkerinin ağırlıkça %11-55'ine alçı taşı ve uçucu kül, puzolan ve silis dumanı gibi en az iki mineral katkı eklenerek elde edilir. Bu çimentolar, yüksek bina ve baraj temelleri, toprakla temas eden ve sülfata karşı direnç gerektiren yapılar ve sıva üretimi gibi termal çatlamaya duyarlı büyük kütleli betonlar için düşük hidratasyon ısıları nedeniyle sıklıkla tercih edilir.

CEM V Kompoze Çimento

Portland çimentosu klinkerine belirli bir ağırlık oranında alçı taşı eklenerek ve yüksek fırın cürufu, puzolan ve/veya uçucu kül ikame edilerek kompozit çimento oluşturulur. Düşük hidratasyon sıcaklıkları nedeniyle, bu çimentolar büyük kütleli betonların yapımında kullanılmak üzere de seçilmektedir.

1.1.3. Horasan Harcı

Horasan harcı özellikle 15 yy. ve sonraki yüzyıllarda Osmanlı yapılarında kullanılmıştır (Akman, 1986). Bu tür harçlar genel olarak Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı'da kuyu, sarnıç ve hamam yapımında kullanılmıştır (Güleç, 1997). Birçok tarihi

yapıda tuğla, kiremit tozu ve benzeri malzemelerin kireç içeren harçlarla karıştırılması kullanılmıştır Osmanlı'da kireç suyla karıştırılarak sönmüş kireç elde edilirdi. Daha sonra havanlarda kullanılmak üzere ısıtılır ve elenir (Binici vd., 2010). Ayrıca yumurta beyazlar eklenip karışım kuyucuklarda bekletildi, ayrıca hidrolik tuğla parçaları veya saman eklendi.

Karışımın içinde kireç, tuğla veya kiremit tozuyla reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidratlar oluşturarak dayanım kazandırıldı. Gözenekli toz tuğlanın su emme özelliği, harçların nemde yapışma ve mukavemet kazanmasını sağlar ve saman ilavesi, kurutma ve çökeltme işlemi sırasında süneklik ve esneklik kazandırır.

Kireç içeren hidrolik olmayan harçlar, aktif olmayan agregalarla karıştırılır. Bu tür harçlar, kalsiyum karbonat oluşturmak üzere kireç ve karbondioksitin reaksiyonuyla sertleştirilir. Hidrolik harçlar, kirecin puzolanlarla karıştırılmasıyla elde edilir. Kireç içeren harçların üretiminde katkı olarak kırma tuğla veya kiremit tozu kullanılmaktadır (Böke vd., 2006). Horasan harcı genellikle sönmüş kirecin çeşitli oranlarda kum ve agrega olarak toz tuğla ile bağlayıcı olarak kullanılmasıyla üretilir. Karışımın kalitesini artırmak amacıyla isteğe bağlı olarak diğer organik ve inorganik malzemeler de harçlara karıştırılabilir (Binici vd., 2010).

1.2. Portland Çimentosu Bağlayıcılı Harçların Eski Eser Onarımında Kullanılmasının Sakıncaları

Çimento harcı, kolay hazırlanması ve gösterdiği yüksek erken dayanımı ile istenilen niteliklere uygun görünmesine rağmen içeriğinde kalsiyum silikat ve alüminat olması, alçı taşı ve bazik tuzları içermesi nedeni ile tarihi yapıların onarım ve güçlendirmesinde sorunlara neden olmaktadır. Söz konusu tuzlar tarihi duvarlarda; taşlarda yüzey erozyonlarına, harçlarda ise ayrışmaya yol açan tehlikeli tuzlardır. Bu tuzlar, aynı zamanda tarihi duvarlardaki başka tuzlarla da tepkimeye girerek yeni ve daha kompleks tuzları da oluşturabilmektedir (Ahunbay, 2009).

(Török, 2017) çalışmasında yapı malzemelerinde tuzların varlığının tespiti için standart olmayan deneysel bir prosedür sunmaktadır. Önerilen testler, tuzların neden olduğu belirli tarihi yapı malzemelerinin bozulmasının modellenmesine yardımcı oldu. Numuneler, tuz çözeltilerine daldırıldıktan sonra görsel incelemeye ve taramalı elektron mikroskobu analizlerine tabi tutuldu. Sonuçlar, çeşitli konsantrasyonlarda sülfat ve klorür çözeltilerinin neden olduğu tuğla, çimento bazlı harç ve kireç bazlı harcın hasarını göstermiştir. Bu

yöntemle çeşitli tuz kristalleri tanımlanabilir. Çimento harçlarda kireç esaslı harçlara daha büyük oranda tuz birikintileri bulunmuştur.

Bazı durumlarda, tuğlalardaki çözünebilir bileşenler tuzların çiçeklenmesine katkıda bulunabilir. Heksahidrit gibi tuzların yanı sıra sinjenit, glaserit, thenardit ve alçıtaşı da tuğlalardaki çiçeklenmeden rapor edilmiştir. Sorun, incelenen vakaların çoğunda örneklerin tuğla ve bitişik harç derzleri olan tuğlalardan gelmesidir. Dolayısıyla, tuğlalar üzerinde çiçeklenen çözünebilir tuzlar, derz harçlarından az ya da çok gözenekli tuğla yüzeylere de taşınmış olabilir. Aynı durum, genellikle bitişik harç yüzeyleriyle aynı çiçeklenmeyi gösteren yapı taşları için de geçerlidir. Yeni harçlarla derzlerin yeniden yapılması durumunda, (eski) dolomitik kireç ve (yeni) hidrolik kireç gibi farklı bağlayıcıların her ikisi de bitişik taşlara, tuğlalara ve hatta kaplama sıvalarına ve sıvalara çözünebilir madde sağlayabilir. Dresden Teknik Üniversitesi Kampüsteki yirminci yüzyıl başlarına ait bir binanın tuğla yüzeyinde magnezyum sülfat (heksahidrit) çiçeklenmeye bağlı görüntüsü Şekil 1.7.'de gösterilmiştir (Siedel,2018).



Şekil 1.7. Dresden Teknik Üniversitesi Kampüsteki yirminci yüzyıl başlarına ait bir binanın tuğla yüzeyinde magnezyum sülfat (heksahidrit) çiçeklenmesi

Yukarıda tartışılan varsayıma dayanarak, çiçeklenmede bulunan alkali sülfatların ve karbonatların yanı sıra magnezyum sülfatların ve bir miktar alçıtaşının çoğunluğu, ilgili katyonların derz harçları, sıvalar ve sıvalarda hidrolik veya dolomitik bağlayıcılardan salınmasıyla ilgilidir. Binalar ve anıtlar üzerindeki tuz kaynakları olarak her türlü harcın rolü küçümsenmemelidir. Daha eski olanlar (kalsitik kireçler, dolomitik kireçler ve doğal hidrolik kireçler) hava kirliliğinden güçlü bir şekilde etkilenmiş ve sonraki kimyasal reaksiyonlar tarafından kısmen çözülmüştür (Siedel, 2013). Bununla birlikte, değiştirilen birçok yeni sıvada veya işaretleme harçlarında tespit edilen çiçeklenme, modern bağlayıcıların tuz oluşumundaki aktif rolüne dair ipuçları da vermektedir (Siedel, 2018).

Tras, Portland çimentosu veya diğer hidrolik bileşenler içeren hidrolik harçlar gibi modern alkali taşıyıcı sistemlere özel dikkat gösterilmelidir. Son zamanlarda uygulanan sıvaların ve kaplamaların, derz harçlarının veya restorasyon harçlarının yüzeylerinde sık sık alkali karbonat bulunması, gözenekli yapı taşlarına ve tuğlalara da çözünür ve reaktif alkaliler oluşturan karbonat ve hidrojen karbonat sağlama potansiyellerinin yüksek olduğunu gösterir. Yeni harçlardan elde edilen alkali çözeltiler, kumtaşı gibi bitişik gözenekli yapı malzemelerine kolayca geçebilir (Siedel, 2018). Kumtaşı üzerinde, yeniden derzlenen derzler boyunca ve restorasyon harcı ile değiştirilen alanların çevresinde çiçeklenen tuzlar. Özellikle derzlere yakın bölgelerde tarihi ve aktif taş hasarı gözlemlenebilir (Şekil 1.8) (Siedel, 2018).



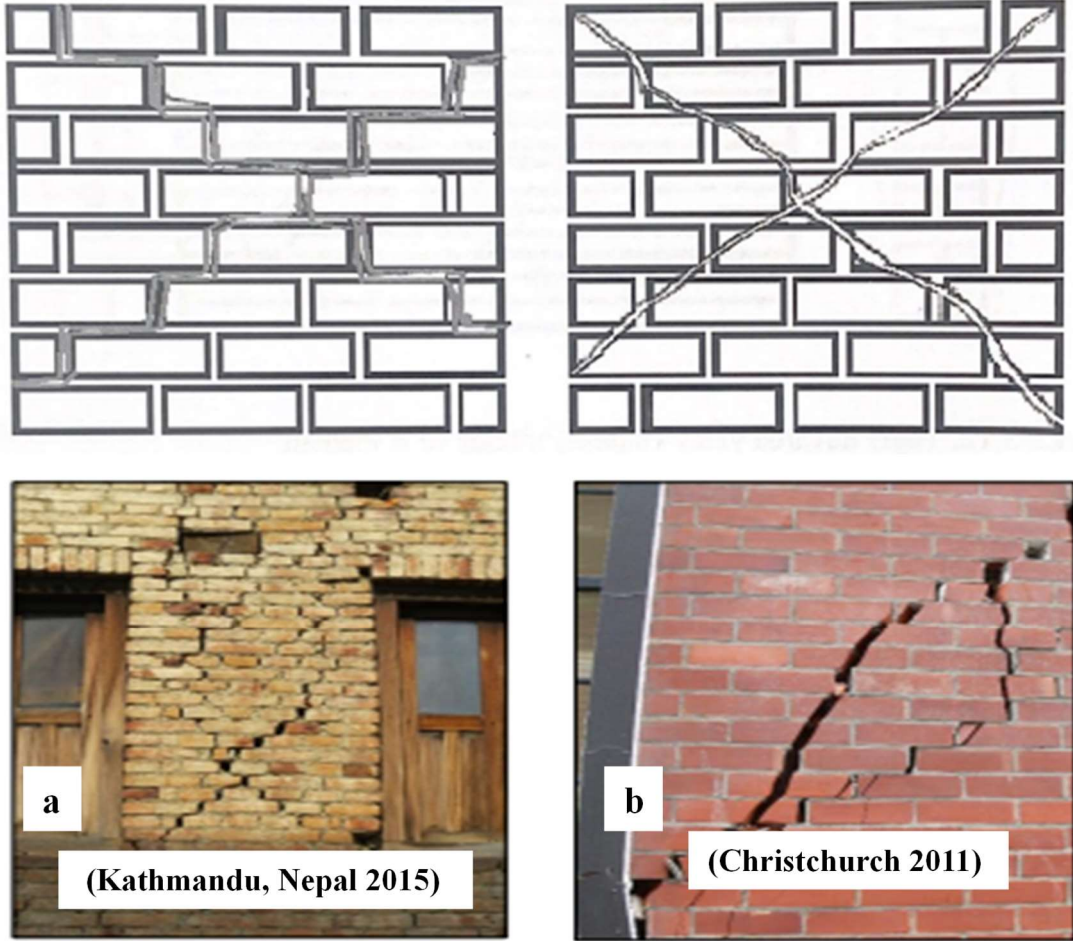
Şekil 1.8. Kumtaşı üzerinde, yeniden derzlenen derzler boyunca ve restorasyon harcı ile değiştirilen alanların çevresinde çiçeklenen tuzlar.

Bu yüzden çimento veya diğer hidrolik bileşenlere sahip harçların restorasyon uygulamalarında kullanımından genellikle kaçınılamasa veya doğal hidrolik kireçler (NHL) gibi sistemlerle tamamen ikame edilemese de bunların zararlı tuzlar oluşturma potansiyellerine özel dikkat gösterilmelidir (Rota Rossi-Doria, 1986). Bu tür bağlayıcıların gözenekli yapı taşları veya tuğlalarla birlikte kullanılması, sadece harcın kendisinde değil, aynı zamanda bitişik taş veya tuğla malzemedeki tuz oluşumunu ve hasarı kolaylaştırabilir (Siedel, 2018).

Isıl genleşme katsayılarının geleneksel harçlara göre yüksek olması nedeniyle bu tip harçlar, ısınma-soğuma çevirimindeki genleşme-büzülme hareketlerinde, uyumlu çalışamama sorununa yol açmaktadır (Güleç, 1991).

Onarımda kullanılan çimento esaslı harçlarda, çimentonun basınç dayanımı genellikle kireç bazlı harçlara göre yüksek olması; onarım harcının düzgün yayılı yük altında direnmesine karşın, yanındaki zayıf geleneksel harcın ezilmesine neden olmaktadır.

Farklı tuğla-harç mukavemet oranlarına sahip farklı duvar iskeleleri için depremlemlerin ardından gözlenen diyagonal kesme çatlaması Şekil 1.9.'da gösterilmiştir (Qiu vd., 2016).

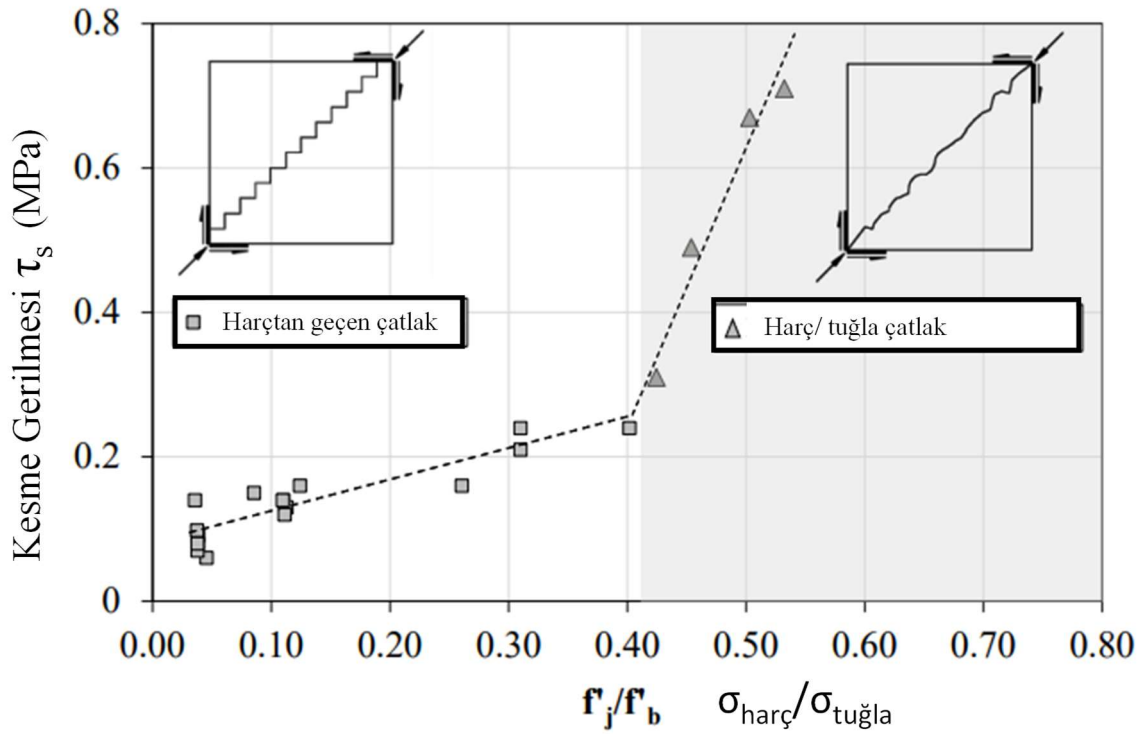


Şekil 1.9. Farklı tuğla-harç mukavemet oranlarına sahip farklı duvar iskeleleri için depremlemlerin ardından gözlenen diyagonal kesme çatlaması

Şekil 1.9.'a ya göre harç dayanımı tuğla dayanımından az olması durumunda kesme etkisinde çatlağın derzde olduğu, Şekil 1.9.b'de harç dayanımı tuğla dayanımından büyük olduğu durumda çatlakların tuğlada olduğu görülmektedir (Qui vd. 2016, Bayülke, 2018).

(Qiu vd, 2016) çalışmasında iki ayırt edici diyagonal kesme hatası mekanizması arasındaki geçiş noktası (tek başına harç derzlerinden çatlama ve hem tuğla hem de harçtan çatlama) şu şekilde belirlenmiştir:

Tek tek tuğlaların (f_b) basınç dayanımı ASTM (2003'a) 'ya göre yarım tuğla sıkıştırma testi kullanılarak test edilirken, her bir harç bileşiminin (f_j) basınç dayanımı ASTM (2008)'e göre sıkıştırmaya 50 mm küp yüklenerek belirlenmiştir. Yığma prizmalar (f_m) da ASTM' ye göre test edildi. Harç-tuğla basınç dayanımı $f_j / f_m = 0,4$ oranında meydana gelir. Oranı 0,4'ün altında olan duvar panelleri, harç derzlerinde çatlamaya neden olurken, oranı daha büyük olan duvar panelleri 0,4, hem tuğla hem de harç derzlerinde çatlamaya neden oldu (Qiu vd., 2016). Deprem gibi kesme kuvvetlerinin etkisinde duvardaki çatlak nedenleri Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Harç-dolgu duvar arasında dayanım ilişkisi

Şekil 1.10'a göre harç basınç dayanım/tuğla basınç dayanım oranı $\frac{\sigma_{harç}}{\sigma_{tuğla}} > 0,4$ ise çatlak tuğla ve harçtan geçmektedir. Daha düşük dayanım oranlarında $\frac{\sigma_{harç}}{\sigma_{tuğla}} < 0,4$ ise çatlaklar derzlerdeki, harçtan geçmekte, tuğlaları kesmektedir (Qui vd. 2016, Bayülke, 2018).

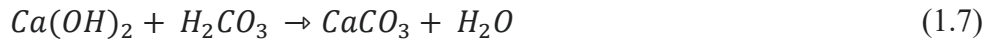
1.3. Harçların Dayanım kazanma süreçleri

1.3.1. Karbonatlaşma

Kireç, kireçtaşının fırınlarda 900 °C civarındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilmektedir (eşitlik 1). Kireç harcı çimento esaslı harçlara göre dayanım alma süreci

biraz yavaş gerçekleşir. Çimento harçlarda kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) bağı ile dayanım sağlanır. Kireç harçlarda dayanım ise CaOH_2 'in havadaki karbondioksit ile CaCO_3 'a dönüşmesi yani karbonatlaşma süreci ile mümkündür.

Karbonatlaşma süreci Van Balen ve diğ. (1994) sudaki karbondioksitin çözünmesi için aşağıdaki denklemleri verir Denklem (1.6) ve kirecin elde edilen karbonik asitle reaksiyonu Denklem (1.7)'deki gibidir (Van Balen vd., 1994)



1.3.2. Alçılaşma (Jipsleşme)

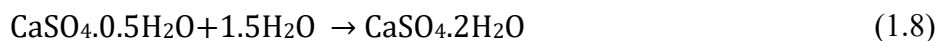
Alçıtaşı, kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan bir mineraldir. Bileşiminde iki molekül kristal suyu bulunan türüne jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) denir. Alçı billurlarına kil ve marn içinde veya tuzlu ve alçılı dağların boşluklarında rastlanır. Yukarı Kızılırmak bölgesinde büyük kayalar halinde bulunur. Alçı, alçıtaşının kırılıp, değirmenlerde ufalanıp, fırınlarda 190°C ' ye kadar yakılması ve tekrar değirmenden geçirilerek toz haline getirilmesi ile üretilir ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). Bilhassa kalıp, model, tavan süsleri, iç sıva yapılmasında kullanılmaktadır (Temiz ve Olgar, 2017).

Alçıtaşı, en yaygın olarak halit, anhidrit, sülfür, kalsit ve dolomit ile birlikte katmanlı tortul yataklarda bulunan bir sülfat ve evaporit mineralidir. Susuz veya susuz kalsiyum sülfatlar, alçı bazlı ürünlerin ana bileşenleridir (Lushnikova ve Dvorkin, 2016).

$\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ sistemi beş katı fazdan oluşur: jips (dihidrat, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), basanit (hemihidrat, $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), anhidrit I ($\alpha\text{-CaSO}_4$), anhidrit II ($\beta\text{-CaSO}_4$) ve anhidrit III ($\gamma\text{-CaSO}_4$). Doğal anhidrit nadirdir ve ısıtılma işlemi görmeden bağlayıcı olarak kullanılabilir.

Daha yoğun kristal yapısı daha yüksek mekanik özelliklerle sonuçlanır. Genel olarak, alçı bağlayıcılar tipik olarak ısıtılma işlemiyle elde edilir.

$135\text{-}180^\circ\text{C}$ 'de kalsinasyon sonucu hemihidrat. Sertleşme hidrasyon reaksiyonu ile ifade edilir. Alçı esaslı harçlarda dayanım kazanma süreci Denklem 1.8.'de gösterilmiştir



Hemihidrat β Paris alçısı olarak bilinir. İlk priz süresi hidrasyondan 2-6 dakika sonra başlar ve sertleşme süreci 2 saat sonra tamamlanır. Mukavemeti su-alçı oranı ile verilir ve ortaya çıkan alçı kristallerinin oluşumu ve aralarındaki bağ ile ilgilidir (Williamson ve Lewry, 1994; Lushnikova ve Dvorkin 2016).

Alçının üç temel özelliği yapısal bağlayıcı olarak kullanımını etkilemiştir: donmaya karşı direnci, hızlı priz alması ve priz alırken genişlerken duvar birimleri arasındaki kohezyonu artırması (Vitti, 2021).

Alçı ve kireç sıklıkla karıştırılır ve birinin avantajları diğerinin dezavantajlarını telafi eder (daha yüksek mekanik direnç, daha hızlı priz alma, büzülmenin azaltılması).

Alçı dihidratın suda çözünürlüğü yüksektir, bu da alçıyı nemli bir ortamda kullanım için uygunsuz hale getirir. Kireç ve puzolanik katkıların eklenmesi su direncini artırır (Vitti, 2021).

Alçı harcının avantajları ve dezavantajları Tablo 1.4’de verilmiştir.

Tablo 1.4. Alçının avantajları ve dezavantajları (Kızıloğlu, 2003).

Avantajları	Dezavantajları
Düşük maliyet	Su ile doyunca basma mukavemeti azalır
İyi yüzey düzgünlüğü	Düşük aşınma dayanımı
Yüksek gözenek	Jipsin suda çözünmesi
Düşük boyutu	Düşük ısı şok direnci.
Çabuk katılaşma	
Küçük boyutsal genişleme	

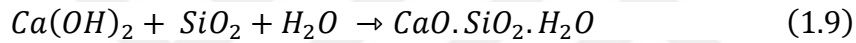
Su/ alçı oranı azaldıkça basma mukavemet artar, absorpsiyon azalır. Alçının su absorblama kapasitesi alçı/su oranına göre değişir. Su arttıkça gözenek boyutu ve miktarı artar. Gözenekler yeterince büyüdüğünde (kritik değeri aştıktan sonra) döküm hızı düşer (Kızıloğlu, 2003).

1.3.3. Pozolanik Reaksiyon

Çimentolu özellikler sergileyen bileşikler oluşturmak için silisli veya alüminli bir malzeme nem varlığında kalsiyum hidroksit ile temas ettiğinde pozolanik bir reaksiyon meydana gelir (Papadakis ve Tsimas, 2002) .

Kalsiyum silika oranının hidratasyon ürünlerinden C-S-H ağlarının morfolojisi üzerinde etkisinin araştırıldığı çalışmada Ca/Si arttıkça karnabahara benzeyen karbonatlaşma ürününü artırırken, artan silika jelin mekanokimyasal işlem sırasında sürekli olarak CH ile reaksiyona girerek ağımsı bir görüntüye sahip C-S-H 'a dönüşerek Ca/Si oranını düşürdüğü ve dayanımı arttırdığı SEM gözlemleri ile ortaya koyulmuştur (Wang vd., 2019).

Çimento esaslı harçlarda dayanım kazanma süreci Denklem 1.9.'te gösterilmiştir (Erdoğan, 2002).



Kireç harçlarına agrega olarak silisli kum veya kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Çalışmasında kireçtaşı agregaların silisli agregalara göre gözenek yapısının daha fazla olması bağlayıcı malzemenin gözenek yüzeyine tutunarak daha iyi bir bağ kurması karbonatlaşmayı artırarak dayanımı artırdığını belirlenmiştir (Scannell vd., 2014).

1.4. Geleneksel Cas Evleri

“Cas” evleri şüphesiz Türkiye'nin Güneydoğusundaki Siirt İli ve komşu bölgelerin en belirgin ve baskın geleneksel konut tarzıdır. "Cas" adı, aslında bölgedeki karakteristik jeolojik toprak oluşumunu oluşturan alçı taşının öğütülmesi, yakılması ve işlenmesinden oluşan bir işlemle üretilen bir malzeme olan harca verilen addan gelmektedir (Mehmet Gökhan Berk, 2018).

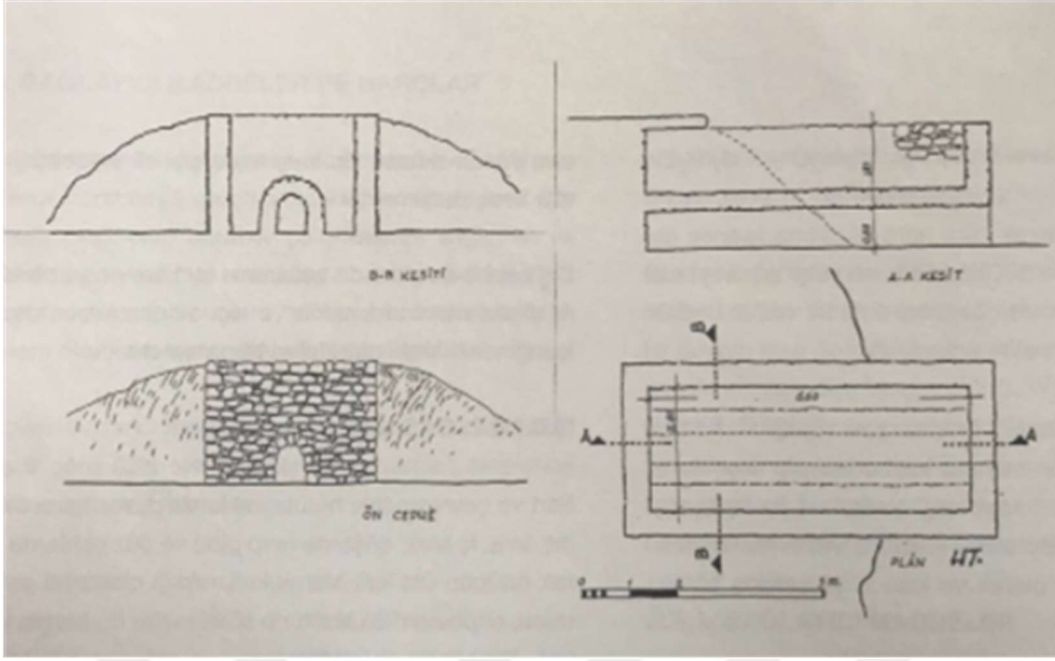
Ekoloji ve iklim koşullarına bağlı olarak oluşturulan evler iki- üç katlı, yukarıya doğru daralan, küçük pencere, düz damlı, "Cas" adı verilen bir harçla sıvanmıştır. Kireçtaşının yakılıp öğütülmesiyle elde edilen Cas, çabuk sertleşmesi sonucu kabuksuz kubbe yapımına olanak vermektedir. Cas evlerin kapı ve pencere çevrelerinde çok güzel taş oymalar yer almaktadır. Cas ev temelden yukarıya doğru daralan kalın (sepke) yüksek duvarlı kaleye benzeyen, sarımsı beyaz renkli görünüm arz etmektedir. Taş yığma bir yapı

olan Cas evlerinin duvarları, blok kireçtaşlarından 50-120 cm kalınlığında Cas harcı kullanılıp bağlanarak yine Cas harcı ile sıvanarak inşa edilmişlerdir. İç yapı elemanları Anadolu Türk-konut mimarisini yansıtmakta olup merdiven, ocak, raf, yüklük, nişler, dolaplar, döşemeler, merdivenler, oda kapıları, tavan kaplamaları ve gusülhaneden oluşmaktadır (Koday vd. 2017). 19- yy. sonu inşa edilen Cas evler bugüne kadar gelmiş olup ne yazık ki bakımsızlık nedeni ile günümüzde yıkılmaya terk edilmişlerdir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Yıkılmaya yüz tutmuş geleneksel Cas evi

Cas taşını yakmak için kullanılan ocağın son ustaların tarifine göre çizilen krokisi. Hüsrev Tayla (2007) eserinde geleneksel Cas harcı şu şekilde tarif etmektedir; 260 cm genişliğe, 660 cm uzunluğa ve 300 cm yüksekliğe sahip fırınlara jips (alçı taşı) doldurulur. Fırının altında tonozcuktan konulan odunlar ile 24 ile 35 saat kadar yakılır. Yakılarak sertleşen alçı taşı yeteri kadar sertlik derecesine ulaştığında soğumaya bırakılır öğütme işleminden sonra toz haline getirilen alçı, su ile harç halini almaktadır. (Tayla, 2007). Geleneksel Cas fırının krokisi Şekil 1.12’de gösterilmiştir (Tayla, 2007).



Şekil 1.12. Geleneksel Cas fırını (Hüsrev Tayla, 2017)

Cas evlerinin ortak özellikleri süslemeli dış kapılar kemer pencerelerin yanı sıra genel görüntüsü kaleye benzemektedir (Şekil 1.16). Cas evleri genellikle simetrik yapıda, duvarları 80 ile 120 cm arasında kalınlıkta moloz, kırma ve kesme taştan, bir veya iki kat halinde yığma olarak inşa edilmişlerdir. Geleneksel Cas evlerin tipik genel görüntüsü Cas malzemeden döşemeleri, kapı ve pencere açıklıkları meşe ağacından kiriş ve lentolar ile desteklenmiştir. Döşemeler ve açıklıklara zamanla demir profil destekler eklenmiştir (Doğruyol vd., 2022; Koday vd., 2017; Naz, 2020). Yığma yapıdaki döşeme Şekil 1.13’de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Yığma yapıya ait döşeme

Doğal taştan yığma ve kubbeli tavanlara sahip olması evlerin doğal yalıtım olmasını, Cas evlerinin içerisinde kış aylarında ılık, yaz aylarında serin olmasını sağlamaktadır. Evlerde yiyecek pişirme ve ısınma amacı ile günümüzde “Şömine” olarak adlandırılan cas evlerindeki tabiri ile “Tefeye” kullanılmaktadır Cas evlerinde giriş katında “Behu” adı verilen odada misafirler ağırlanmaktadır. Yemekler genelde evin zemin katta odaların arka kısmında “Tabok” adı verilen mahsende saklanmaktadır (Koday vd., 2017).

Dış kapılar, “Mısraheyn” diye tabir edilen çift kanatlıdır ve Osmanlı kültürü olarak kapı kanatlarında gelen ziyaretçinin cinsiyetinin anlaşılması için tok (Erkek ziyaretçi) ve tiz (kadın ziyaretçi) ses tonuna sahip kapı tokmakları Cas evlerinde de görülmektedir (Doğruyol vd., 2022)(Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Cas evine ait ahşap kapı

Siirt Cas Evlerinin bazılarında ahşap ilave parçalar ile örneğin günümüzde adını lento verdiğimiz pencere veya kapı üst bölgelerine yerleştirilen elemanlar ile duvar yüksekliklerinin fazla olması durumunda kullanılan hatılları temsil eden elemanlar kullanılmıştır (Doğruyol vd., 2022)(Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Yığma Cas evinin ahşap lento

Siirt şehir merkezindeki birtakım örneklerden bir kısmı, nispeten iyi korunmuş Cas evleri şehrin Doğu ve Kuzey kesimlerinde, yoğun olarak Tillo ve Şirvan ilçelerinde, daha az sıklıkla Doğu tarafında Pervari ve Güney kesiminde Eruh'ta, nadiren Kuzeybatıda Baykan ve Kuzeybatıda Kurtalan'da görülebilir. Jeolojik alt toprak oluşumu olarak batı yakası değişmeye başlar. Siirt'ten Tillo'ya giden yol üzerinde İkizbağlar (Tom), Dereyamaç (Fersaf), Çınarlısu (Hantrant) ve Çatılı (Sinop) ile birlikte Halen (Bağtepe) ilçesi ile birlikte Tillo İlçe merkezi ve ilgili köylerde muhtemelen iyi durumda en fazla sayıda Cas evi bulunmaktadır (Mehmet Gökhan Berk, 2018).



Şekil 1.16. Geleneksel Cas evi ön balkon



Şekil 1.17.Geleneksel Cas evi ön cephe

1.4.1. Tarihi Cas Evlerinden Örnekler

1.4.1.1. Şeyh Nasrettin Evi

Yapı son Osmanlı Mebusan Meclisi üyelerinden Siirt Mebusu Şeyh Nasrettin'in evidir. Ev 19. yy. sonu 20. yy. başlarında tarihlendirilmektedir (Baydaş, 2002). Ev, Siirt, Tillo ilçesi, Ziyaretler mahallesindedir. Evin ilk dikkat çekici yanı abidevi görünüşüdür. Bu görünüşü sağlayan görkemli giriş kapısıdır. Yapı tek olarak görünse de bünyesinde birbirinden bağımsız iki katlı evleri barındırır. Bu evlere giriş kuzeyde sokak tarafına bakan tek kapıdan sağlanır. Avluda yapılara giden kapılar ayrılmıştır. Ayrı olarak düzenlenmiş bu evlere birbirine içten giriş de söz konusudur. Yapı da saçak sistemi yoktur. Ayrıca cumba ve çıkma benzeri mimari öğelerinde yer almaması dış görünüşü adeta kale görüntüsüne benzetmiştir. Yapı diğer Cas evlerinde oldu gibi üste doğru daralmaktadır.

Ev moloz taştan yığma olarak inşa edilmiştir. Yapının giriş kapısında kesme taş kullanılmıştır. Avlu ve zemin kattaki bölümlerin zemini sal taşı ile döşelidir.



Şekil 1.18.Şekil Şeyh Nasrettin Evi Ön Cephe

Şeyh Nasrettin evinin giriş kapısı Tillo'da “mısraheyn” denilen iki kanatlı ahşap kapıdır. Dış kapının üstü taş süslemelidir. Kapının kanatları üç sıra metal kabaralarla hareketlendirilmiştir. Kapının her iki yanında üzeri işlenmiş sütunlar vardır. Üst kısmında burma şeklindeki bileziğin üzerine sütun başlığı oturtulmuştur.



Şekil 1.19. Şekil Şeyh Nasrettin Evi Ana Kapısı

1.4.1.2.Şeyh Kâmil Evi

Yapı moloz taştan iki katlı yığma bir yapıdır. Yapı 19.yy. sonları 20. yy. başlarına tarihlendirilmektedir (Baydaş, 2002). Evin içi ve dışı Cas harcı ile sıvalı olması yapının aşağıdan yukarıya daralması cumba ve çıkmanın olmayışı yapıyı kale görüntüsüne bürümüştür. Evin subasman seviyesi Cas ile moloz taş sıvanmadan bırakılmıştır. Cephelerindeki Cas sıvaları yer yer dökülmüştür. Yörede genel mimaride hâkim olan zemin kat pencereleri üst kata göre küçük inşa edilmiş olması yapıya hareket kazandırmıştır.

Evin iki girişi vardır, biri ana cephede yer alan ana giriş kapısı diğeri evin arkasında yer alan avlu kapısıdır. Ana kapı “mısraheyn” denilen iki kanatlı iken diğeri kapı tek kanatlıdır. Evin giriş kapısı 10 basamaklı merdivenle çıkılmaktadır, kapı içeriye doğru kavisli şekildedir. Kapı tezyinatı beş dilim sağda, beş dilim solda ortada birleşen sivri bir kemer formundan oluşmaktadır. Kapı önünde oldukça büyük balkon ön cepheyi hareketlendiren unsurlardandır.



Şekil 1.20. Şeyh Kâmil Evi Ön Cephe

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin güneydoğusunda Siirt ili ve Tillo ilçesinde bulunan alçı esaslı Cas harcı ile inşa edilen geleneksel Cas evlerinde (19. yy) kullanılan harç ile modern yapılarda kullanılan çimento esaslı harçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yansırı mikro analizler yapılarak karakteristik olarak karşılaştırmaktır. Geleneksel Cas evleri gibi tarihsel yapıların onarım veya güçlendirilmesinde modern çimento harçların kullanılmasının tarihi yapı üzerinde etkisini araştırmaktır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde tez konusuna ait çimento ve alçı esaslı harçları oluşturan malzemelerin özellikleri ve çalışmanın yöntemi hakkında bilgiler yer verilmiştir.

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Çimento harçların üretimi için Limak çimentoya ait CEM I 42,5 N sınıfı çimento kullanılmıştır. Agrega olarak silis esaslı kum (0-4 mm) malzeme kullanılmıştır. Harç karışım oranları standart sıva harcı karışım oranları kullanılarak hazırlanmıştır. Deneyde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik analizler Limak Kurtalan çimento santrali laboratuvarlarında yapılmıştır.

Deneyde kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan çimentonun TS EN 197-1 (2012) standardına göre karşılaştırılmış değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşenler	Kütlece (%)	Standart TS EN 197-1 (2012)
SiO ₂	18,12	
Al ₂ O ₃	5,21	
Fe ₂ O ₃ ,	3,03	
(S+A+F) *	26,36	
CaO	62,06	
MgO	2,70	
SO ₃	3,21	<3,50
Na ₂ O	0,09	
K ₂ O	0,96	
Na ₂ O+0.658 K ₂ O (Toplam alkali)	0,72	
Cl	0,010	<0,10
Kızdırma kaybı	3,98	<5,00
Minerolojik Bileşim		
C ₃ S	66,40	
C ₂ S	1,87	
C ₃ A	8,68	
C ₄ AF	9,22	

Deneyde kullanılan çimentonun Tablo 2.1’de verilen kimyasal analiz sonucuna göre TS EN 197-1 standardına göre uygun bir çimento olduğu anlaşılmaktadır.

Deneyde kullanılan CEM I 42,5 N çimentosuna ait fiziksel ve mekanik değerler Tablo 2.2.’de verilmiştir.

Tablo 2.2. CEM I 42.5 N fiziksel ve mekanik değerleri

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler (Basınç Dayanımı)	
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,13	Gün	MPa
Priz başlangıcı, dk	142	2. Gün Basınç Dayanımı	29,9
Priz sonu, dk	298	7. Gün Basınç Dayanımı	41,9
Hacim genleşmesi, mm	0,70	28. Gün Basınç Dayanımı	50,9
Blaine özgül yüzey (cm ² /gr)	3323		
Su ihtiyacı, gr	28,2		

Tablo 2.2.’ye göre çimentonun fiziksel özellikleri TS EN 197-1 (2012) standardıyla göre karşılaştırıldığında priz başlangıç süresi minimum 60 dakika (142 dk) hacim genleşmesi maksimum 10 mm (0,7 mm) olması gerekmektedir. Ayrıca çimento ile TS EN 196-1 (2016)’e göre, karışım oranları çimento/standart kum oranı 1/3, Su/Çimento oranı 1/2 olarak belirlenmiş dayanım denemeleri yapılmıştır. Dayanım değerleri TS EN 197-1 (2012) standardına göre karşılaştırıldığında 2 günlük dayanım en az 10 MPa (29,9 MPa), 28 günlük dayanım değeri en az 42,5 MPa en fazla 62,5 MPa (50,9 MPa) olarak ölçüldüğü için kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik analizlerinin TS EN 197-1 (2012)’e göre CEM-I 42,5 sınıfına uygun olduğu anlaşılmaktadır.

2.1.2. Kum

Çalışmada harç numuneleri için silis içerikli kırma dere kumu agrega kullanılmıştır. Kum dünyanın birçok yerinde çokça bulunan madenlerden bir tanesidir. Kullanılan silis içerikli kum yüksek sertliktedir. Madenlerin karakter yapısına ve bölgelere göre bünyelerindeki silis oranları, kimyasal yapıları ve sertlik oranları değişmektedir.

2.1.3. Su

Numune üretiminde kullanılan su TS EN 1008 (2002) standardına uygun olmalıdır. Bu araştırmada şehir şebekesinden alınan içme suyu kullanılmıştır.

Kombinasyonların suyu asidik pH değerine (>7) sahip olmamalı veya sülfat etkisine yol açmamalıdır. Beton, harç ve donatı, sudaki tuzdan herhangi bir zarar görmemelidir.

2.2. Metot

2.2.1. Deneysel Çalışma

Testler yapılmadan önce, kürlenmiş numuneler etüve yerleştirilmiş ve 24 saat süre boyunca 40 °C'de tutulmuştur. Numuneler daha sonra ASTM C597 (2009) uyumlu ultrasonik ses iletim hızı testine tabi tutulmuştur. Numunelerin görünür gözenekliliği ve su emilimi ASTM C20 standardına uygun olarak eş zamanlı olarak test edilmiştir. Kapiler su emme testi TS EN 1015-18 (2002) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme ve basınç testleri TS EN 196-1 (2016) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde sonuçlar, en az 3 numune değerinin ortalama değeri alınarak belirlenmiştir. Fiziksel, mekanik analizler sonrası numuneler SEM-EDX ve XRD gibi karakterizasyon analizler için uygun forma getirilmiştir.

Deneysel çalışmaların yapıldığı laboratuvarın görüntüleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Deneysel çalışmaların yapıldığı laboratuvarlar

2.2.2. Çimento esaslı harcın hazırlanması

Çimento esaslı harçlarda CEM I 42,5 N sınıfı çimento; silis esaslı kum (0-4 mm) ile 1:3 oranında, su ile 1:2 oranında çimento mikserinde TS EN 196-1 (2016) standardına uygun olarak karıştırılmıştır. Çimento esaslı harcın karışım oranları Tablo 2.3'de verilmiştir.

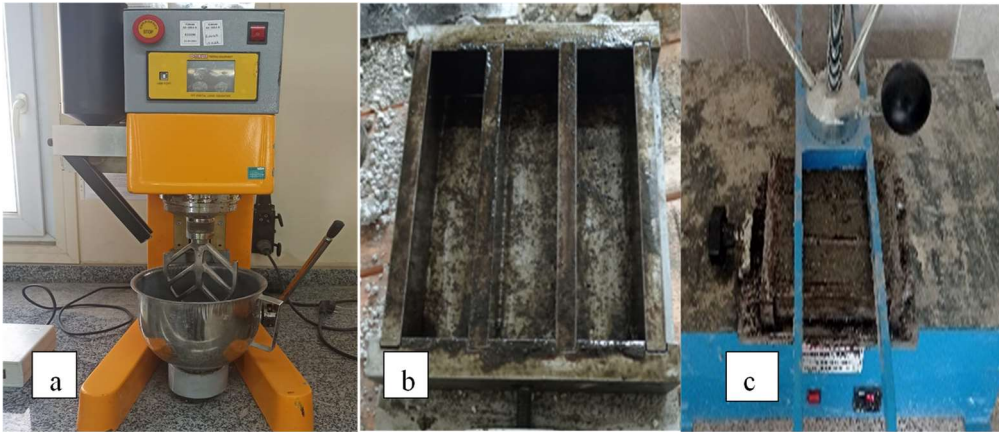
Tablo 2.3. Çimento esaslı harcın karışım miktarı

Materyal	Çimento	Kum (gr)	Su	S/Ç Oranı
Çimento esaslı harç	450	1350	225	0,5

Karışım malzemelerin miktarı Şekil 2.1.'de gösterilen hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür. Ardından Şekil 2.3.a'da gösterilen çimento mikserinde homojen olacak şekilde karıştırıldıktan sonra Şekil 2.3.b'de gösterilen 4x4x16 cm rijit harç kalıbına yerleştirilmiştir. Harç, her bir kalıp bölümüne azar azar eklenerek tokmakla bastırılıp kademe kademe doldurulmuştur. Her kademenin doldurulmasının ardından harcın kalıp içine yerleşmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu harç numune kalıpları 24 sn boyunca vibratörde sarsılarak hava boşluklarının çıkışı sağlanmıştır (Şekil 2.3.c). Numuneler laboratuvar ortamında nemli havlu ile örtülüp kapalı olarak 24 saat bekletilmiştir. Numuneler ertesi gün kalıptan çıkartılıp sıcaklığı $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzuna konulmuştur. Kür havuzunda 28 gün bekletilen çimento esaslı harçlar daha sonra 12 saat boyunca 105°C 'lik etüvde kurutulmuştur.



Şekil 2.2. Malzemelerin tartılması

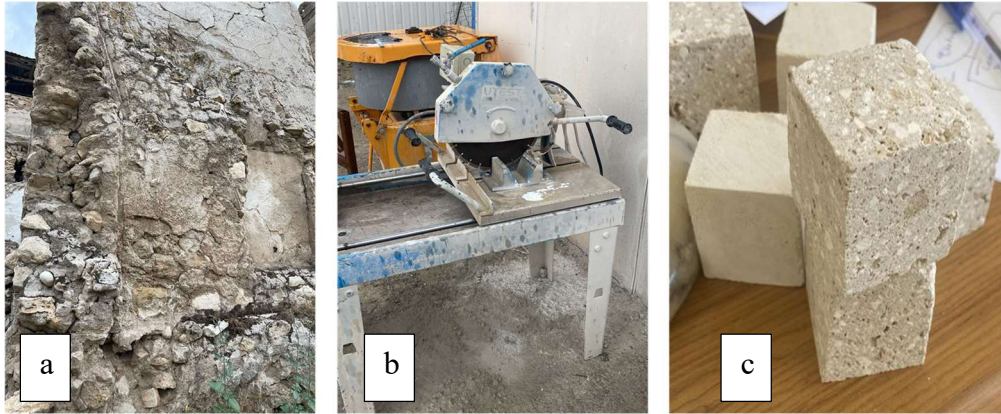


Şekil 2.3. Çimento esaslı numunelerin hazırlanması a) harç mikseri b) harç kalıbı c) kalıp vibratörü

2.2.3. Alçı esaslı harç

Çimento esaslı harç ile karşılaştırmak üzere Siirt ili Tillo ilçesinde 200 yıllık bir geçmişe sahip olduğu düşünülen yıkıntı halde bulunan Cas evinden harç örnekleri alınmıştır

(Şekil 4a). Yıkık durumda Cas evinden temin edilen alçı esaslı harç beton kesme testeresinde kesilerek (Şekil 4b) deneyler için uygun forma getirilmiştir (Şekil 4c).



Şekil 2.4. Alçı esaslı numunelerin hazırlanması a) harcın temin edilmesi b) beton testeresi ile kesilmesi c) kesilen 4 cm küp Cas harcı

Yüksek (2017) çalışmasında sade alçının kimyasal bileşimini $H_2O = \%4,50$, $CaO = \%37,45$, $SO_3 = \%53,50$, $SiO_2 = \%0,25$, $NaCl = \%0,01$ olduğunu bildirmiştir (Yüksek, 2017). Tarihi yapıya ait harcın EDX analizinde kalsiyum (Ca), kükürt (S), silisyum (Si), alüminyum (Al) gibi elementler içermektedir. Ayrıca harcın kimyasal analizi kalsiyum dioksit (CaO_2) ve sülfat (SO_3) gibi bileşenler içermektedir. Alınan tarihi harca ait numunelerin EDX ve XRD analizleri Tablo 2.4 ve Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Tarihi yapıdan alınan alçı esaslı harca ait EDX analizi

Element	Ağırlıkça (%)
Ca	20.96
S	16.37
Si	0.08
Al	0.013
O	62.59

Tarihi harç ile saf alçı harcının kimyasal analizleri Tablo 2.5.’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.5. Tarihi harç ile saf alçı harcının kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması

Bileşenler (%)	Alçı Esaslı Harç (Cas Harcı)	Saf Alçı (Yüksek,2017)
CaO	35,94	37,45
SO ₃	52,87	53,50
SiO ₂	0,99	0,25
Al ₂ O ₃	0,43	-
Fe ₂ O ₃	0,15	-
MgO	0,54	-
H ₂ O	-	4,50
NaCl	-	0,01
S+A+F*	1,57	0,25
S+A+F = SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ ,		

Tablo 2.5'e göre, deneysel çalışmada kullanılan tarihi yapıya ait harçta yüksek oranda kükürt (S=%16,37) ve yüksek oranda sülfat (SO₃ = %52,87) olması harcın alçı esaslı bir harç olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.5.'e göre Alçı esaslı harçta puzolanik reaksiyonlarda önem arz eden Silikat-Alüminat-Demiroksit toplamı (S+A+F) =%1,57 << %70 (ASTM C618-22, 2010) olması harcın puzolanik olarak dayanım almadığını alçılaşma ve karbonatlaşma süreçleri ile dayanım kazandığını göstermektedir.

2.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Alçı esaslı harç ve çimento esaslı harçların kimyasal analizleri XRF metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Malzemelerin özgül yüzey alanı tespitleri, standartlara uygun Blaine test cihazları kullanılarak Blaine testi yapılmıştır (ASTM C618-22, 2010; BS EN 196-6, 2018).

2.2.5. Ultrasonik darbe hızı deneyi (Ultrasonic Pulse Velocity- UPV)

Test programının ilk aşamasında numunelere ultrasonik darbe hızı (UPV) ve ısı iletkenlik katsayısının tahribatsız testleri yapıldı. Ultrason deneyi, numunelere ultrason dalgaları göndererek ve numunedeki dalgaların hızını ölçerek numunelerin gücünü tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntem, numune içindeki çatlakları, boşlukları ve diğer yapısal özellikleri tespit ederek numunenin mukavemetinin belirlenmesine yardımcı olur. Proceq

marka Pundit Lab cihazı kullanılmıştır. Her numuneden üç farklı yerden ölçülen değerlerin ortalaması alınarak dalganın geçiş hızları belirlenmiştir. UPV analizinin yapıldığı cihaz Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Proceq marka- Pundit Lab ultra ses deney aleti

2.2.6. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi, harç numunelerinin suya doymuş ağırlığı (P_1) ile kuru ağırlığı (P_0) arasındaki farkın kuru ağırlığına oranının yüzde olarak belirlenmesidir. Su emme deneyi 28 gün suda bekleyen harç numuneleri sudan çıkartılarak önce etüvde 24 saat boyunca 105°C ’de bekletilmiştir. 24 saat sonunda numuneler çıkartılarak hassas terazide kuru ağırlıkları (P_0) tartılmıştır. Tartım işlemi bittikten sonra numuneler 24 saat su dolu kür havuzunda bekletilmiştir. 24 saat sonunda numunelerin suya doymuş ağırlıkları (P_1) hassas terazide ölçülmüştür. Su emme yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Denklemler 2.1);

$$W_A(\%) = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100 \quad (2.1)$$

W_A : Su emme yüzdesi (%) P_0 : Kuru ağırlık (gr) P_1 : Suyu doymuş ağırlık (gr)

2.2.7. Mekanik Deneyler

Mekanik değerleri ölçmek için ASTM C109 standartlarına uygun YKM-CM106 ekipmanı kullanılmıştır (ASTM C109, 2021). Yükleme hızı 50 N/s olarak belirlenmiştir. Mekanik analizler Limak inşaat yapı laboratuvarında yapılmıştır. Basınç ve eğilme analizlerinin yapıldığı cihaz Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çimento harcı basınç ve eğilme testi deney aleti

2.2.7.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı değeri tespit edilmeden önce harç numuneler 28 gün boyunca kürlenmiştir. Harç numunelere aksenal basınç uygulamak için pres aleti kullanılmıştır. Basınç dayanımı değerleri, numune kırıldığında ilişkili kırılma yükü ile birlikte pres göstergesinden elde edilmiştir. Basınç dayanımı değerlerini elde etmek için aşağıdaki formül kullanılabilir. Numunelerin basınç dayanımı TS EN 196-1 standardına uygun YKM-CM106 press makinesi kullanılarak belirlenmiştir (Denklem 2.2).

$$\sigma_B = \frac{P}{A_c} \quad (2.2)$$

Formülde;

σ_B : Basınç dayanımı, N/mm²

P: Kırılma anındaki en büyük kuvveti, N

A_c: basınç yükü uygulanan kesit alanı, mm²

2.2.7.2.Eğilme Dayanımı

Harç 28 gün kürlendikten sonra, deney 4x4x16 cm prizma şeklindeki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. 28. günde harç numuneleri kür havuzundan çıkarılmış ve

etüvde 105 °C'de 24 saat kurutulmuştur. Yan yüzeylerinden biri destek silindirleri üzerinde ve uzunlamasına eksenine bunlara dik olacak şekilde prizma şeklindeki numune aparata yerleştirilmiştir. Yükleme silindiri kullanılarak, yük, numunenin mesnetler üzerinde durmayan yüzüne dikey olarak uygulanmıştır. Eğilme dayanımı, TS EN 1015-11 standardına uygun YKM-CM106 cihazda belirlenen aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 2.3).

$$\sigma_{\zeta} = \frac{3 * (F * l)}{2 * (b * h^2)} \quad (2.3)$$

Bu bağıntılarda kullanılan semboller,

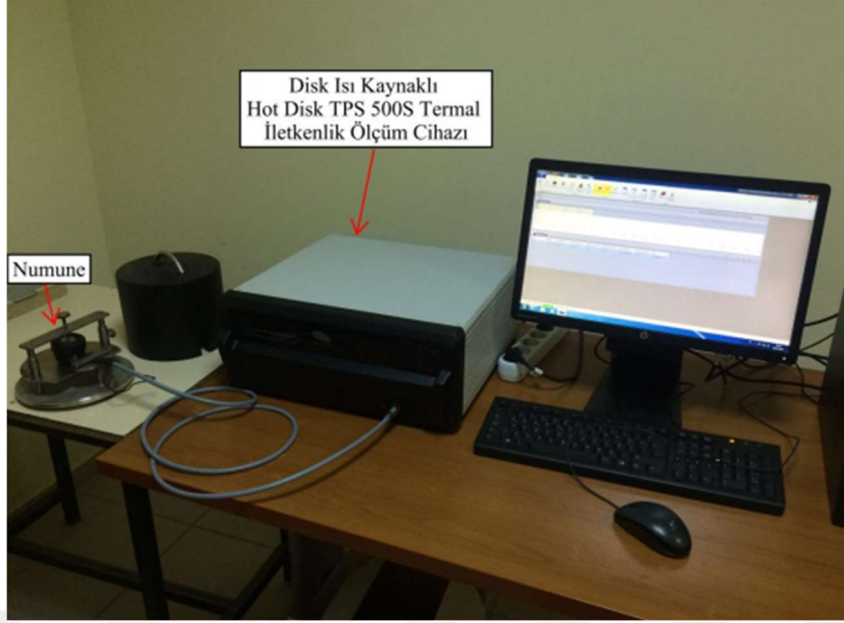
σ_{ζ} : Çekme gerilmesi, N/mm²

F : Uygulanan kuvvet, N

h, b, ℓ : Numunenin boyutları, mm

2.2.8. Termal analizler

Harçların termal performanslarını belirlenmesi önemli bir parametredir. Bununla birlikte yapılan literatür taraması, termal iletkenlik değerlerini hesaplamak için belirlenmiş bir prosedür olmadığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, kısa sürede ölçüm yapabilen geçici rejim yöntemlerinden biri, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde bulunan Hot Disk TPS 500 S Termal Özellik Analizörü kullanılmıştır. Disk ısı kaynağı yöntemini kullanarak ölçüm yapılmıştır. Bu cihaz esnek numune geometrisine sahiptir ve numuneler 60 saniyeden daha kısa sürede test edilir. Sıcaklığı ölçmek için sensörler kullanılır. Mekanik stabilite ve dayanıklılık sağlamak için, bu sensörler spiral bir konfigürasyonda nikel metalden yapılmıştır ve yalıtılmıştır. Bu, numunenin daha hassas bir şekilde ölçülmesini sağlar. Numuneler iki teknik kullanılarak ölçülür. İlk yöntemde, sensörü numune yüzeyinin iki eşit kısmı arasına sıkıştırmak için bir vida kullanılır. İkinci yöntemde, sensörü numune yüzeyi ile firmanın sağladığı yalıtılmış referans numune arasına sıkıştırmak için bir vida kullanılır. Bu çalışmada ilk yöntem uygulanmıştır. Ölçüm alınırken ise bilgisayar üzerinden kullanılan sensörün türü seçilmiş ve daha sonra ölçüm zamanı, numunenin sıcaklığı ve ısıtıcı gücü girilerek ölçüm yapılmıştır. Cihazın özellikleri aşağıda verilmiştir. Termal analizlerde kullanılan cihaz Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Termal İletkenlik Ölçüm Cihazı

Hazırlanan numunelerin termal performansını değerlendirmek için Şekil 2.7’de gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır. Yalıtımlı bir test odası ve bir hava giriş kanalı bu konfigürasyonu oluşturmaktadır. İç hacim içinde eşit bir hava akışı sağlamak için hava giriş kanalının borusu uzun bırakılmış ve ısı kaybını durdurmak için yalıtım kullanılmıştır. Isı yalıtımı için kullanılan malzemelerden biri olan poliüretan köpük, Adyabatik hacmi oluşturmak için kullanılmıştır. Giriş kanalına yerleştirilen bir elektrikli ısıtıcı hem sıcak hem de soğuk hava sağlamıştır.

Termal deneyler için numunelerin sıcaklığı T tipi termokupllar ile ölçülerek 30 kanallı Hioki LR8400-20 markalı dataloggerda 0,01°C hassasiyetle 10 ms ile 1 saat aralığında kayıt yapılmıştır. Testler 4 cm’lik küp numunelere uygulandı. Her örneklem grubu için 3 okuma yapılarak ortalama değerler hesaplandı. Termal analizler Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.

2.2.9. Mikroyapısal analizler

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikro ve nano boyutlu görüntüler elde etmek için bir numunenin yüzeyini odaklanmış bir elektron demeti ile tarar. Dedektörler ve manyetik lensler SEM’in çoğunluğunu oluşturur. Yoğunlaştırıcı elektromanyetik lensler tarafından toplanan elektronlar, objektif lens aracılığıyla yüksek gerilime hızlandırılır ve numunenin yüzeyine odaklanır. Numune yüzeyi bu konsantre elektron ışını kullanılarak

taranır ve görüntülenir. Elektron-örnek etkileşiminden kaynaklanan elektronların geri saçılması ve ayırt edici X-ışınları tarafından üretilen sinyallerin çeşitli dedektörler kullanılarak toplanması ve incelenmesi, SEM' de görüntü elde etmenin temelini oluşturur. SEM cihazı kullanarak malzemenin mikro ve nano ölçekteki yapılarının görüntü analizi yapılabilmektedir.

Harçların dayanım farklılıklarının arkasındaki mekanizmaları anlamaya yardımcı olmak için SEM analizi yapmak amacıyla kırık örneklerin her birinin dış kenarından örnekler alındı. SEM görüntüleri için, LEO-EVO 40 (Cambridge-İngiltere) cihazı kullanılmıştır. Numunelerin kaplama gerektirmemesi için düşük vakum koşullarında kullanılmıştır. EDX analizi için Bruker-125 eV (Berlin-Almanya) cihazı kullanılmıştır. Analizlerin yapıldığı İBTAM laboratuvarındaki SEM cihazı Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. SEM görüntüleme cihazı

Numuneyi oluşturan elementlerin tanımlanmasını sağlayan EDX ile birlikte BSE (geri saçılmış elektron) modu kullanıldı. SEM analizleri oda sıcaklığında yapıldı.

XRD analizi için Rigaku RINT-2000 X-ışını kırınım ölçer aletleri kullanıldı. Ayrıca bu sistemlere entegre bir Jade 6+ kristal analiz programı ve kütüphanesi bulunmaktadır. Analizlerin yapıldığı İBTAM laboratuvarındaki XRD cihazı Şekil 2.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. XRD cihazı

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

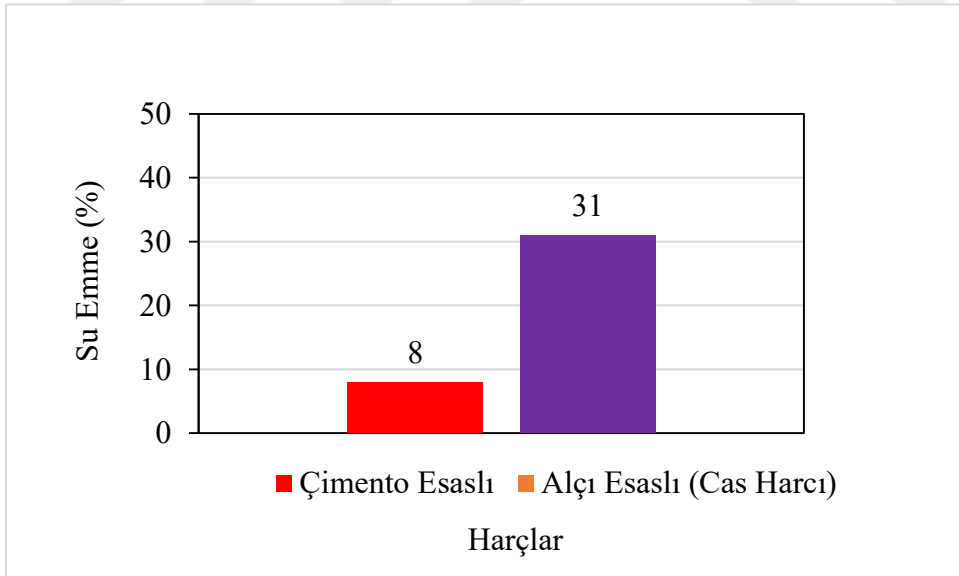
Bu bölüm tez konusuna ait çimento ve alçı esaslı harçların fiziksel, mekanik ve karakteristik özellikleri üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarını kapsamaktadır.

3.1. Su emme oranları

Aydın ve diğ. (2014) çalışmasında alçı esaslı harçların birim hacim ağırlığı düştükçe su emme miktarı arttığını rapor etmiştir. Rapora göre 1,078 gr/cm³ birim hacim ağırlığına sahip alçı esaslı harcın su emme miktarı %31,6'dır (Aydın vd., 2014).

Bilim (2011) çalışmasında çimento esaslı harçların 28 günlük kür sonundaki su emme oranı %8,42 olarak rapor etmiştir (Bilim, 2011).

Çimento esaslı ve alçı esaslı harç örneklerinde hesaplanan su emme deneyi sonuçları Şekil 4.14'te verilmiştir. Çimento esaslı harca ait 28 günlük su emme yüzdesi oranı %8 olarak hesaplanmıştır. Alçı esaslı harca ait emme yüzdesi oranı %31 olarak hesaplanmıştır. Alçı esaslı harcın su emme değerindeki artışın sebebi harç içerisinde boşluklardan dolayı olduğu tahmin edilmektedir. Harçların su emme oranları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Su emme oranları

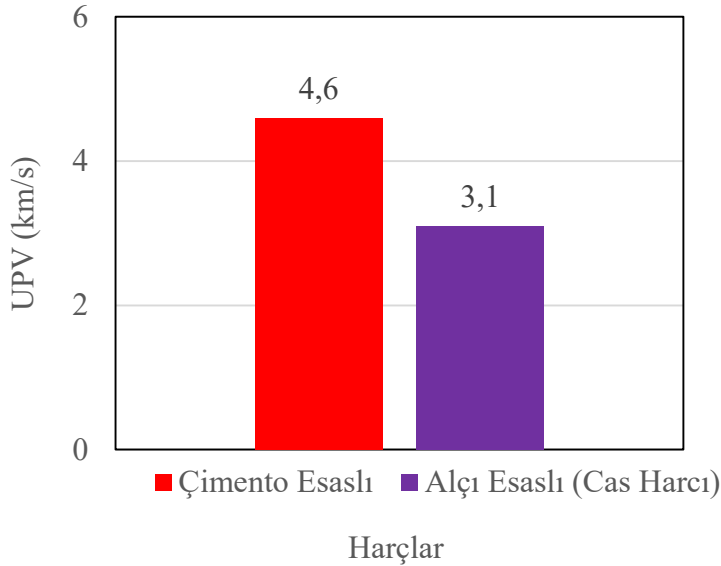
3.2. Ultrasonik darbe hızı deneyi (Ultrasonic Pulse Velocity- UPV)

Malzeme iç yapısındaki mikro çatlak ve boşluklar malzemenin ses iletim hızını yavaşlatır. Uluslararası atom enerjisi ajansı (IAEA), ultra ses geçiş hızları ile beton kalitesi arasındaki ilişkiyi Tablo 3.1’deki gibi göstermiştir (IAEA, 2002).

Tablo 3.1. Ultras ses geçiş hızları ile beton kalitesi arasındaki bağıntı

Boylamsal dalga geçiş hızı, km/s	Beton kalite sınıflandırılması
>4.5	Mükemmel
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Orta
2.0-3.0	Zayıf
<2.0	Çok kötü

Tablo 3.1’ye göre ses dalgası geçiş hızı arttıkça beton kalitesinin (dayanımı) de arttığıdır. Çimento esaslı harç ile alçı esaslı harcının ses iletim hızları karşılaştırıldığında çimento esaslı harç 4,6 km/saat alçı esaslı harç ise 3,1 km/saat olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar çimento esaslı harcın dayanım değerinin alçı esaslı harcın çok üzerinde olduğu göstermektedir. Harçların UPV geçiş hızları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Harçların Ultra ses geçiş hızı (UPV) karşılaştırması

Şekil 3.2.’e göre alçı esaslı harcın ses iletim hızının düşük olması çimento esaslı harca göre çatlak ve boşlukların daha fazla olduğunu göstermektedir. UPV analizi boşluk ve çatlakların daha çok olan alçı esaslı harcın çimento esaslı harca göre basınç dayanımının

düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç termal analizlerde elde edilen sonuçları desteklemektedir.

3.3.Mekanik Değerler

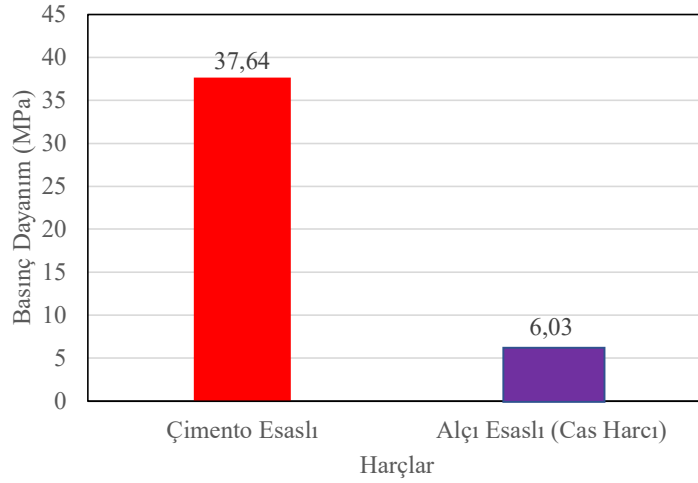
Yapı malzemelerinden beklenen en önemli performans malzemenin yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip olmasıdır. Harçların dayanımı bağlayıcı malzemenin oluşturduğu kimyasal bağlarla orantılı artmaktadır. Çimento esaslı harçlarda dayanım artıran çok kuvvetli bağ olan C-S-H bağı bulunmaktadır. Alçı esaslı harç olan Cas harcı zamana bağlı olarak artış gösteren alçı taşı (jips) ve karbonatlaşma (CaCO_3) sonucu oluşan bağıdır.

Gündüz ve diğ. (2023) çalışmasına göre, tüm boyutlardaki alçı harcı karışımları 168 saat (7 gün) sonra 10 MPa 'nin üzerinde basınç dayanımlarına ulaşabilirken, maksimum tane boyutu 500 μm 'nin üzerinde olan karışımlar 72 saat (3 gün) sonra 7,5 MPa 'lik bir dayanıma ulaşabilmektedir. Öte yandan, karışım bileşiminde 250-750 μm boyut aralığında alçıtaşı kullanılarak inşa edilen anhidrit harçları ile 21. günden sonra potansiyel olarak 20 MPa basınç dayanımı değerleri elde edilebilmektedir (Gündüz vd., 2023).

Temiz ve Olgar (2017) çalışmasında 4x4x16 cm boyutlarında hazırlanan prizma numuneler kullanılarak alçı ve çimento esaslı harçların eğilme dayanımları tespit edilmiştir. Bu amaçla, bir noktadan yüklemeli, Zwick/ Roell 2010 Üniversal Test aleti kullanılmıştır. Harç malzemelerinin eğilme dayanımları; alçı 1,193 MPa, çimento harcı 3,308 MPa olarak hesaplanmıştır (Temiz ve Olgar, 2017). Verilen sonuçlar üç numunenin eğilme dayanımının ortalamasıdır. Bilim (2011) çimento esaslı harçların 28 gün sonrası eğilme dayanım değeri olarak 7,15 MPa rapor etmiştir (Bilim, 2011). Beklendiği gibi çimento harcının eğilme dayanımı, alçı sıva malzemesinin dayanımından yüksek çıkmıştır.

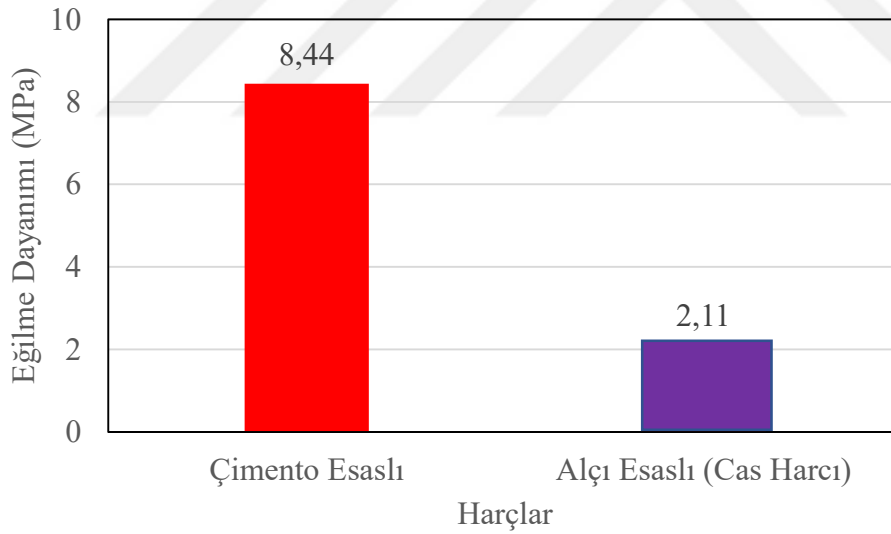
Deneysel çalışmada üç noktalı eğilme testi uygulanarak yüklenerek alçı esaslı harç (Cas harcı) ile çimento esaslı harcın eğilme dayanım değerleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar alçı esaslı yapıların tarihi yapıların onarımı veya güçlendirilmesinde yine alçı esaslı harçların kullanılması daha uygun olduğunu göstermiştir. Harçların basınç dayanımı Şekil 3.3'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Harçların basınç dayanım değerleri

Çimento esaslı ve alçı esaslı harçların eğilme dayanım değerleri sırası ile 8,44 MPa ve 2,11 MPa olarak ölçülmüştür. Alçı esaslı harcın eğilme dayanımının düşük olmasından kaynaklı olarak alçı esaslı harç açıklıkları kemer ve tonoz olarak aşılması uygun olacaktır. Harçların eğilme dayanımı Şekil 3.4’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Harçların eğilme dayanım değerleri

Harçların ve Cas evinde kullanılan yığma duvar taşı kireçtaşının mekanik analizlerinin sonucu ve harç dayanımı/ dolgu dayanımı karşılaştırmalı olarak Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik değerlerin karşılaştırılması

Malzeme	Basınç Dayanımı	Eğilme Dayanımı	f_j / f_m^*
	MPa		
Kireçtaşı (dolgu kayacı)	29,33	-	-
Çimento Esaslı harç	37,64	8,44	1.28
Alçı Esaslı harç	6,03	2,11	0.21
$f_j / f_m^* = \text{harç dayanımı} / \text{kayaç dayanımı}$			

Tablo 3.2’ e göre Cas harcı 200 yıllık olması alçı taşı ve karbonatlaşmanın etkisi bir miktar dayanım artırsa da (6,03 MPa) çimento esaslı harçların dayanımının (37,64 MPa) çok altında kalmıştır. Bu durumda çimento harcının mekanik analizlerinin alçı esaslı harca göre çok yüksek olduğunu açıkça göstermektedir. Ancak yığma yapı harçları taşıyıcı kayaçların mukavemeti ile uyumlu olması gerekmektedir. Kireç taşı yığma duvarların kireç veya alçı esaslı harçlar ile bağlanması harç dayanımı/ kayaç dayanımı $f_j / f_m < 0.4$ olduğu için deprem anında harçlarda ezilmeler ve kireç taşı blokların dağılması durumu yaşanabilir. Aynı taş çimento harcı ile bağlandığında oran > 0.4 olduğu için harçta ve kayaçta ezilme ve kesilmeler yaşanabilir.

Tablo 3.2’ e göre yığma yapılarda sıklıkla kullanılan kireçtaşının basınç dayanım değerinin 29,33 MPa olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda harçların dolgu duvar taşının dayanım değerine oranlandığında çimento esaslı harcın 1,28 kat daha yüksek dayanıma sahip olduğu, Alçı esaslı harcın ise 0,21 katı kadar olduğu görülmektedir. Bu durumda onarım sırasında eksenel yük etkisi altında çimento bazlı harç orijinal alçı esaslı harcın dayanımının çok üstünde olduğu anlaşılmaktadır. Kesme kuvveti etkisinde ise çimento esaslı harç kireçtaşından daha yüksek dayanıma sahip olmasından ötürü kireç taşları üzerinde kesme çatlakları oluşturabileceği anlaşılmaktadır. Alçı bazlı harç ise kireç taşından çok daha düşük bir dayanıma sahip olduğu bu durumda kesme kuvveti altında kireçtaşında değil alçı harcında çatlakların oluşabileceği anlaşılmaktadır.

3.1. Isıl İletkenlik

Uluslararası geçerli standartlara göre bir malzemenin yalıtım malzemesi olarak kabul edilmesi için ısıl iletim katsayısının 0,065 W/mK değerinden küçük olması gerekir (Temiz ve Olgar, 2017). Yapı malzemelerinden donatılı beton 2,5 W/mK iken yalıtım özelliği taşıyan Bims bloklar 0,18-0,21 W/mK ısıl iletkenlik katsayına sahiptir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları (TS 825, 2009)

Yapı malzemesi	Isıl iletkenliği hesap değerleri (W/m.K)
Doğal taşlar	0,55-3,5
Yapay taş	1,3
Donatılı beton	2,5
Bims agregalı beton	0,12
Gaz beton levha	0,2
Tuğla duvar	0,17-0,81
Gaz beton	0,11-0,29
Bims bloklar	0,18-0,21

Tez çalışmasına konu olan alçı esaslı Cas harcı ile çimento esaslı harcın termal analizleri Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4.Termal değerler

Harçlar	Isı iletkenlik W/mK	Termal yayılım mm ² /s	Öz ısı MJ/m ³ K
Çimento Esaslı	1,612	1,033	1,564
Alçı Esaslı	0,700	0,512	1,398

Tablo 3.4’ye göre çimento esaslı harç ile alçı esaslı harcın ısı iletimleri karşılaştırıldığında çimento esaslı harcı ısı iletkenliği 1,612 W/mK, alçı esaslı harcın 0,700 W/mK olarak ölçölmüştür. Çimento esaslı harcı termal yayılımı ortalama 1,033 mm²/s, alçı esaslı harcın 0,512 mm²/s olarak ölçölmüştür. Öz ısı ortalamaları çimento esaslı harç 1,564 MJ/m³K, alçı esaslı harç 1,398 MJ/m³K olarak ölçölmüştür. Çimento esaslı harcın ısı iletkenliği geleneksel alçı esaslı harcın çok üzerinde olması termal koruma alçı esaslı Cas harcının daha etkili olduğunu göstermektedir. Termal analizlerden elde edilen sonuçlar alçı esaslı harçların boşluk yapısının çimento esaslı harca göre daha fazla olduğunu göstermiştir.

3.5.Mikro analizler

3.5.1. SEM-EDX analizleri

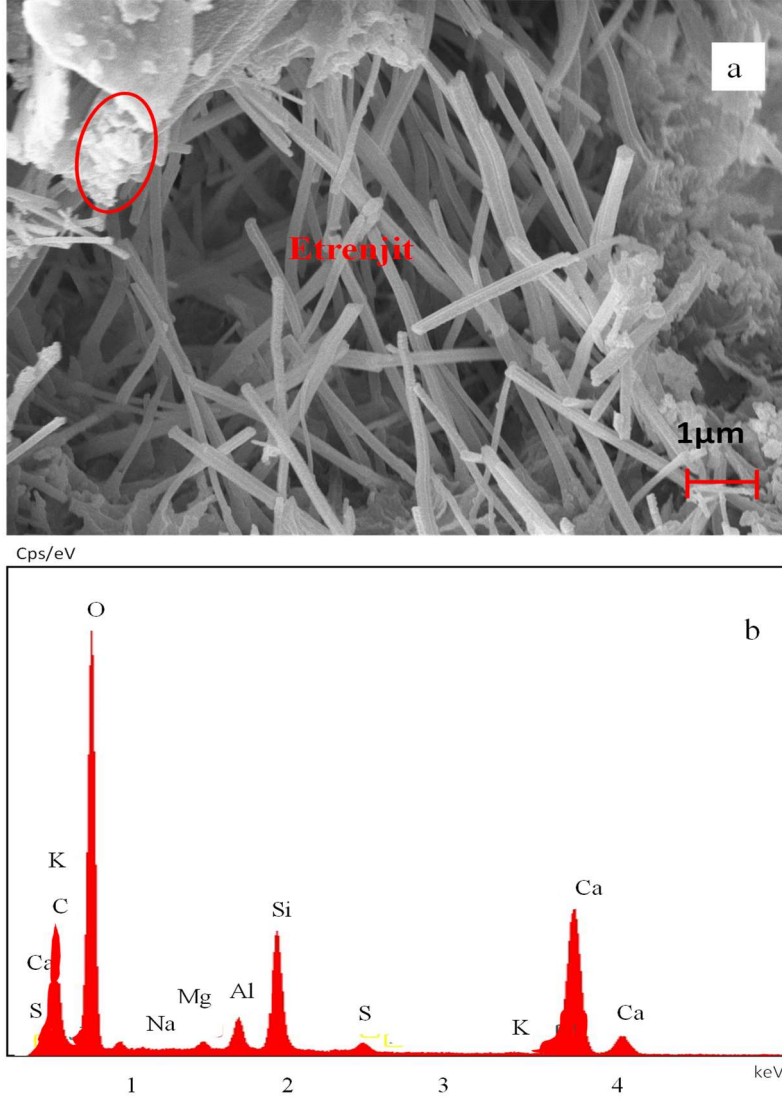
Taramalı elektron mikroskobu kullanılarak eseri görüntüleme imkânı vardır. Tarihi harçlar, kumaşlar, sikkeler, seramikler, kâğıt, taş, metal ve ilgili öğelerin tümü SEM-EDX ile element analizlerine tabi tutulabilir. Örnekler üzerinde nanogram düzeyinde analiz yapma şansı sunar. Özellikle tarihi yapılara ait tarihi eşyalar, boyalar, harçlar ve sıvalar SEM-EDX ile elde edilen veriler kullanılarak analiz edilmektedir. Element analizi kullanılarak metal, kâğıt, tekstil, seramik, cam vb. malzemelerden yapılmış kültürel miras öğelerinin kimyasal bileşimleri ve zaman içinde geçirdikleri değişimler tespit ediliyor. Bu şekilde eserin hangi zaman dilimine ait olabileceği aydınlatılır. Konservasyon ve restorasyon çalışmalarında SEM-EDX'ten elde edilen veriler kullanılır.

Deneysel çalışmada SEM analizlerinden sonra EDX analizleri yapıldı. Analizlerde SEM'de görülen ürünlerin içeriklerini destekleyen elementler olduğunu göstermiştir. Çimento esaslı harç EDX analizinde portlandit (CH), kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) bağı, etrenjit (C-A-S-H) ürünleri için gerekli olan kalsiyum (Ca), silisyum (Si), alüminyum (Al), kükürt (S) gibi elementler varlığını göstermektedir (Şekil 3.5).

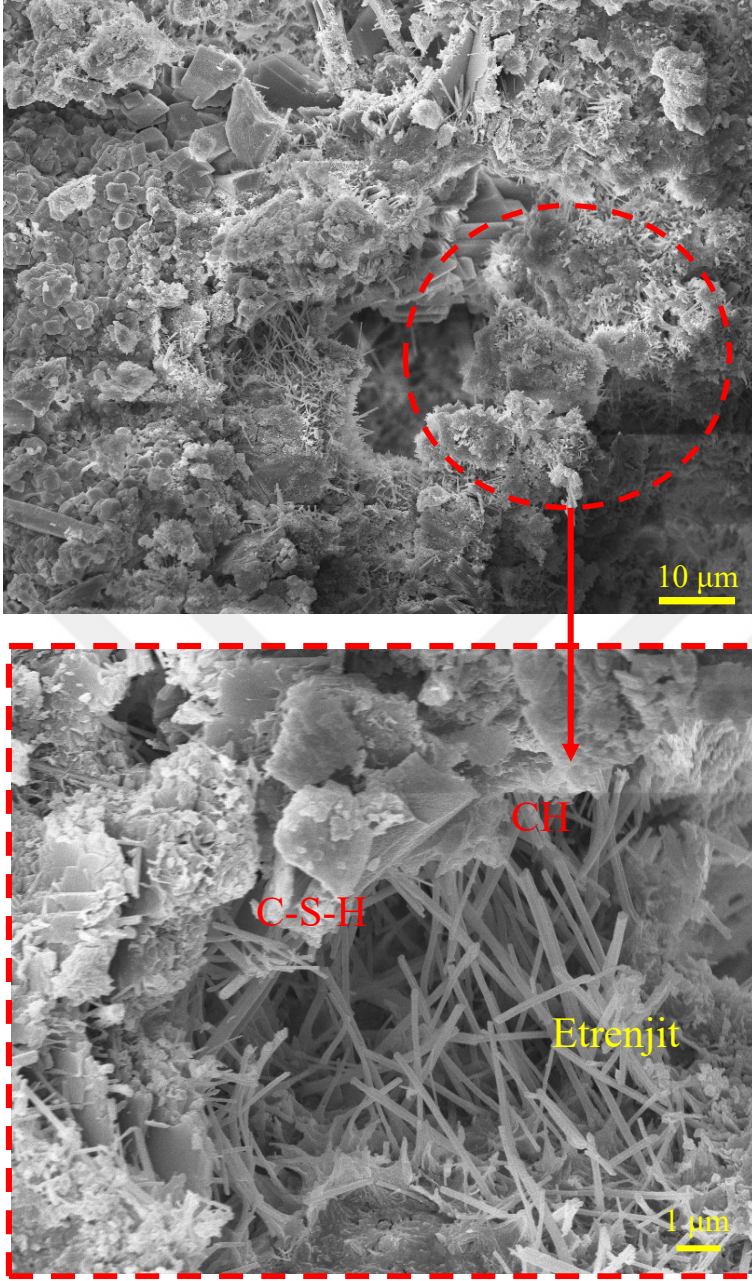
Çimento esaslı harçların SEM analizlerinde çimentonun su ile birleşmesi sonucu oluşan hidrasyon ürünleri portlandit, etrenjit ve C-S-H bağı gibi beklenen ürünler gözlemlenmiştir (Şekil 3.6). Portlandit (CH) çokgen kristal şeklindedir. Hidrasyon sonrası oluşan ürünlerin hacmen %25'ini oluşturmaktadır. Etrenjit iğnemsî yapıya benzemekte olup hacimsel genleşme oluşturan bir üründür. Etrenjitin dayanımına bir katkısı yoktur. C-S-H bağı ağımsı bir yapıya sahiptir ve çimento esaslı harçlarda dayanımı artıran ürün olarak bilinmektedir (Erdoğan, 2002).

EDX analizleri SEM de görülen ürünlerin içeriklerini destekleyen elementler olduğunu göstermiştir. Çimento esaslı harç EDX analizinde Portlandit (CH), kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) bağı, etrenjit (C-A-S-H) ürünleri için gerekli olan kalsiyum (Ca), silisyum (Si), alüminyum (Al) ile birlikte sodyum (Na), magnezyum (Mg) ve kükürt (S) gibi elementler varlığını göstermektedir. Çimento esaslı harçta sodyum (Na) ve kükürt (S) varlığı sülfat tuzlarına işaretir. Sodyum sülfatın mineral fazları, sırasıyla mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve thenardit (Na_2SO_4) olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanmıştır (Lopez-Arce et al., 2009). Sol üstte kırmızı halka içerisine alınan beyaz kristalin tuz olduğu düşünülmektedir.

EDX analizlerinde Thenardite bir sodyum sülfat (Na_2SO_4) minerali olabileceği anlaşılmaktadır. Çimento esaslı harcın SEM-EDX analizi Şekil 3.5. ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Çimento esaslı harcın a) SEM b) EDX analizi

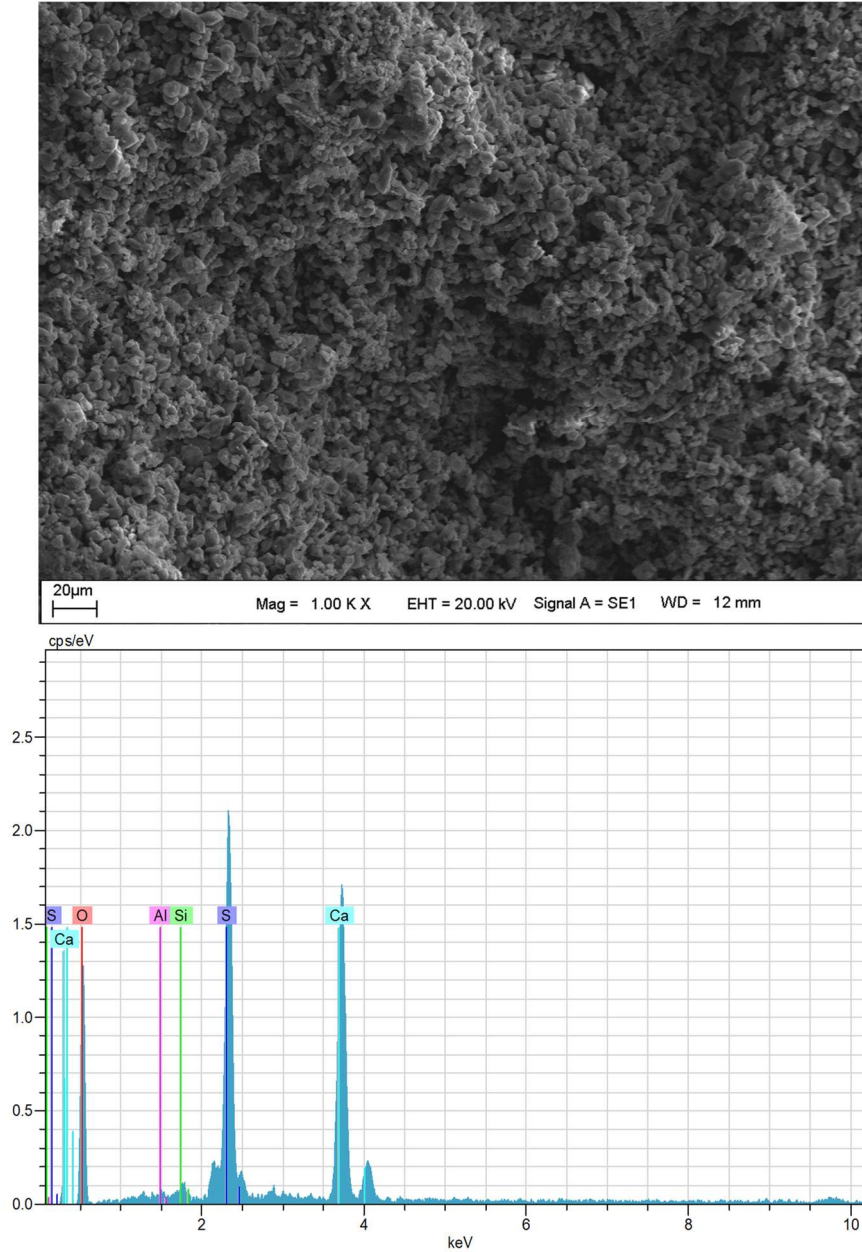


Şekil 3.6. Çimento esaslı harçların SEM görüntüsü

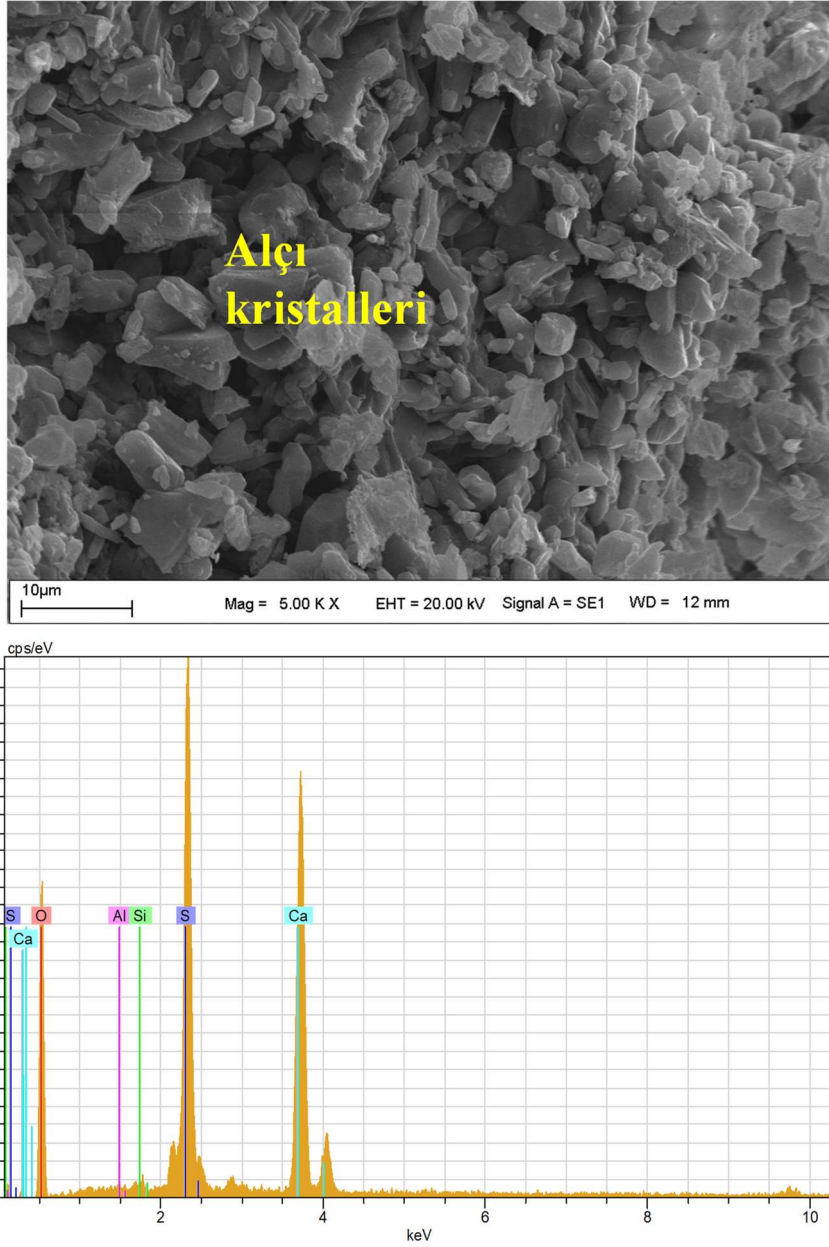
Şekil 3.6.'da göre harcı üzerinde yapılan EDX analizi SEM de görülen ürünlerin içeriklerini destekleyen elementler olduğunu göstermiştir.

Alçı esaslı harçta yüksek oranda karbonatlaşmaya bağlı kireçtaşı (CaCO_3) ve kireç (CaO) için gerekli olan kalsiyum (Ca), ayrıca içerisinde alçıtaşının olduğuna işaret eden kükürt (S) elementlerinin varlığını göstermektedir (Şekil 3.7). Alçı esaslı harçlarda düşük oranda bulunan silisyum (Si) içeriği harç içerisine karışan silis içerikli agregalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Alçı esaslı harçların düşük örneklerde alçı kristallerinin veya matris yapısının iyi gelişemediği dayanımı yüksek örneklerde ise bu gelişimin daha kaliteli olduğunu göstermektedir (Koyutürk, 2022). Deneysel çalışmada kullanılan alçı esaslı harcında alçı kristallerinin oldukça belirgin ve iyi geliştiğini gözlemlemek mümkündür. Bu tarihi yapıya ait alçı esaslı harcın dayanımının diğer alçı harçlarına göre yüksek olduğunu göstermektedir. Alçı esaslı harcın SEM ve EDX analizleri Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.

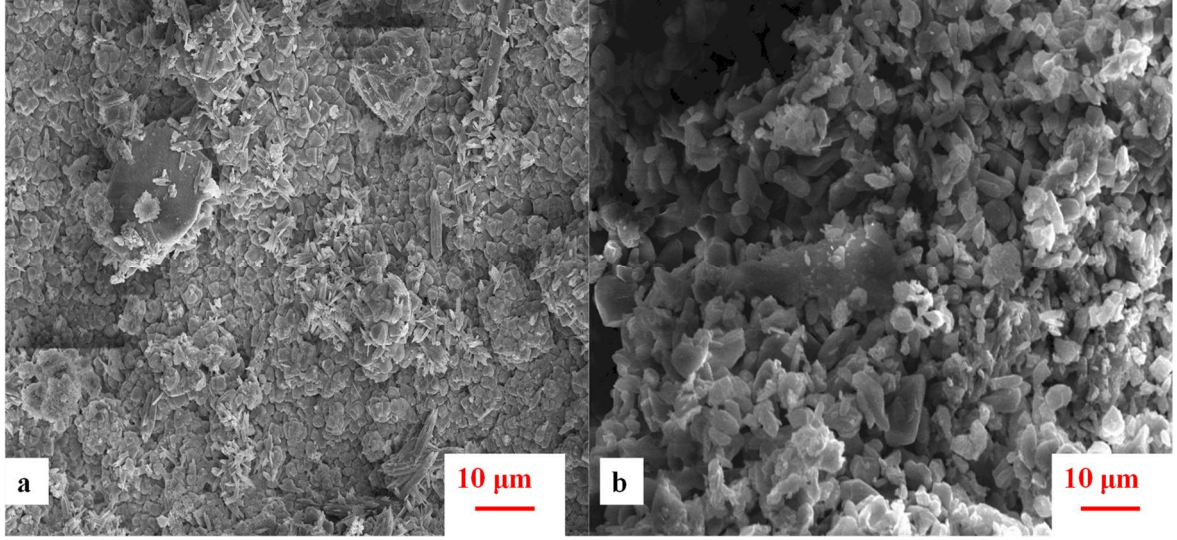


Şekil 3.7. Alçı esaslı harcın SEM-EDX analizi



Şekil 3.8. Alçı esaslı harcın SEM-EDX analizi

Alçı esaslı ve çimento esaslı harçların SEM görüntüsü Şekil 3.9’da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Buna göre alçı esaslı harçların boşluklarının çimento esaslı harca göre daha fazla olduğu net olarak görülmektedir. Bu karşılaştırma önceki deneylerde elde edilen bulguların tamamını destekler niteliktedir.



Şekil 3.9. a) Çimento esaslı harcın SEM görüntüsü b) Alçı esaslı harcın SEM görüntüsü

3.5.2 XRD faz analizi

Bir malzemenin kristalografik özelliklerini ve içerdiği fazları belirlemek için kullanılan tahribatsız tekniklerden biri X-ışını kırınımıdır. Toz numuneler X-ışını kırınımına tabi tutulduğunda, tercih yönelimi ve tane boyutu gibi özellikler kristal yapı ile birlikte tanımlanabilir.

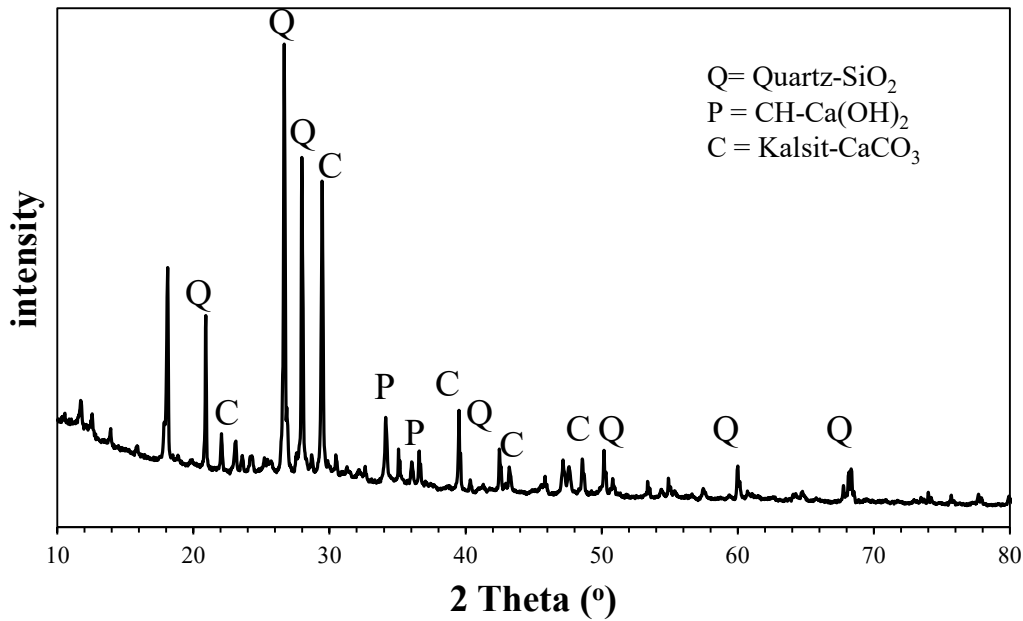
XRD faz analizi geleneksel çimento esaslı harçlarda dayanım oluşturan, Quartz (SiO_2), Portlandit (CH) gibi ürünlerin yanı sıra etrenjit, kalsit ve alçıtaşı gibi ürünlerin oluştuğunu desteklemektedir. Çimento’da alçı bulunduğu için, oluşan sülfatlı yapılar sonucu etrenjit ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$) oluştuğu görülebilmektedir. Hammaddeler içerisinde Al_2O_3 ve bir miktar Fe_2O_3 barındırmasına rağmen bu ikisine ait herhangi bir pike rastlanmamıştır. Fe_2O_3 miktarının çok az olması bazı başka pikler tarafından gölgeleniyor olabileceğini düşündürmektedir. Al_2O_3 ’ün ise tepkimelere girerek anortit oluşturma veya C-A-S-H haline gelmesi muhtemeldir. XRD desenlerinde C-A-S-H pikleri gösterilmemiştir. Literatürde C-A-S-H pikleri ile C-S-H piklerinin aynı açıda oluşabileceği belirtilmiştir (Koyutürk, 2002; Kapeluszna vd., 2017).

Trikalsiyum silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, C_3S) Portland çimentolarında önemli miktarda (%60) bulunmaktadır (Decorated Renders, 1999). Çimentoyu oluşturan birincil mineraller trikalsiyum silikat (C_3S), dikalsiyum silikat (C_2S), trikalsiyum alüminat (C_3A) ve alüminoferrit (C_4AF)’dir. Anhidrit çimentosunun yaklaşık %75’i C_2S ve C_3S ’den oluşur. Kalsiyum hidroksit (CH , portlandit) ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), çimentonun su ile reaksiyona girmesinin veya hidrasyonun ürünleridir. C_3S , C_2S ’den daha hızlı reaksiyona

girdiğinden, daha fazla miktarda CH açığa çıkarır ve erken mekanik dayanım gelişimine daha fazla katkıda bulunur. Jel halinde amorf yapıdaki C-S-H oluşumları, XRD analizlerinde tespit edilememektedir (Yöney ve Ersen, 2010). Portland çimentosu harcı veya betonun bağlayıcısının %60-70'i C-S-H, %25'i CH, %10'a kadar monosülfat hidrat (AFm) ve eser miktarda hidrogarnet, zamanla olgunlaşmış oluşturur (Pecchioni vd., 2005). Buna benzer şekilde, hidrasyon hidrolik kireçteki C_2S 'nin C-S-H ve CH'ye dönüşmesine neden olur. Havadaki karbondioksit, XRD desenlerinde görülebilen kristal yapıda CH'yi kalsiyum karbonata dönüştürür (Yöney ve Ersen, 2010).

Bu ürünler çimento harcının dayanımı alçı harcına oranla çok daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Çimento silika bileşenler C_3S ve C_2S , dolgu malzemesi olan Portlandit ($Ca(OH)_2$: CH) ve kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) oluşturarak çimento harcında yüksek dayanım kazanmasını sağlamaktadır. Ayrıca çimento harçlarında serbest gezen CH ilave silika içeren uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıları (endüstriyel atık malzemeler) katkı malzemeler ile dayanımı artırmak mümkündür (Karaşin ve Doğruyol, 2014). Çimento harcın XRD analizinde çeşitliliği Cas harcına göre daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Çimento esaslı harca ait XRD faz analizi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

XRD faz analizi

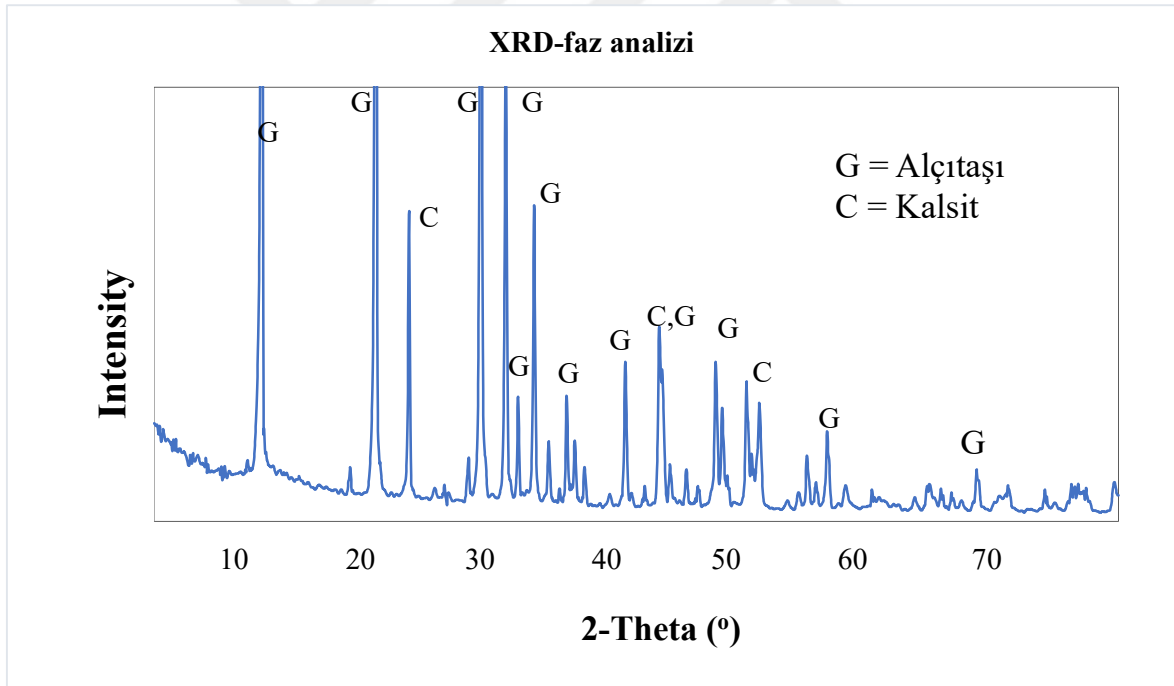


Şekil 3.10. Çimento esaslı harcın XRD analizi

Şekil 3.10'a göre $2\theta = 18,05^\circ, 34,11^\circ, 36,49^\circ, 47,14^\circ$ Portlandit - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $2\theta = 20,79^\circ, 18,05^\circ, 26,72^\circ, 36,61^\circ, 50,22^\circ, 60,11^\circ, 68,26^\circ$ daekristal yapıda Quartz (SiO_2) pikleri, $2\theta = 23,00^\circ, 29,45^\circ, 39,40^\circ, 43,12^\circ, 48,59^\circ$ de karbonatlaşmaya bağlı Kalsit (CaCO_3) piki yer almaktadır.

Alçı taşlarının farklı boyutlarının öğütülerek kristal yapısındaki değişimleri incelemek için XRD analizi yapılan çalışmada, öğütülmemiş jipste $11,69^\circ, 20,78^\circ, 23,45^\circ$ ve $29,16^\circ$ 2θ kırılma açılarında yer alan ana piklerin, aşırı öğütülmüş jips örneklerinde de aynı açılarda yer aldığı gözlenmiştir (Şener ve Erdemoğlu, 2014).

XRD faz analizi alçı esaslı harçların dayanım oluşturan alçı taşının ve kalsit (CaCO_3) zirvelerinin yoğun bir şekilde olduğunu göstermiştir. Bu Cas harcının yüksek oranda alçı ve bir miktar kireçten elde edildiğini göstermektedir. Alçı bazlı harçlar dayanım süreci hızlı ancak suya karşı dayanımı düşük olduğu bilinmektedir. Alçı esaslı harca ait XRD faz analizi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Alçı esaslı harcın XRD analizi

Şekil 3.11'e göre $2\theta = 11,6^\circ, 20,72^\circ, 23,42^\circ, 29,12^\circ, 31,06^\circ, 33,40^\circ, 40,56^\circ, 43,64^\circ, 47,88^\circ, 56,82^\circ, 68,88^\circ$ açılarında güçlü alçıtaşı pikleri ve $2\theta = 43,40^\circ$ ve $50,34^\circ$ açılarında karbonatlaşmaya bağlı kalsit pikleri yer almaktadır. Alçı esaslı Cas harcı karbonatlaşma (Kalsit) piklerinin de yer alması harç içerisinde yer alan kireçtaşı agregalarına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Alçı ve çimento bazlı harçların XRD analizi karşılaştırıldığında dayanım süreci alçı harcın alçılaşıma ve bir miktar karbonatlaşmaya bağlı olduğu, çimento bazlı harcın ise kalsiyum-silikat-hidrat esaslı olduğunu söyleyebiliriz. Bu durum çimento bazlı harcın kısa sürede ve yüksek dayanım kazanmasına imkân vermektedir. Ancak çimento bazlı harcın XRD analizinde SEM ve EDS analizinde yer aldığı düşünülen Therdanite gibi zararlı tuza rastlanmamıştır.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapı malzemelerinden beklenen en önemli performans malzemenin yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip olmasıdır. Harçların dayanımı bağlayıcı malzemenin oluşturduğu kimyasal bağlarla orantılı artmaktadır. Çimento esaslı harçlarda dayanım artıran çok kuvvetli bağ olan C-S-H bağı bulunmaktadır. Alçı esaslı harç olan Cas harcı zamana bağlı olarak artış gösteren alçılaş taşı (jips) ve karbonatlaşma (CaCO_3) sonucu oluşan bağıdır. Deneysel çalışmada kullanılan Cas harcı 200 yıllık olması alçı taşı ve karbonatlaşmanın etkisi bir miktar dayanım artırsa da (6.03 MPa) çimento esaslı harçların dayanımının (37.64 MPa) çok altında kalmıştır. Eğilme dayanım değerleri sırası ile 8,44 MPa ve 2,11 MPa olarak ölçülmüştür. Alçı esaslı harcın eğilme dayanımının düşük olmasından kaynaklı olarak alçı esaslı harç açıklıkları kemer ve tonoz olarak aşılması uygun olacaktır.

Kesme kuvveti etkisinde ise çimento esaslı harç kireçtaşından daha yüksek dayanıma sahip olmasından ötürü kireç taşları üzerinde diyagonal kesme çatlakları oluşturabileceği anlaşılmaktadır. Alçı bazlı harç ise kireç taşından çok daha düşük bir dayanıma sahip olduğu bu durumda kesme kuvveti altında kireçtaşında değil alçı harcında zigzag çatlakların oluşabileceği anlaşılmaktadır. Bu durumda onarım ve restorasyon sürecinde çimento esaslı harç çok kuvvetli olacakken alçı esaslı harçlar zayıf kalabilir. Bu yüzden onarım harcının alçı ve çimento karışımı bir harç olarak kullanılması uygun olabilir.

Harçların mekanik analizindeki sonuçları ultrases geçiş hızı (UPV) ile çimento esaslı harç ile alçı esaslı harcın ses iletim hızları karşılaştırıldığında çimento esaslı harç 4,6 km/s alçı esaslı harç ise 3,1 km/s olarak ölçülmüştür. Bu fark alçı esaslı harcın daha fazla çatlak ve boşluklardan oluştuğunu göstermektedir. UPV analizindeki sonuçlar mekanik analizlerde çıkan sonuçları destekler niteliktedir.

Çimento esaslı harca ait 28 günlük su emme yüzdesi oranı %8 olarak hesaplanmıştır. Alçı esaslı harca ait emme yüzdesi oranı %31 olarak hesaplanmıştır. Alçı esaslı harcın su emme değerindeki artışın sebebi harç içerisinde boşluklardan dolayı olduğu tahmin edilmektedir. Bu farklılık çimento esaslı harcın eksenel basınç değeri ve ultrases analizin daha yüksek değere sahip sonucunu destekler niteliktedir.

Çimento esaslı harç ile alçı esaslı harcın ısı iletimleri karşılaştırıldığında çimento esaslı harcın ısı iletkenliği 1,612 W/mK, alçı esaslı harcın 0,700 W/mK olarak ölçülmüştür.

Çimento esaslı harcı termal yayılımı ortalama $1,033 \text{ mm}^2/\text{s}$, alçı esaslı harcın $0,512 \text{ mm}^2/\text{s}$ olarak ölçülmüştür. Öz ısı ortalamaları çimento esaslı harç $1,564 \text{ MJ}/\text{m}^3\text{K}$, alçı esaslı harçta $1,398 \text{ MJ}/\text{m}^3\text{K}$ olarak ölçülmüştür. Bu değerler UPV analizinde çatlak ve boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca çimento esaslı harçların yüksek ısı iletkenliğinin, olası ısınma-soğuma nedeniyle harçla doldurulmuş duvara zarar verebileceği söylenebilir.

SEM-EDS analizleri incelendiğinde çimento esaslı harçlarda güçlü dayanım ürünü olan kalsiyum-silikat-hidrat C-S-H bağı görülürken, alçı esaslı harçlarda Jips ve Kalsit oluşumları dikkat çekmektedir. Çimento bazlı harçların SEM görüntülerinde zararlı tuzlar olabileceği bu durumun tarihi yapıların restorasyonunda orijinal harç ve kayaca zarar verebileceği düşünülmektedir.

XRD analizleri incelendiğinde çimento esaslı harçta çok çeşit ürünler varlığı dikkat çekicidir. XRD faz analizi geleneksel çimento esaslı harçlarda dayanım oluşturan, Quartz (SiO_2), dolgu olarak Portlandit (CH) gibi ürünleri gözlenmiştir. Alçı esaslı harçlarda ürün çeşidi çok zengin değildir. Dayanıma etki yaratan alçı taşı (jipsleşme) ve kalsit pikleri yoğun olarak gözlenmiştir. SiO_2 zirvesi gözlemlenmemiştir. SiO_2 olmaması alçı esaslı harçta agrega olarak alçı taşı ve kireçtaşı kullanıldığını kil veya volkanik bir kayac kullanılmadığını göstermektedir.

Çimento esaslı harçlar, kolay hazırlanması ve gösterdiği yüksek erken dayanımı ile istenilen niteliklere uygun görünmesine rağmen içeriğinde kalsiyum silikat ve alüminat olması, alçı taşı ve bazik tuzları içermesi nedeni ile tarihi yapıların onarım ve güçlendirmesinde sorunlara neden olmaktadır. Söz konusu tuzlar tarihi duvarlarda; taşlarda yüzey erozyonlarına, harçlarda ise ayrışmaya yol açan tehlikeli tuzlardır. Bu tuzlar, aynı zamanda tarihi duvarlardaki başka tuzlarla da tepkimeye girerek yeni ve daha kompleks tuzları da oluşturabilmektedir. Bundan dolayı tarihi yapıların onarım ve güçlendirmesinde orijinal harca ait bağlayıcı malzemenin kullanılması, harcı oluşturan agregaların gradasyonunda aslına uygun karışımda olması yapının aslına uygun olarak onarım/güçlendirilmesinde fayda sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akman, M. S., Güner, A., Aksoy, I. H. (1986). The history and properties of khorasan mortar and concrete. *Turkish and Islamic Science and Technology in the 16th Century, ITU Research Centre of History of Science and Technology 1*, 101–112.
- Akman, M. S., 2003, “Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi”, TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 426, s. 30-36, İstanbul.
- Akbulut E. D., 2006, Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Arandigoyen, M., ve Alvarez, J. I. (2007). Pore structure and mechanical properties of cement-lime mortars. *Cement and Concrete Research*, 37(5), 767–775. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.023>
- Arslan, M. Kırğız, M.S. 2006. “Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimentoda mineralojik katkı olarak kullanılması”, TÜBİTAK Projesi, Proje No MAG-HD15 (105M086), Ankara.
- ASTM C597-22. Beton İçinden Geçen Ultrasonik Darbe Hızı İçin Standart Test Yöntemi
- ASTM C618-22. (2010). *ASTM C618-22 Methods of testing cement—Part 6: determination of fineness*.
- Aydın, A., Evcin, A., Başpınar, S. (2016). Kâğıt Fabrikası Atığının Alçı Panellerin Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(2), 19-26.
- Baronio, G., Binda, L., Lombardini, N. (1997). The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks. *Constr Build Mater*, 11(1), 33–40.
- Baydaş, Ö.G. (2002). Tillo’daki mimari eserler, TC Kültür Bakanlığı Yayınları, Ankara. ISBN 975-17-2894-0
- Bayülke N. (2018). Yığma yapılar taş ve tuğla, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi.
- Bilim, C. (2011). Çimento harçlarında ikame malzemesi olarak zeolit ve silis dumani kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(4), 339-345.

- Binici, H., Arocena, J., Kapur, S., Aksogan, O., & Kaplan, H. (2010). Investigation of the physico-chemical and microscopic properties of Ottoman mortars from Erzurum (Turkey). *Construction and Building Materials*, 24(10), 1995–2002. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.013>
- Böke, H., Akkurt, S. İpekoğlu, B., (2004), “Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri”, *Yapı Dergisi*, sayı 269, s. 90-94.
- Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., & Uğurlu, E. (2006). Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement and Concrete Research*, 36(6), 1115–1122. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.03.011>
- BS EN 196-6. (2018). *BS EN 196-6:2018 Methods of testing cement is classified in these ICS categories: 91.100.10 Cement. Gypsum. Lime. Mortar.*
- Callebaut, K. , E. J. , V. B. K. , & V. W. (2001). Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael’s Church (Leuven, Belgium): Natural hydraulic lime or cement?. *Cement and Concrete Research*, 31(3), 397–403.
- Callebaut, K., Elsen, J., Van Balen, K., & Viaene, W. (2001). *Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael’s Church (Leuven, Belgium) Natural hydraulic lime or cement?*
- Colleparidi, M. (1990). Degradation and restoration of masonry walls of historical buildings. In *Materials and Structures/Matériaux et Constructions* (Vol. 23).
- De Buergo Ballester, M. A. ve González Limón, T. (1994). Restauración de edificios monumentales. *Monografías Del Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente, Spain.*
- Doğruyol, M., Ayhan, E., Karaşin A.(2022). *1st International Conference on Scientific and Academic Research Siirtin Taş Yapılı Cas Evlerinin Malzeme ve Yapısal Özellikleri.* <https://www.icsarconf.com/>
- Erdoğan, Y. E. (2002). *Materials of Construction*. M.E.T.U. Press.
- Eriç, M., 2010, *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, 3. Basım, Literatür Yayınları, 02, İstanbul.
- Güleç, A., (1992). Bazı Tarihi Anıt Harç ve Sıvalarının İncelenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Güleç A, T. T. (1997). Physico-chemical and petrographical studies of old mortars and plasters of Anatolia. *Cem Concr Res* , 227–234.
- Gündüz, L., Onur KALKAN, Ş., Kâtip Çelebi Üniversitesi, İ., Mühendisliği Bölümü, İ., Yazar, S., & Author, C. (2023). Tane Boyutu ve Dehidratasyon Sıcaklığının Anhidrit Alçı Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Çalışma A Study On The Effect Of Grain Size And Dehydration Temperature On Anhydrite Gypsum Properties. In *KSU J Eng Sci* (Vol. 26, Issue 2).

- Hejazi, M., Hejazi, B., Hejazi, S. (2015). Evolution of Persian traditional architecture through the history. *Journal of Architecture and Urbanism*, 39(3), 188–207. <https://doi.org/10.3846/20297955.2015.1088415>
- Hendry, E. A. W. (2001). Masonry walls: materials and construction. In *Construction and Building Materials* (Vol. 15).
- IAEA. International Atomic Energy Agency, Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure., Vienna, Austria, 2002.
- Kapeluszna, E., Kotwica, L., Rozycka, A., Golek, L., (2017). Incorporation of Al in C-A-S-H gels with various Ca/Si and Al/Si ratio: Microstructural and structural characteristics with DTA/TG, XRD, FTIR and TEM analysis, *Con. Build. Mat.*, 155, 643 – 653,
- Karaşın, A., Doğruyol, M. (2014). An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
- Karasin, A., Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., Doğruyol, M., Karasin, I. B., & Czarnecki, S. (2022). The Effect of Basalt Aggregates and Mineral Admixtures on the Mechanical Properties of Concrete Exposed to Sulphate Attacks. *Materials*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/ma15041581>
- Kızıloğlu, M., 2003, “Nişasta ve Diatomit ilavesinin Alçı Kalıp ve Döküm Özelliklerine Etkisi”, Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Kingery WE. (1988). Introduction--some aspects of the history of ceramic processing. *Ultrastructure Processing of Advanced Ceramics*, 1–29.
- Koday, S., Koday, Z., Kizilkan, Y. (2017). Siirt İlinde Bir Mesken Kültürü: Cas Evleri. In *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (Vol. 21, Issue 4).
- Koyutürk G. (2002). “Alçı – Kireç – Puzolan Esaslı Harçlarda Bazı Atık Kireç Kaynaklarının Kullanılabilirliğinin İncelenmesi.” Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Lanas, J., & Alvarez, J. I. (2003). Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior. *Cement and Concrete Research*, 33(11), 1867–1876. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00210-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00210-2)
- Lea, F. M. & D. C. H. (1976). *The Chemical of Cement and Concrete*. (Edward Arnold, Ed.).
- Lopez-Arce, P., Doehne, E., Greenshields, J., Benavente, D., & Young, D. (2009). Treatment of rising damp and salt decay: the historic masonry buildings of Adelaide, South Australia. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 42(6), 827–848. <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9427-1>

- Mehmet Gökhan Berk. (2018). Proposal for an Automated Form Finder System to Deduce the Authentic Morphology of Siirt Cas Houses. In *VR Technologies in Cultural Heritage* (pp. 20–32). Springer.
- Mehta, P. K. (1986). *Concrete. Structure, properties and materials*. .
- Moayedian, S. M., & Hejazi, M. (2021). Effect of scale on compressive strength of brick masonry with gypsum mortar. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108932>
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., & Anagnostopoulou, S. (2005). Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.017>
- Mosquera, M. J., Benítez, D., & Perry, S. H. (2002). *Pore structure in mortars applied on restoration Effect on properties relevant to decay of granite buildings*.
- Middendorf B., Hughes J.J., Callebaut K., Baronio G., Papayianni I., Investigative methods for the characterisation of historic mortars - Part 1: Mineralogical characterisation, Materials and Structures/Materiaux et Constructions. 38 (2005) 761–769. <https://doi.org/10.1617/14281>.
- Naz, bahar. (2020). SİİRT CAS EVLERİ MİMARİ İNCELEMESİ ve BİR ÖRNEK ÜZERİNDEN RESTORASYON ÖNERİLERİ. *EJONS International Journal of Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 4(15). <https://doi.org/10.38063/ejons.331>
- Neville AM. (1995). *Properties of concrete*. (4th ed.).
- Papadakis, V. G., & Tsimas, S. (2002). *Supplementary cementing materials in concrete Part I: efficiency and design*.
- Papayianni I and Karaveziroglou M. (1992). Aggregate gradation of ancient mortars. Relationship to strength and porosity. vol. 2, 1992. p. 493–8. In M.-J. Thiel (Ed.), *In Conservation of stone and other materials: proceedings of the international RILEM/UNESCO congress held at the UNESCO headquarters*, (pp. 493–500).
- Pecchioni, E., Malesani, P., Bellucci, B. ve Fratini, F., (2005). Artificial stones in Florence Historical Palaces between the XIX and XX centuries, *Journal of Cultural Heritage*, 6, 227-233.
- Qiu, H., Chin, R., Ingham, J., & Dizhur, D. (2016). *Experimental shear testing of unreinforced masonry wall panels 2016 NZSEE Conference*.
- Radonjic, M. H. K. R. , A. G. C. , & H. R. J. (2001). The mechanism of carbonation in lime-based materials. In *Journal of the Building Limes Forum Building Limes Forum.*, 8, 50–64.

- Rota Rossi-Doria, P. (1986). *Mortars for restoration: basic requirements and quality control*.
- Şener, M., Erdemoğlu, M. (2014). Jipsin Isıl Davranışına Mekanik Aktivasyonun Etkisi Sayfa 19-26.
- Scannell, S., Lawrence, M., & Walker, P. (2014). Impact of aggregate type on air lime mortar properties. *Energy Procedia*, 62, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.369>
- Siedel, H. (2013). Magnesium sulphate salts on monuments in Saxony (Germany): Regional geological and environmental causes. *Environmental Earth Sciences*, 69(4), 1249–1261. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2034-z>
- Siedel, H. (2018). Salt efflorescence as indicator for sources of damaging salts on historic buildings and monuments: a statistical approach. *Environmental Earth Sciences*, 77(16). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7752-4>
- Tayla, H. (2007). Geleneksel Türk mimarisinde yapı sistem ve elemanları. *Türkiye Anıt Çevre Turizm Değerlerini Koruma Vakfı*.
- Taylor, H. F. (1997). *Cement chemistry* (London: Thomas Telford., Ed.; Vol. 2).
- Topçu, A. (2019). Betonarme II. In *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*.
- Török, B. A. L. and Z. O. (2017). Salt content analysis of historic masonries with SEM 12.3. *Pollack Periodica*, 99-108.
- TS EN 1015-18. (2014). Kâgir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 18: Sertleşmiş harcın kapiler etkiden kaynaklanan su emme katsayısının tayini
- TS EN 196-1. (2002). Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım
- TS EN 197-1. (2002). *Cement-Part 1: Compositions and conformity criteria for common cements*.
- Van Balen K, V. G. D. (1994). Modelling lime mortars carbonation. *Mater Struct* , 393–401.
- Vitti, P. (2021). Mortars and masonry—structural lime and gypsum mortars in Antiquity and Middle Ages. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(10). <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01408-y>
- Von Landsberg, D. (1992). History of quicklime production and use from early times to the industrial revolution. *ZKG International*, 45(6).
- Wang, B., Yao, W., & Stephan, D. (2019). Preparation of calcium silicate hydrate seeds by means of mechanochemical method and its effect on the early hydration of cement. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(4). <https://doi.org/10.1177/1687814019840586>

Yöney N.B. ve Ersen A. (2010). Yüzyıl dönümünde İstanbul'da yapı dış cephelerinde kullanılan yapay taşların mimari değerlendirmesi, İTÜ dergisi/d mühendislik Cilt:9, Sayı:1, 91-103 Mart 2010



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı-Soyadı:

Uyruğu: TC

Doğum Yeri ve Tarihi:

Tel:

E-posta:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev

YABANCI DİL