



**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
ARKEOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

**Yüksek Lisans Tezi  
Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı  
Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Programı**

**MOZAİKLİ VİLLA (TRİPOLİS-DENİZLİ) MEKÂN  
DUVARLARINDA KULLANILAN HARÇLARIN ARKEOMETRİK  
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**Gözde ASLAN**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Barış Semiz**

**Temmuz 2019  
DENİZLİ**

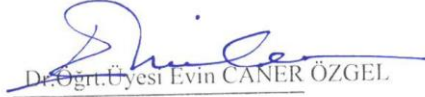
## YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı, Tezli Yüksek Lisans öğrencisi Gözde ASLAN tarafından Dr.Öğrt.Üyesi Barış SEMİZ yönetiminde hazırlanan **"Mozaikli Villa (Tripolis-Denizli) Mekan Duvarlarında Kullanılan Harçların Arkeometrik Yöntemlerle İncelenmesi"** başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 08/07/2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç.Dr. Ali Akın AKYOL

Jüri Başkanı



Dr.Öğrt.Üyesi Evin CANER ÖZGEL

Jüri Üyesi



Dr.Öğrt.Üyesi Barış SEMİZ

Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01.08.2019 tarih ve 17/4 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ProF.Dr. Celal ŞİMŞEK  
Arkeoloji Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atıfta bulunulduğunu beyan ederim.

Gözde ASLAN





## ÖNSÖZ

Bu çalışmada Tripolis Antik Kenti'nde yer alan Mozaikli Konut örneği üzerinden tarihi harçların özellikleri mineralojik-petrografik, kimyasal ve fiziksel analiz yöntemleri ile incelenmiş, kullanılan yapım teknikleri ve malzeme özellikleri ortaya konmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçların yapıda uygulanacak olan koruma ve onarım müdahalelerinde kullanılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın her aşamasında yanımda olan, yol gösteren ve beni her konuda destekleyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Barış SEMİZ' e çok teşekkür ederim.

Çalışmalar sırasında beni motive eden ve destekleyen başta Prof. Dr. Tamer KORALAY olmak üzere Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, çalışma alanı olan Tripolis Antik Kenti'nin Kazı Başkanı Doç. Dr. Bahadır DUMAN ve kazı ekibine yardımlarından ve katkılarından dolayı ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda ve her konuda beni daima destekleyen sevgili ailem Halife-Eşref DOĞAN, Setenay DOĞAN, Suna-Emrah BÜLBÜN, Sinemis-Cenk AKSOY ve dostlarım Gözde ÖGEL, Emre YILDIZ, Raşide BOSTANCI, Osman EKİNCİ, Ahmet SANSAR ve Onur ALTAY'a teşekkür ederim.

Bu çalışma 2018ARKE005 numaralı proje ile Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi (PAUBAP) tarafından desteklenmiştir. PAUBAP' a sağladığı desteklerden dolayı teşekkür ederim.

# ÖZET

## MOZAİKLİ KONUT (TRİPOLİS-DENİZLİ) MEKÂN DUVARLARINDA KULLANILAN HARÇLARIN ARKEOMETRİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

ASLAN Gözde

Yüksek Lisans Tezi

Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim dalı  
Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Programı

Tez Yöneticisi: Dr.Öğr.Üyesi Barış SEMİZ

Temmuz 2019, 109 Sayfa

Yapı malzemelerinin karakterizasyonu, tarihi yapılarda doğru koruma ve onarım müdahalelerinin yapılabilmesi için önemli rol oynamaktadır. Bağlayıcı teknolojisinin gelişmesi ile beraber yapı malzemesi olarak işlev kazanan kireç harçları tarihi yapılarda tuğla, taş gibi yapı elemanlarının birleştirilmesinde sıklıkla kullanılmıştır. Bu nedenle harçların üretim aşamaları, içinde bağlayıcı olarak kullanılan kireç ve agregaların mineralojik, fiziksel, kimyasal özellikleri yapının davranışında önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Tripolis (Yenicekent-Denizli) Antik Kentinde yer alan Mozaikli Konut yapısının üç farklı yapım evresine ait harç örneklerinin mineralojik ve petrografik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, yapıdan alınan örnekler, optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını toz kırınımı (XRD), X-ışını floresans (XRF), kızdırma kaybı, asit kaybı, spot tuz testleri ile pH, protein, yağ analizleri, fiziksel (ağırlıkça su emme kapasitesi ve özgül ağırlık değerleri, agrega tane boyu dağılımı), ve termal analiz (DTA\TGA) yöntemleri ile incelenmiştir.

Yapının farklı dönemlerinde kullanılan harçların malzeme özelliklerinin benzer olduğu ancak mineralojik-petrografik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre yapının ikinci (5.yüzyıl) ve üçüncü (6.yüzyıl) yapım evrelerinde kullanılan harçlarda, agrega olarak metamorfik kayalar parçalarının yanında daha çok karbonatça zengin agregaların kullanıldığı ortaya konmuştur. Elde edilen veriler bölgenin jeolojik yapısıyla birlikte değerlendirildiğinde farklı dönemlerde kullanılan malzeme kaynaklarının tercihinde değişimler olduğu görülmektedir. Termal analiz sonuçlarına göre yapının tüm evrelerinde kullanılan harçlarda bağlayıcı olarak saf kirecin kullanıldığı görülmektedir.

Tarihi yapılarda kullanılan yapı taşı ve harçların malzeme özellikleri ile kullanılan yöntemlerin belirlenmesinde mineralojik-petrografik aletsel analiz yöntemleri ve ilgili metodolojinin katkısı ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kireç harçları, arkeometri, mineraloji-petrografi, optik mikroskop, Tripolis.

# ABSTRACT

## INVESTIGATION OF THE MORTARS USED IN MOSAIC VILLA (TRIPOLIS-DENIZLI) SPACE WALLS BY ARCHAEOOMETRIC METHODS

ASLAN GÖZDE

Master Thesis

Department of Conservation and Restoration of Cultural Heritage  
Program of Conservation and Restoration of Cultural Heritage

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Barış SEMİZ

July 2019, 109 Pages

**Characterization of building materials plays an important role in ensuring compatible conservation and repair in historical buildings. Lime mortars, which function as a building material with the development of binder technology, have been frequently used in joining of building elements such as brick and stone in historical buildings. Therefore, the production technology of mortar, mineralogical, physical and chemical properties of lime and aggregates used as binders play an important role in the service life of the structure. In this study, it is aimed to investigate the mineralogical and petrographical properties of mortar samples belonging to three different construction phases of the mosaic house in Tripolis (Yenicekent-Denizli). In this context, the samples taken from the structure were investigated by optical and scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), loss on ignition, acid loss, spot salt tests with pH, protein, fat analysis, physically (water absorption capacity and specific gravity values by weight, aggregate granulometry), and thermal analysis (DTA \ TGA) methods.**

**The material properties of the mortars used in different periods of the building were similar, but according to the results of mineralogical-petrographic and chemical analysis, it was found that the mortars used in the second (5th century) and third (6th century) construction phases metamorphic rock fragments were used as aggregates rather than carbonate-rich aggregates. When the obtained data are evaluated together with the geological structure of the region, it is observed that there are changes in the preference of material resources used in different periods. According to thermal analysis results, pure lime is used as binder in mortars used in all phases of the structure.**

**The contributions of mineralogical-petrographic instrumental analyses methods and methodology in the characterization of the material properties of the mortars used in historical buildings were conducted.**

**Keywords:** Lime mortars, archaeometry, mineralogy-petrography, optical microscopy, Tripolis.



## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI .....	i
ETİK .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1.1.Çalışmanın Amacı.....	1
1.2.Çalışma Alanının Konumu.....	2
1.3.Tripolis Antik Kenti Kısa Tarihçesi.....	2
1.4.Kent ve Yakın Çevresinin Jeolojik Özellikleri.....	5
1.5.Mozaikli Konut.....	8
1.6.Önceki Çalışmalar.....	9

## İKİNCİ BÖLÜM

### KİREÇ HARÇLARI

2.1.Kireçtaşı.....	23
2.2.Bağlayıcı Olarak Kireç.....	24
2.2.1. Kireçtaşının Yakılması.....	27
2.2.1.1. Sönmemiş Kireci Etkileyen Faktörler .....	28
2.2.2. Kirecin Söndürülmesi.....	29
2.2.2.1.Sönmüş Kireci Etkileyen Faktörler.....	30
2.3.Agrega ve Katkı Malzemeleri.....	32
2.3.1.Agrega.....	32
2.3.1.1.Puzzolan.....	33
2.3.2.Katkı Malzemeleri.....	34
2.4.Kireç Harçları.....	34

2.5.Kireç Harçlarının Sertleşmesi .....	34
2.5.1.Karbonatlaşma ile Sertleşme.....	35
2.5.1.1.Karbonatlaşma ile Sertleşmeyi Etkileyen Faktörler.....	36

## **ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**

### **MALZEME YÖNTEM**

3.1.Malzeme.....	38
3.2.Yöntem.....	39
3.2.1.Mineralojik-Petrografik Analizler.....	40
3.2.1.1.Optik Mikroskop İncelemeleri .....	40
3.2.1.2. X-Işını Kırınım Analizi (XRD) .....	41
3.2.1.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX).....	41
3.2.2. Kimyasal Analizler .....	41
3.2.2.1.X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF).....	41
3.2.2.2.Kızdırma Kaybı Analizi .....	42
3.2.2.3.Spot Tuz Testleri, pH, Protein, Yağ, İletkenlik Ölçümleri.....	43
3.2.2.3.Termal Analizler DTA\TGA.....	43
3.2.2.4.Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi.....	43
3.2.2.4.1. Asidik Bağlayıcı\Agrega.....	43
3.2.2.4.2.Elek Analizi ve Agreg Granülometrisi.....	44
3.2.2.4.3. Ağırlıkça Su Emme Kapasitesi.....	44
3.2.2.4.4.Özgül Ağırlık.....	44

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **BULGULAR VE TARTIŞMA**

4.1.Mineralojik-Petrografik Özellikler.....	45
4.1.1. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	45
4.1.1.1. Yapıtaşları.....	45

4.1.1.2. Harç Örnekleri.....	51
4.1.2. XRD Sonuçları .....	77
4.2.Kimyasal Analiz Sonuçları.....	80
4.2.1.XRF sonuçları.....	80
4.2.2.Kızdırma Kaybı Analiz Sonuçları.....	83
4.2.3.Spot Tuz Testleri, pH, Protein, Yağ, İletkenlik Değerleri.....	84
4.3.Termal Analiz Sonuçları (DTA\TGA).....	86
4.4.Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi için Yapılan Analizlerin Sonuçları.....	91
4.4.1.Ağırlıkça Su Emme Kapasiteleri ve Özgül Ağırlık Değerleri.....	91
4.4.2.Asidik Bağlayıcı/Agrega Oranı ve Agregada Granülometrisi .....	92

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

### **SONUÇ VE ÖNERİLER**

.....	95
KAYNAKÇA.....	98
FİGÜRLER LİSTESİ.....	106
TABLolar DİZİNİ.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	109

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

Tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemeleri ve bu malzemelerin özelliklerinin araştırılması, hem dönemin teknolojisinin anlaşılabilmesi hem de uygulanacak koruma ve onarım çalışmalarında uygun malzeme ve yöntemin seçiminde oldukça önemlidir. Günümüzde kullanılan, özgün malzeme ile farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip onarım harçları tarihi yapılar için tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle malzeme özelliklerinin araştırılması, onarım için kullanılacak malzemelerin seçiminde yol göstericidir.

Harçlar; bağlayıcı, dolgu malzemesi ve katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Taş ve tuğla gibi yapı malzemelerini bir arada tutmak için kullanılan harçlarda tarih boyunca farklı bağlayıcılar kullanılmıştır ve kireç tarihi yapılarda en çok kullanılan bağlayıcılardan biridir. Kirecin en erken kullanımı elde edilen bilgilere göre MÖ 1700 de Knossos Saraylarında ve Mısır Piramitlerinde sıva harcı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bağlayıcı olarak kirecin kullanımı ise yüksek ısılu düşey fırınların geliştirilmesiyle Roma' da MÖ 300 den sonra mümkün olabilmıştır<sup>1</sup>.

Kirecin bağlayıcı olarak harçlarda kullanılması ile beraber yapı malzemesi olarak işlev kazanan harçlar, kullanıldığı yapının işlevine göre farklılık gösteren diğer yapı malzemeleriyle beraber gelişmiştir. Bu nedenle kireç harçlarının ham madde özellikleri ve üretim teknolojilerinin incelenmesi, tarihi yapıların strüktürel özelliklerinin bütüncül olarak değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir.

### 1.1.Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, koruma onarım çalışmalarında değerlendirilmek üzere Tripolis Antik kentinde yer alan Mozaikli Konut yapısının yapının 3 farklı dönemine ait olan harç örneklerinin malzeme karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen veriler

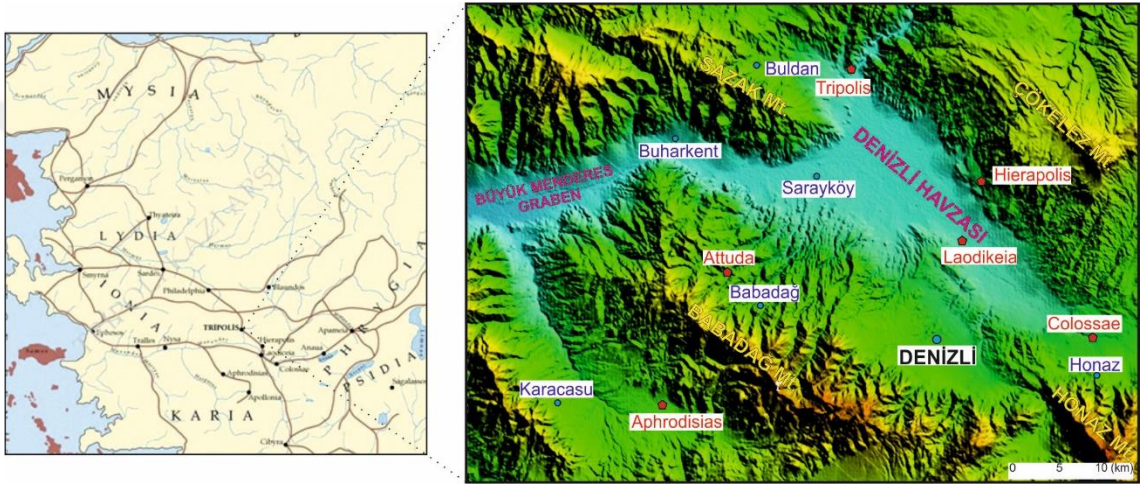
---

<sup>1</sup> Torraca 2009, 50.

doğrultusunda farklı dönemlerde kullanılan harçların özellikleri ve yapım teknolojileri incelenmiştir.

## 1.2.Çalışma alanının konumu

Tripolis antik kenti, Denizli ili, Buldan ilçesi, Yenicekent mahallesi sınırları içinde yer almaktadır. Lykos / Çürüksu Vadisi'nin kuzeybatı ucunda yaklaşık 3 km<sup>2</sup> lik bir alana sahip kent, Helenistik Dönem'de Lydia, Phrygia ve Karia bölgelerinin kesişim noktasında Menderes Nehri'nin kenarında kurulmuştur<sup>2</sup> (Figür1.1).



Figür 1.1. Tripolis Antik Kenti'nin Konumu<sup>3</sup>

## 1.3.Tripolis Antik Kenti'nin Kısa Tarihçesi

Helenistik Dönemde Phrygia, Karia ve Lydia bölgelerinin kesişim noktasında Lydia bölgesi sınırları içinde kalan ve Apollonia adıyla kurulan kentin Augustus döneminde (MÖ 27 - MS 14) Tripolis ismini kullandığı arkeolojik kazılarla ortaya çıkan sikkeler üzerindeki lejantlardan anlaşılmaktadır. Kentin antik dönemin tarihçileri ve coğrafyacıları tarafından farklı dönemlerde farklı bölgelerin (Lydia, Phrygia ve Karia) sınırlarına dahil edildiği, ve bu durumun dönemler arasındaki sınır değişiklikleri ile ilgili olabileceği belirtilmiştir. Üç bölgenin kesişim noktasında yer alması sebebiyle Tripolis ismini aldığı düşünülen kent, Pergamon'dan başlayıp Laodikeia'ya kadar uzanan ticaret yolu üzerinde yer almaktadır. MÖ 3. yüzyıldaki varlığı kesin olarak

<sup>2</sup> Duman 2012, 179-184; Duman 2017, 1-5.

<sup>3</sup> Semiz 2017, 34.

bilinen, kentin güneydoğusundaki Hamam Bükü ve Akkaya Höyük'te yapılan arkeolojik araştırmaların sonucunda, bölgenin tarihinin Geç Neolitik- Erken Kalkolitik Dönem'e kadar uzandığı belirtilmiştir<sup>4</sup>.

Tripolisin de içinde bulunduğu Çürüksu vadisinde MÖ 190 yılında Seleukoslar ile Bergama Krallığı arasında yapılan Magnesia Savaşına kadar bölgede bağımsız kentler yer aldığı bilinmektedir. MÖ 188 yılında imzalanan Apameia barışı ile, Roma desteğiyle galip gelen Bergama kralı III. Attalos bölgede hakimiyet kurmuştur ve MÖ 133 yılında ölümünden sonra, vasiyeti üzerine bölgenin hakimiyeti Roma İmparatorluğu'na bırakılmıştır<sup>5</sup>.

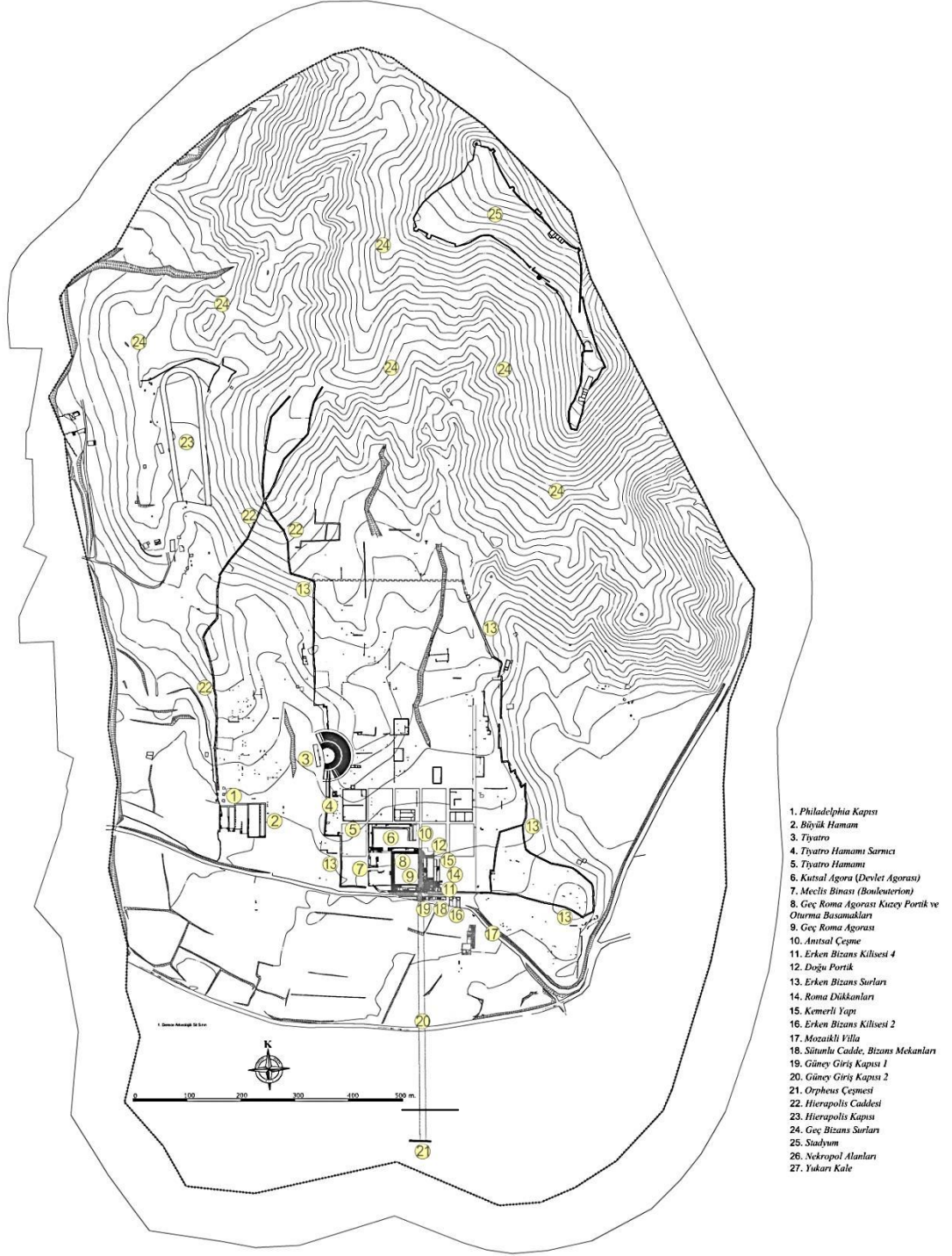
Kent en görkemli dönemini MS 2. Yüzyılda başlayan imar süreci ile Roma Dönemi'nde yaşamıştır (Figür 1.2) Bu dönemde hamam, stadyum, tiyatro, meclis binası gibi kamusal yapılar inşa edilmiştir. MS 325'de Nicaea (İzник) Konsülü'nde Piskoposluk olarak temsil edilen Tripolis Antik Kenti, M.S. 394 yılında gerçekteşen deprem ile büyük hasara uğramıştır ve günümüzde ayakta kalabilmiş yapıları üzerinde bu depremin izleri gözlemlenebilmektedir. MS 6. yüzyıl sonu 7. yüzyıl başlarına gelindiğinde ise Anadolu toprakları üzerinde etkili olan Sasani akınları nedeniyle Tripolis halkı kentin 5 km. kuzeyindeki Direbol'a (Narlıdere) taşınmıştır. 13.yüzyılın yarısında Bizans ve Türkler arasında birkaç kez el değiştiren kent 1304-1306 tarihleri arasında tamamen Türklerin hakimiyeti altına girmiştir<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> Duman 2017, 1-16.

<sup>5</sup> Duman 2017,4.

<sup>6</sup> Duman 2013,180.



Figür 1.2. Kent Planı<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Tripolis Kazı Arşivi

## 1.4.Kent ve Yakın Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Ege genişleme provensinin doğu ucunda yer alan Denizli havzası, yaklaşık 70 km uzunluğunda ve 50 km genişliğinde batı, kuzeybatı - doğu, kuzeydoğu doğrultulu grabende bulunmaktadır. Havza, kuzeyden ve güneyden normal faylarla sınırlı ve batı kesiminde Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin kesişiminde yer alan bir çöküntü havzasıdır. Bölgedeki, jeolojik yapı morfolojiye yansımış, neotektonik (genç tektonik) hareketler bugünkü morfolojinin oluşmasını sağlamıştır. Batı Anadolu bölgesinin özelliği olan horstların oluşturduğu yükseklikler ve grabenlerin oluşturduğu çöküntü ovaları Tripolis'in de içinde bulunduğu bölge için tipiktir. Bölgede en düşük yükselti 125 m ile Büyük Menderes nehri kıyısıdır. En yüksek tepe ise Geyleli Dağı'dır (1413 m). Bölgede en büyük akarsu, doğuda kuzeyden güneye, batıda doğudan batıya akan Büyük Menderes nehridir. Bölgede kurak iklim tipi hâkimdir. Yıllık ortalama sıcaklıklar 17,5 °C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 7,32 kg\m<sup>2</sup> dir<sup>8</sup>. Bitki örtüsü yükseklerde çamlık, alçak kesimlerde fundalıktır.

Yenicekent ve yakın çevresindeki temel kayaçları Paleozoyik yaşlı Menderes Masifinin metamorfik kayaçları oluşturmaktadır. Temel kayaçları açısız uyumsuz olarak Neojen yaşlı Kızılburun, Sazak, Kolankaya ve Ulubey formasyonlarından oluşan sedimanter kayaçlar üzerlemektedir. Tüm birimler üzerine ise açısız uyumsuz olarak alüvyonlar gelmektedir (Figür 1.3).

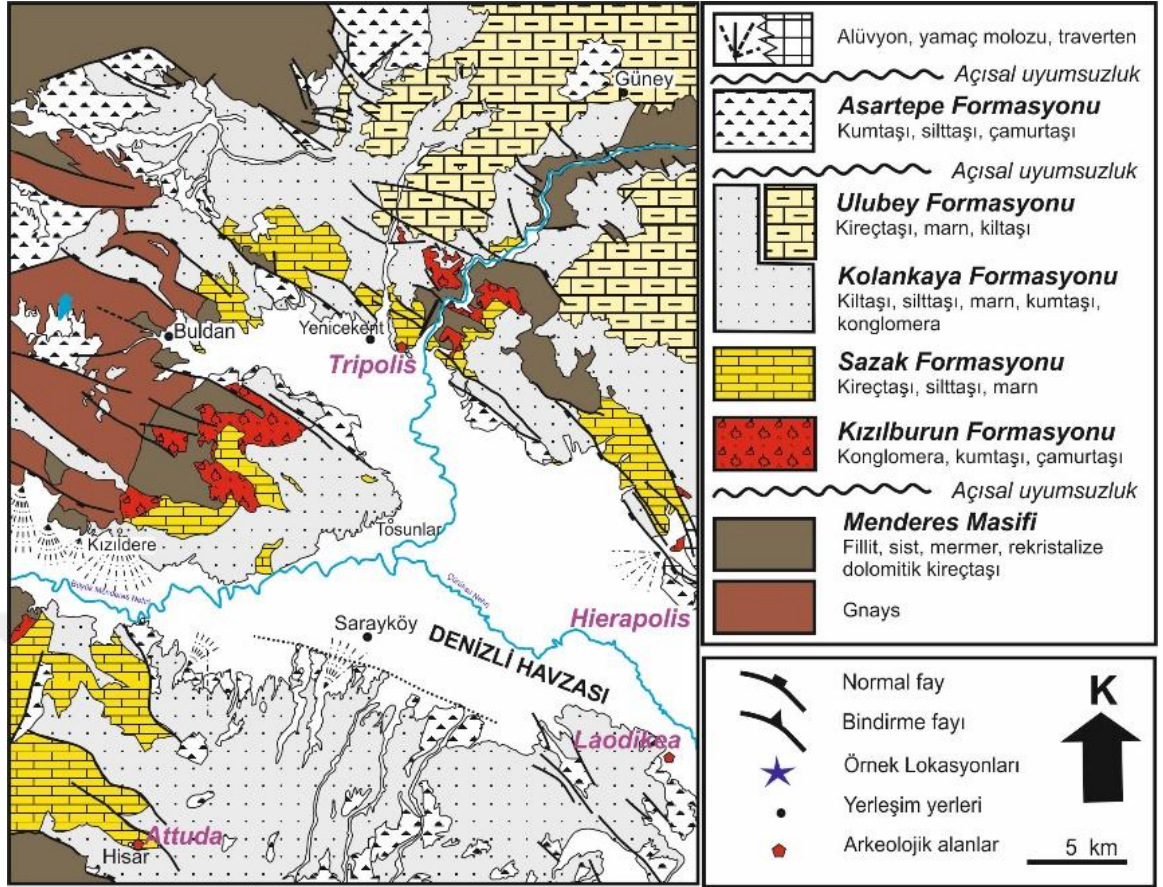
Tripolis ve yakın çevresinde gözlenen metamorfik kayaçlar Paleozoik yaşlı Menderes Masifi olarak bilinmektedir<sup>9</sup>. Menderes masifi metamorfik kayaçlarına ait birimler Buldan çevresinde ileri derecede metamorfizmaya uğramış gnayslar ile bu kayaçları örten örtü kayaçları ile temsil edilmektedir. Bölgedeki gnayslar ince taneli, gözlü ve benekli olarak ayrılırlar. Gözlü gnayslar, Buldan'ın güneyinde Karlıkdede, Maden Suyu, Gölyeri batısında yaylayeri dolaylarında, benekli gnayslar ise Buldan Yayla Gölü ve Beyler köyünde geniş alanlar kaplar. Tripolis kuzeydoğusunda yer alan kayaçlar ise genellikle Menderes Masifi'nin örtü kayaçları olarak bilinen kuvarsit, mikaşist ve mermerlerden oluşmaktadır. Mikaşistler genellikle kuvars-biyotit, muskovit klorit, albit-granat şistlerden oluşmaktadır.

---

<sup>8</sup> Koralay 2017, 149.

<sup>9</sup> Yalçın vd. 2004, 171; Koralay 2017, 149.





Figür 1.3. Tripolis ve yakın çevresinin jeolojik haritası<sup>10</sup>

Kızılburun Formasyonu (Erken - Orta Miyosen) uyumsuz olarak temel birimlerin üzerine gelmekte ve Sazak Formasyonuna doğru geçiş göstermektedir<sup>11</sup> Formasyon, kırmızımsı renkli çamurtaşı ile araldanmalı çakıltaşları, tane destekli konglomeralar, kumtaşı ve üste doğru kil-silt boyu birimlerden oluşmaktadır. Sazak Formasyonu (Orta Miyosen), Kızılburun formasyonunu uyumlu olarak üzerler ve kireçtaşı, marn, laminalanmış ve organikçe zengin çamurtaşları, kiltası ve killi kireçtaşından oluşmaktadır. Kolankaya Formasyonu (Orta-Geç Miyosen) alttaki formasyonlar üzerinde uyumlu olarak gelmekte ve laminalı çamurtaşı-silttaşı ve marnlardan, marn-kiltası araldanması, kumtaşı, çamurtaşı, ve killi kireçtaşından meydana gelmektedir<sup>12</sup>. Kumtaşları açık kahverengi, sarımsı ve gri renklerde yer yer az pekleşmiş bol gatrapod ve lammelli branş fosillidir. Denizli havzasının kuzey kesiminde bulunan Ulubey formasyonu (Geç Miyosen-geç Pliyosen), kiltası ve marn araldanmalı

<sup>10</sup> Semiz 2017, 84.

<sup>11</sup> Sun 1990, 92.

<sup>12</sup> Alçiçek et. al 2007, 28.

gösel kireçtaşlarından oluşmaktadır<sup>13</sup>. Asartepe Formasyonu (Kuvaterner) kırmızımsı, kahverengimsi renkte kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı düzensiz aralanmasından oluşmakta ve Neojen yaşlı kayaları açısız uyumsuzlukla örtmektedir<sup>14</sup>.

Tripolis ve yakın çevresinde görülen alüvyon, taraça çökelleri, yamaç molozu ve traverten oluşumları kuvaterner çökelleri olarak tanımlanmaktadır. Tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kilden oluşan alüvyon, Büyük Menderes, Gediz, Çürüksu ve Buldan çayları boyunca geniş alanlar kaplamaktadır. Derelerin grabenlerdeki düzlüklere açıldığı yerlerde geniş alüvyon yelpazeleri gelişmiştir. Bölgedeki yüksekliklerden ve fay şevlerinden aşındırılan gereçler yamaçlarda kısmen birikmiştir. Kuvaterner yaşlı bu yamaç molozları, genellikle gevşek tutturulmuş, çok iri bloklu, çakıllı, kumlu, sildi ve killi gereçlerden oluşmuştur. Bu birimler içerisinde günümüze kadar işletilen Denizli şehir merkezinin kum ihtiyacını karşılayan kum ocakları bulunmaktadır. Ayrıca bölgede, Kuvaterner yaşlı travertenlerin Yenice bölgesinde yaygın olarak görüldüğü, bölgenin özellikle bu bölümündeki travertenlerde çok ince Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> bantları görüldüğü belirtilmiştir<sup>15</sup>.

Tripolis antik kenti ve yakın çevresinde daha önce yapılan jeoarkeolojik çalışmalarda, alana 2-3 km uzaklıktaki Kısıkkaya bölgesinde yer alan taş ocağında sütun parçası bulunmuş ve kentte kullanılan travertenler için bu ocağın kullanılmış olabileceği üzerinde durulmuştur<sup>16</sup>. Sütunlarda traverten, büyük taş bloklarda karbonat çimentolu lamelli brans fosilli kumtaşları, duvarlarda metamorfik şist ve gnays blokları tercih edildiği ve daha küçük bloklarda traverten ve mermerin işlenerek kullanıldığı belirtilmiştir<sup>17</sup>.

---

<sup>13</sup> Sun 1990,92.

<sup>14</sup> Semiz 2018, 1237-1244

<sup>15</sup> Yalçın vd. 2004, 172.

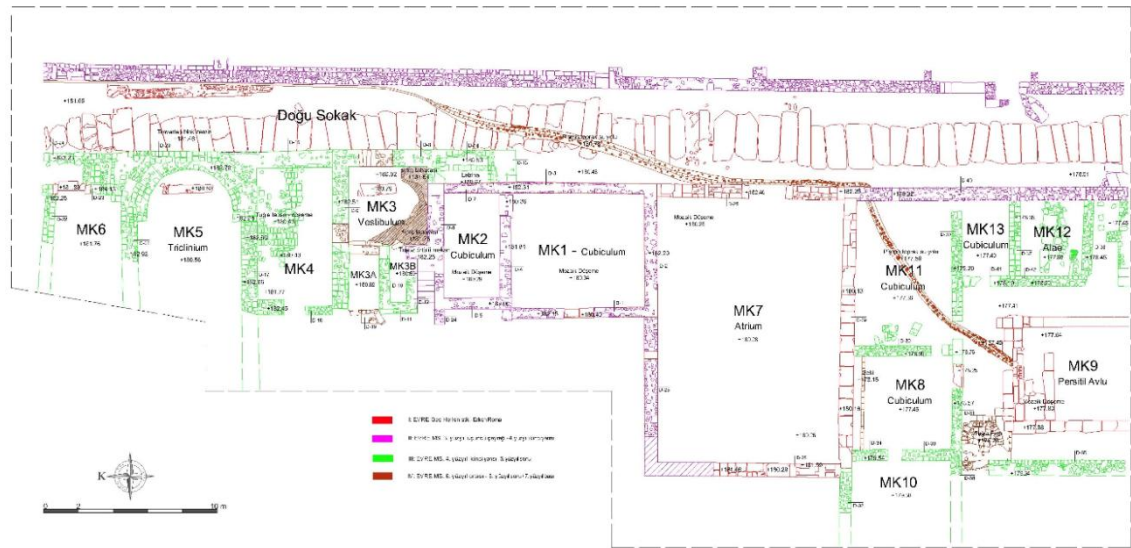
<sup>16</sup> Atik-Koçel Erdem 2004, 9-40.

<sup>17</sup> Yalçın vd. 2004, 174; Koralay 2017, 149.

## 1.5.Mozaikli Konut

Kentin 2013 yılı kazı çalışmalarında ortaya çıkarılan sivil mimari örneği olarak karşımıza çıkan Mozaikli Konut, kentin güneydoğusunda kuzey-güney doğrultuda uzanan caddenin kenarında yer almaktadır. 2 katlı olduğu belirtilen konutun 55x16 m<sup>2</sup> lik kısmının açıldığı ve üç mozaik zeminli, bir kireç harç zeminli, bir tuğla zeminli odanın, bir latrina ve bir dini yapının bulunduğu, toplam 13 mekandan oluştuğu ve üç farklı dönemde kullanım gördüğü belirtilmiştir (Figür 1.4-5).

Yapılan kazı çalışmalarında ele geçen arkeolojik verilere göre yapının ilk yapım evresinin Geç Hellenistik- Erken Roma Dönemi'ne tarihlendiği, günümüzde yüzeyde görülen kalıntıların ise daha çok MS 4-5. yüzyıllara ait olduğu belirtilmiştir<sup>18</sup>.



Figür 1.4. Mozaikli Konut planı<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Duman 2017,4.

<sup>19</sup> Tripolis Kazı Arşivi 2018



Figür 1.5. Mozaikli Konut<sup>20</sup>

## 1.6.Önceki Çalışmacılar

*Demirci ve diğ. 1987*, farklı kültürlere ait (kalkolitik çağ, demir çağı, Bizans ve Selçuklu) sıvalar incelenerek hammadde türü ve birbirine oranları kimyasal ve spektroskopik analizlerle incelenmiştir. Birbirine yakın dönemler olan kalkolitik çağ sıvası ile demir çağ sıvasının farklı karakterde olduğu belirtilirken aynı dönem Selçuklu ve Bizans ana maddeleri aynı özellikleri göstermiş ancak katkı maddelerinde farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak bu iki dönemde kireç alçı ve kum kullanıldığı belirtilmiştir. Kalkolitik çağ sıvası kil sıvası özelliği taşıyorken demir çağ sıvası kireç bazlı olduklarından bahsetmektedir.

*Köklü ve diğ. 1992*, Ayasofya Müzesi inşasında döşeme taşlarında kullanılan bazı harç ve taşların özellikleri XRD yöntemiyle incelenmiştir. Ayasofya Müzesinin harç imalinde iki farklı ocağın kullanıldığı ve malzemelerin ana bileşenlerinin kireçtaşı ve kil olduğu kaplama amaçlı kullanılan taşların ise ana bileşeninin  $\text{CaCO}_3$  olmadığı yani mermer özelliği taşımadığı her üç örneğin de Korkuteli’nde bulunan bir tür sert parlak taş olduğu tespit edilmiş. Karbonat, kil ve opak minerali esas bileşen çıkmış kuvars ve mika az oranda bulunmuştur.

<sup>20</sup> Tripolis Kazı Arşivi 2018

**Caner ve diğ. 2003** çalışmalarında Anadolu'daki ortaçağ yapılarından olan Kubadabad sarayı ve Alanya kalesine ait sıva örneklerinin hammadde karakteristikleri ve fizikomekanik özellikleri üzerine çalışılmıştır. Sıva örneklerinin tamamı günümüz çimento harçlarının aksine yüksek yoğunluk ve su buharı geçirimsizliği ve düşük gözeneklilik göstermiştir. Ultrasonik hız ölçümü ve elastiklik modül değerleri de dayanıklılıklarının yüksek olduğunu göstermiştir. Numunelerde ana bağlayıcı mikritik kalsitten oluşan kireçtir. Numunelerdeki bir diğer ortak bileşen ise opal-a'dır. Sıva ve harçlarda dayanım arttıran ve homojen dağılım sağlayan diğer bir faktör de katkı malzemelerinin karakteridir. Çalışılan örneklerde organik katkıların kullanıldığı TGA analizleri ile belirlenmiştir. Bizans dönemi sıvalarında dolomite çok rastlanırken Selçuklu döneminde daha az rastlanmıştır. İki dönem için incelenen örneklerde de kırmızı renkli sıvalarda renk verici maddenin SEM - EDX, XRD ve kimyasal analizler sonucunda hematit ( $Fe_2O_3$ ) olduğu görülmüştür. Bu bulguların hammadde kaynağı ile ilgili ipucu olabileceğine değinilmiştir. Freskli Bizans örneklerinde renk tabakasında dolomit az olduğu bu yüzden katkı olarak kullanılmış olabileceği belirtilmiştir.

**Güdücü ve diğ. 2003**, Şapınuva Hitit antik kenti kazılarıyla ortaya çıkan yapılardaki kerpiç sıvaların yapım teknolojisini incelemek ve Hitit devrinde büyük yangınlar geçiren kentin yanmış kerpiç duvarlarının koruma işlemlerini belirlemek olmuştur. Fiziksel özelliklere bakıldığında 14. Yy da Anadolu da kullanılan tuğlalara yakın değerler bulunmuş, mekanik özellikler değerlendirildiğinde sıva ve harçların iyi dayanım gösterdiği XRD sonuçlarına göre sıvaların yapısında kuvars, kalsit, feldspat, gehlenit, maghemit, hersinit ve hematit belirlenmiş ve bazı minerallerin faz değişim sıcaklığından yararlanılarak yanma sıcaklığı tespit edilmeye çalışılmış. Büyük gözenekli yapıyı değiştirmeden bozulmayı hızlandıran küçük gözenekler elimine edilmeli. Zayıf bölgede kısmi sağlamlaştırma yapılmalı. Sağlamlaştırma tekrarlanabilir olup zincir polimerlerin kullanılması, tercih edilmesini önermişlerdir.

**Güney, 2003**, katkı maddeleri olarak; zeytinyağı, kazein, sodyum oleat, üre ve metakaolinin kireç harçlarının karbonatlaşması üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada; fiziksel özellikler için gözeneklilik ve BHA belirlenmiş, mekanik özellikler için, ultrasonik hız ve elastik modül ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada kireç harçlarının karbonatlaşma derecelerinin belirlenmesi için uygun bir yöntem ihtiyacı duyulduğu belirtilmiştir. XRD analizleri,  $Ca(OH)_2$  ve  $CaCO_3$  oranının belirlenmesi için

kullanılmıştır. TGA analizinin yerine gravimetri yöntemi ile örneklerin ağırlık kaybı göz önüne alınarak, serbest  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarı hesaplanmıştır. FTIR Spectroscopy ile numunelerin konsantrasyonu belirlenmiştir. Kompleksimetrik titrasyon metodu, EDTA ile kullanılmıştır, katkı maddelerinin karbonatlaşma dereceleri ve total karbonatlaşmaya etkileri bu yöntem ile araştırılmıştır. Karbonatlaşmada en yüksek artış metakaolin katkılı örnekte gözlenmiştir. Bunun aynı zamanda harca dayanıklılık kattığı belirtilmiştir. Gözeneklilik ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriği karbonatlaşmayı olumlu etkileyen iki önemli unsurdur.  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyona girerek C-S-H ürettiği için mekanik dayanımı artırmaktadır. Onarım harçları hazırlanırken bazikliği yüksek olduğu için karbonatlaşma tamamlanana kadar temas ettiği yüzeylere zarar verebileceği belirtilmiştir. Çalışmada katkı maddelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ancak bu özellikler ile karbonatlaşma ilişkisi üzerine çalışılması gerektiği belirtilmiştir

*Böke ve diğ., 2004*, çalışmalarında tarihi horasan harcı ve sıvalarının en temel özelliklerini belirlemeye yöneliktir. Horasan harçlarının özellikleri birçok tarihi yapıdan alınan örneklerde incelenmiş kireç/tuğla tozu oranının 1:4 ile 1:2 oranında olduğu saptanmış. XRD analizlerinden bağlayıcı malzemenin, kirecin karbonatlaşması sonucu oluşan kalsit kristalleri ve tuğla tozu ile kirecin reaksiyonu sonucu oluşan kalsiyum, silikat ve alüminat oluştuğu gözlenmiş. Avrupa'nın çeşitli ülkelerinden alınan ve pişirilme sıcaklığının 900 °C nin üstünde olan tuğlalarda puzolanik özellik saptanırken Türkiye de tuğlaların pişirilme sıcaklığının 900 °C nin altında olması gerektiği ve içerisinde puzolanik özelliği sağlayacak miktarda kil bulunması gerektiği tespit edilmiş. Horasan harç ve sıvalarda kullanılacak tuğlaların puzolanik özellikte olması gerektiği, XRD sonuçlarında kuvars, feldspatlar ve amorf fazlar, EDX ile yapılan analizlerde yüksek oranda silikat, alüminat ve az oranda demir ve alkaliler saptanmış.

*Cultorne ve diğerleri 2004*, hava sürükleyici olarak yağlı alkol katkılı harç örneği, puzolan katkılı ve katkısız harç örneklerin yüksek  $\text{CO}_2$  konsantrasyonunda ve doğal ortamda karbonatlaşma özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada XRD ile  $\text{Ca(OH)}_2$  in kalsite dönüşümü incelenmiştir. Yapılan analizler süresince tam olarak karbonatlaşmaya ulaşamadığı belirtilmiştir. Bunun nedenleri olarak; karbonatlaşma süresinde oluşan erken kuruma, karbonatlaşmanın gerçekleştiği sıcaklık, yeni oluşan kalsit kristalleriyle gözenek hacimlerinin azalması gösterilmiştir. Harçların mineralojisi

ve dokusunun kullanılan katkı malzemelerine göre değişkenlik gösterdiği, ancak portlanditin kalsite dönüşme hızında çok büyük bir değişime neden olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun artması durumunda portlanditin kalsite dönüşme hızında artış gösterdiği belirtilmiştir. puzzolan katkılı harçlarda hidrolik özellik görülmüş ancak C-S-A kristal oranlarının düşük olduğu belirtilmiştir. Hava sürükleyici ajanların harcın dokusunu önemli ölçüde değiştirdiği, yuvarlak formlu gözenekler oluşturduğu ve bu sayede kuruma çatlaklarının azaldığı sonucuna varılmıştır. %100 CO<sub>2</sub> kullanıldığında reaksiyon sırasında oluşan ısı (74kj/mol) o kadar yüksektir ki erken kuruma meydana gelir. Bu da CaCO<sub>3</sub> dönüşümüne izin vermez.

*Balen, 2005* tarafından yapılan çalışmada karbonatlaşma oranını materyallerin hangi özelliklerinin etkilediği, karbonatlaşma oranı ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonu arasındaki ilişki incelenmiştir. TGA ile karbonatlaşma derecesi belirlenmiştir. Karbonatlaşma, gözeneklilik ve kullanılan katkıların özellikleri ile kontrol edilmiştir. CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun karbonatlaşma hızını etkilemediği sonucuna varılıyor. Karbonatlaşma hızının kirecin yüzey genişliğine bağlı olarak değiştirdiği, karbonatlaşma için uygun sıcaklığın 60-90 °C olduğu ve % 15- 50 arasında CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun karbonatlaşmayı etkilemediği belirtilmiştir. Çalışmada karbonatlaşmanın sulu ortamda çözünen portlanditin meydana getirdiği reaksiyona bağlı olduğu ve karbonatlaşma tamamlanana kadar harcın ıslak tutulması gerektiğine değinilmiştir.

*Caner ve diğ. 2005*, 15. yüzyıl Osmanlı yapılarında Urla' da bulunan Hersekzade Ahmet Paşa ve Yahşi Bey hamamlarının çatı örtü sıvalarının hammadde özelliklerini ve performanslarını sağlayan fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada Çatı örtüsünde kullanılan sıvaların üç kat olduğu belirlemiş çalışma bu iki hamamda kullanılan 3 kat sıva örnekleri üzerinden ilerlemiştir. Birinci katmanda kullanılan sıvanın tek basına kullanılacak su sızdırmazlık özelliklerine sahip olmadığı ikinci katmanda kullanılan sıvanın ise tek basına kullanılacak yeterliliğe sahip olduğu su buharı geçirimsizlik ve sızdırma testleriyle ölçülmüş ve TSE standartlarına göre yorumlanmıştır. İnce kesitlerin analizleri sonucunda ortaya çıkan agregaların mineral çeşitliliği Urla bölgesinin jeolojik birimlerinin çeşitliliğini yansıttığı Urla bölgesinde kum ocağı olarak da kullanılan Kuvatarner alüvyonlar bölgedeki jeolojik birimlerin katkıları ile oluşmuş olabileceği belirtilmiştir. Bazı çalışmaların (Türkecan

ve diğeri, 1998) bu bölgedeki neojen detritiklerde kuvarsit, kuvars-mika-şist vb. içeren metamorfik kayaç parçacıklarının varlığına da işaret ettiğiinden bahsedilmiştir.

**Cerny ve diğ. 2005**, Puzolanik katkılı 3 ayrı kireç sıvasının mekanik, higrik ve termal özellikleri incelenmiştir. Kireç sıvalarının gözenek yapıları ve emiş izotermi SEM ile incelenmiştir. Buna rağmen gözenek boyutlarındaki değişim ve dağılımın puzolanik aktiviteyle olan ilişkisi incelenmemiştir. Puzolan katkılı sıva uygulamalarının portland çimentosuyla genelde benzerlik gösterdiği görülmüştür. Puzolan katkılı sıvaların diğeri örneklere göre daha iyi higrik ve termal özellikler gösterdiği ancak higrik genişleme katsayısının puzolanik katkılı harçların tümünde klasik kireç sıvalarından daha yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca orta Avrupa bölgesinde kireç ile tepkimeye giren puzolanik malzeme bulunmadığı belirtilmiştir. Nem ve tuzun sıvalar için büyük bir tehdit olduğu, buna rağmen sönmemiş kireç kullanılan harçlar ile puzolan katkılı harçların bu konuda gösterdiği farklılıklar üzerine henüz bir çalışma olmadığı belirtilmiştir.

**Kuleli ve diğ. 2005**, Efes Yamaçevler 2 de 1,2 ve 4 no lu evlerden alınan harçların analizleri yapılarak tarihi süreçte kullanılan eski teknolojiye ilişkin bilgi edinmenin yanında bakım ve onarımda gerekli özgün malzeme tayini yapılmıştır. İncelenen harç ve tuğla duvar harçlarının çoğu düşük BHA ve yüksek gözenekliliğe sahiptir, ancak 1 no lu evin harç örneğinde üst kattan gelen yükü taşıyan kemerlerden alınan örneklerde yüksek yoğunluk ve düşük porozite gözlemlenmiştir. Ayrıca yüksek oranda kireç kullanıldığı tespit edilmiştir. Harçların puzolanik bakımdan iyi olduğu bağlayıcı olarak kullanılan sönmüş kirecin mikritik kalsit kristalleri şeklinde karbonatlaştığı anlaşılmış bazı harçlarda da büyük gözeneklere ve çatlaklara rastlanmıştır. Bu örneklerin içinde yeniden kristallenen kalsit minerali tespit edilmiştir. Harçların çoğunda hidrolik özellik gözlenmiştir. SEM analizleri ile puzolanik nitelikte doğal ve yapay agregaların çeperleri ile bağlayıcıları arasında C-S-H oluştuğu gözlemlenmiştir.

**Stefanidou ve diğ. 2005**, agregaların kireç harçlarının özellikleri üzerine olan etkileri; agrega içeriği, tanecik büyüklüğünün mukavemete olan etkisi, gözenekliliği başlıkları altında incelenmiştir. Hava şartlarına direci belirlemek için kılcal gözeneklilik incelenmiştir. Çalışmada çimento harcı, saf kireç ve kireç-puzolan karışımıyla



hazırlanan örnekler farklı bağlacı: agregası oranına sahiptir. Örneklerin dayanım gelişimleri 28., 90., 180., 365. ve 730. günlerde incelenmiştir. Kılcal gözenekler sıkışmaya bağılı olarak azaldığında, dayanıklılık gelişiminden bağımsız olarak iri agregaların hacmin stabilitesini sağladığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada 0-4 mm. aralığında agregası içeren ve düşük bağlacı\agregası oranına sahip örneklerin daha yüksek dayanım sağladığı görülmüştür. Hava koşullarına karşı direnç, su geçirgenliğinin azalması, bağlacı\agregası bağıının güçlülüğü iri tanecikli agregaya sahip örneklerde gözlemlenmiştir.

*Jasiczak ve diğ. 2006*, Antik Mısır, Yunan ve Roma'da hayvansal yağ, kan ve süt gibi farklı proteinler kullanılıyordu. Toz haline getirilen kan 70'li yıllarda çimentoda hava sürükleyici olarak kullanılmaya başlandı. Çimento ağırlığının % 0.2-1 'i kadar kan tozu katkısı %5-25 oranında hava girişı için gereklidir. Hava sürükleyici katkıları işlenebilirliği ve su geçirimsizliği artırır. Donma çözülme dayanımını yükseltir. Bu çalışmanın amacı ise; toz haline getirilmiş protein katkılarının yeni dökülen ve sertleşen harcın fiziksel, mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemektir. Ayrıca kimyasal hava sürükleyiciler ile kan tozunun etkileri karşılaştırılmıştır. Harç örneklerinin bağlacılık dayanımı, basınç dayanımı ve büzüşme oranları, gözeneklilikleri, donma-çözülme dirençleri, su emme kapasitelerinin belirlenmesi için analizler yapılmıştır. Sertleşme sürecinde uzama, harcın yoğunluğunda azalma ve BHA da düşme yeni dökülen harçlarda görülürken sertleşen harçlarda; esneklikte azalma, yüksek basınç dayanımı ve BHA da düşüş görülmektedir. Bunun yanında büzülme ve donma direncinde artış görülmüştür.

*Lawrence ve diğ. 2006*, TGA ile karbonatlaşmanın yayılımı incelenmiştir. Karbonatlaşma için suyun varlığının oldukça önemli olduğu ve hidrolik olmayan harçlar için karbonatlaşmanın 5 aşamadan oluştuğı belirtilmiştir. Çalışmada karbonatlaşmanın ölçümlenebildiğı birçok yöntemin olduğu bunlardan geleneksel olanının, yeni kırılan harcın yüzeyine fenolftalein püskürtülmesiyle (asit-baz indikatörü) portlanditin varlığında (yüksek alkali) koyu kırmızı, kalsitin oluşumunda ise karbonatlaşmanın gerçekleşmesi sonucuna varıldığı yöntemdir. Çalışmada harcın dayanımının karbonatlaşma ve öncesindeki duruma bağılı olduğu bu yüzden teşhisinin önemli olduğu belirtilmiştir. Çalışmada 3 farklı harcın farklı karbonatlaşma özellikleri gösterdiği, fenolftalein veya TGA ile de belirlenemediğı sonucuna varılmıştır. Ön

karbonatlaşmanın Liesegang patterns in varlığında tesadüfi salınımları ortaya çıkardığı ve bu salınımların karbonatlaşma için karakteristik özellikler taşıdığı belirtilmiştir. Harcın gözenek boyutu dağılımının karbonatlaşma ile ilişkili olduğu ve tamamen karbonatlaşmanın gerçekleşmeyebileceği sonucuna varılmıştır.

**Tunçoku ve diğ. 2006**, Konya'da 12. 13. yy. Anadolu Selçuklu dönemine ait 3 adet yapıdan alınan harç örneklerinin karakterizasyonu ve teknolojisi üzerine incelemeler yapılmıştır. Petrografik ve mineralojik özellikler, SEM-EDX, FTIR ve XRD yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Kimyasal analizler ile suda çözünen tuzların içeriği (iletkenlik analizi) ve bağlayıcı/agrega oranları, TGA yöntemi ile ince agregaların puzolanik aktivitesi ve termal özellikleri belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikler için BHA ve gözeneklilik testleri ile nokta yükleme testi, numuneler ıslak ve kuru halde iken tek eksenli basınç dayanım testi yapılmıştır. Harçlarda bağlayıcı olarak yüksek reaktiviteye sahip yüksek kalsiyumlu kirecin, iri ve orta boyutlarda agregaların kullanıldığı sonucuna varılmıştır. BHA ve gözeneklilik sonuçlarına göre; fazlaca kireç kullanımı gözenekliliğe neden olmuştur. İncelenen harçların en belirgin özelliklerinin yüksek porozite ve BHA na rağmen gösterdiği yüksek mekanik dayanımdır. Konya ovasında lokal kaynaklarından elde edilen opal-A'nın ince agrega olarak, orta ve iri agregaların metamorfik kayalardan elde edilen feldispat, mika ve kuvars minerallerinden oluşan kum ve taşların kullanıldığı görülmüştür.

**Çizer ve diğ. 2008**, kireç sıvalarının % 95 bağıl nem, 20C° altında % 20 ve % 100 CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile hızlandırılan karbonatlaşma sırasında CaCO<sub>3</sub> kristallerinin morfolojisi incelenmiştir. Hızlandırılan karbonatlaşma reaksiyonu sonucunda kalsit çökelmiş ve normal şartlar altında gerçekleşen karbonatlaşmayla benzer yüzey özellikleri göstermiştir. Ancak örneklerin incelikleri, harcın türü ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı olarak bazı farklılıklar gözlenmiştir. Mikritik yapıdaki rhombohedral kalsit kristalleri %100 CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda çökelerken yarı mikrometrik rhombohedral kristaller %20 CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda çökelmiştir. Skalenohedral yapıdaki kalsit yoğun CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda rhombohedral yapıya doğru bir değişime uğrar. Bu durumun çözünme ve yeniden çökme süreci ile açıklanmıştır(CO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonlarının girişi ile). Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna rağmen reaksiyon süresince serbest kalan ısı (74kJ/mol) ve çökelen kalsit kristallerinin CO<sub>2</sub>

geçişini engellemesi nedeniyle karbonatlaşmanın tamamen gerçekleşmediği görülmüştür.

*Böke ve diğ., 2009*, Serapis Tapınağı restorasyon çalışmalarının öncesinde yapıda kullanılan malzeme karakteristiğinin belirlenmesi için yapılmıştır. Bu amaçla malzemelerin fiziksel, petrografik ve mineralojik özellikleri ile ham madde kompozisyonları belirlenmiştir. Çalışmada harç ve sıva örneklerinin kireç agrega oranları asitte çözünme ile kimyasal kompozisyonları SEM ile mineralojik kompozisyonları XRD ile hidrolitik ölçümleri de ağırlık kaybı ölçümleri ile belirlenmiştir. Çalışmada hidrolik harçların Roma Döneminde cocciopesto olarak bilinen doğal puzolanlar ile hazırlandığı belirtilmiştir. Yapılan analizler sonucunda harç ve sıvalarda kullanılan agregaların puzolanik özellik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

*Fuwei ve diğ. 2009*, lapa hale getirilen pirincin 1500 önce kullanılmaya başlandığı ve kireç harçlarının dayanıklılığına su geçirimsizliğine ve bağlayıcılık performansına olumlu etkileri olduğuna değinilmiştir. Kireç harcının içinde kullanılan lapa pirincin yıllar sonra teşhis edilebilmesi ise şu şekilde açıklanmıştır. Kirecin söndürülme işlemi sırasında açığa çıkan yüksek ısı ve aktif oksijenin bakterileri öldürmesi ile organik kökenli katkıların uzun ömürlülüğü açıklanmıştır. Sertleşme reaksiyonu sırasında lapa haldeki pirinç basınç ve yüzey dayanımını, sertliği artırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca su geçirimsizliği de artırmış polisakkarit etkisi göstermiştir. Lapa haldeki pirinç katkısı karbonat kristallerinin şeklini ve boyutunu değiştirmiştir. Ayrıca nano boyutta kalsit yoğunluğunu artırdığı için yüksek basınç dayanımı ve yüzey sertliği sağlamaktadır. Birbiriyle çok iyi şekilde harmanlanan kalsit ve pirinç lapası harcın esnekliğine ve sağlamlığını olumlu etkilediği belirtilmiştir.

*Çizer ve diğ. 2010*, çalışmalarında hidrolik kireç ve kireç puzolan karışımı ile hazırlanan harçlarda görülen karbonatlaşma ve hidratlaşma reaksiyonları incelenmiştir. Hidratlaşmanın ilk reaksiyon olduğu ve karbonatlaşmanın da bunu takip eden tamamlayıcı ve harçların dayanım kazanmasını sağlayan ikincil reaksiyon olduğu belirtilmiştir. Çalışmada TGA, esneklik dayanımı ve XRD testleri uygulanmıştır. Puzolan katkılı kireç harçlarında atmosferik koşullar altında eğer puzolanik malzeme kirecin bir kısmını ile reaksiyona giriyorsa karbonatlaşma ve hidratlaşmanın gerçekleşeceği belirtilmiştir. Metakaolin gibi yüksek puzolanik aktiviteye sahip

materyallerin gerekli dayanımı sağlamayı engellediği sonucuna varılmıştır. Karbonatlaşma ve hidratlaşmanın derecesi ve sırasının nem içeriği ile doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir. Kuru koşullar altında puzzolanik katkı ve hidrolik kireç ile hazırlanan harçların dayanımlarının yeteri kadar yüksek olmadığı belirtilmiştir. Kireç puzzolan katkı harçlarda hidrasyonun oldukça yavaş gerçekleşmesi ya da tamamıyla karbonatlaşmanın hidratlaşmayı engellemesi nedeniyle kuru koşullar altında gerekli dayanım sağlanamadığı belirtilmiştir.

**Ventola ve diğ. 2011**, kireç harçlarında kullanılan geleneksel katkı maddelerinin karbonatlaşma oranı, mekanik dayanımı kuruma hızı ve suya karşı dayanıklılığı üzerine olan etkilerinin incelenmesidir. Çalışmada Meksika ve Güney Amerika'da kullanılmış olan geleneksel yöntemlere göre 6 farklı kireç harcı hazırlanmıştır. Bu harç örneklerinde 20. yy.'ın ilk çeyreğinde kullanılmış ve Latin Amerika kırsalında hala kullanılmakta olan katkılardan ; protein olarak hayvansal yapıştırıcılar (hayvanların yüz kemikleri ve sinirlerinin kolajen haline getirmek için hidratlaştırılmasıyla elde ediliyor) ve kazein(sütte bulunan protein), polisakkarit olarak frenk inciri (toz ve yapışkan hali) ve zeytin yağı kullanılmıştır. Agregatör olarak 1mm den küçük göl kumları kullanılmıştır (kuvars, albit, anortit, oligoklas). Çalışma sonuçlarına göre; hayvansal protein kullanımı mekanik dayanımı 2 faktör kadar artırmıştır. Polisakkarit olarak nopalin yapışkan forumunun kullanımı ile karbonatlaşmanın arttığı görülüyor. Bu da mekanik dayanımı ve suya karşı dayanımı artırıyor. Zeytinyağı kullanımı gözenekliliği yarı yarıya azaltıyor, boyutunu da düşürüyor. Water proof yüzeyler için kullanımının uygun olduğu sonucuna varılıyor. Örneklerin genelinde iğnemsiz uçlu kristal yapıya rastlanıyor. Bu durum harçların yoğunluğunu artırıyor ve basınç dayanımını yükseltiyor. Ancak kazein katkı örnekte bu durum gözlenmiyor. XRD analizlerine göre aragonitin kristalografik yapısında iğnemsiz doku görülüyor. Buna sonuca göre, kazeinin kristallerin morfolojik yapısını sabitleştirdiği belirtiliyor.

**Iucolano ve diğ. 2013**, kireç bazlı harçların en temel probleminin karbonatlaşma sırasında ortaya çıkan ısı nedeniyle ortamdaki nemin azalması ve bu nedenle oluşan büzülme ve çatlakların harcın dayanımı üzerine olumsuz etkileri olduğu ve bu sorunun bazı liflerle en aza indirgenebileceği belirtilmiştir. Bu liflerin aynı zamanda donma-çözülme ve esneklik dayanımına olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir. Liflerin basıncın ve çeşitli nedenlerle ortaya çıkan yapısal stresin dağılmasında önemli rol oynadığı ancak

bu performansın boyut ve yüzey alanlarına göre değiştiği belirtilmiştir. Literatürde 2 çeşit lif üzerine çalışıldığından bahsedilmiştir. Cam elyafı genellikle çimento ve alçı sıvalarda kullanılmıştır. Bazalt lifi ise organik kayalardan elde edilir. 1450°C de kayacın eritilmesiyle elde edilen bu lif yüksek mukavemet ısı stabilizasyonu ve direncini olumlu etkiler. Türü ve miktarı ne olursa olsun kullanılan lif katkılarının dayanım ve esneklik mukavemetini artırdığı görülmüştür. En iyi sonuçlar %2 oranında cam elyafının kullanıldığı kireç harçlarında görülmüştür (2.41 mPA). Ayrıca donma-çözülme, ve esneklik direncine olan katkıları nedeniyle de cam elyafı harçlarda kullanılmak üzere önerilmiştir.

**Eleni ve diğ. 2014**, Kireç harçlarının sertleşmesi havadan alınan CO<sub>2</sub> ye bağlıdır. Su buharının varlığı CO<sub>2</sub> ve Ca(OH)<sub>2</sub> arasındaki reaksiyon aracılığıyla hava kireci sertleşir. Farklı içeriklere sahip kireç harçlarının sertleşmesi üzerine kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre karbonatlaşma oranı %80-90 arasındadır. Karbonatlaşma harcın mineralojisine, dokusuna, kullanılan katkı malzemelerine ve kirece, uygulanan yüzeydeki kalınlığa, harcın yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Doğal koşullar altında karbonatlaşma harcın veya sıvanın kalınlığına bağlı olarak birkaç hafta birkaç yıl arasında sürebilir. Bu çalışma sonuçları kireç içeren harçların sertleşme süreci boyunca CO<sub>2</sub> alımını hesaplamak amacıyla kullanılmıştır.

**Grilo ve diğ. 2014**, doğal hidrolik kireç örneği farklı agregaların basınç ve esneklik dayanımları bekleme süresi bağlayıcı\agrega oranları, agrega özellikleri ve gözeneklilikleri incelenmiştir. Buna göre, yüksek bağlayıcı oranına sahip olan örnekler yüksek gözeneklilik ve basınç mukavemeti gösteriyor. Kireçtaşı agregalar mukavemeti geliştirir. Bu durum bağlayıcı agrega ara yüzünün ve kalsitin eş zamanlı gelişimine bağlıdır. Yuvarlak formlu agregalar geniş gözenekleri artırır, mukavemeti düşürürler. Bu yüzden kullanımı tavsiye edilmemektedir. Küçük boyutlu agregaların tutunma ve basınç mukavemetleri daha yüksek sonuçlar verir. Doğal hidrolik kireç ile hazırlanan harçların sertleşmesinin 3 aşaması vardır. Erken aşamalarda C<sub>3</sub>S hidrasyonu mukavemet artışını sağlamıştır. Orta aşamalarda basınç dayanımı küçük değişimler göstermektedir.

**Grilo ve diğ. 2014**, doğal hidrolik kireç ve farklı yüzdelerde kireç-metakaolin katkılı örneklerin minerolojik ve mekanik özellikleri farklı koşullar altında ve farklı

curing sürelerinde incelenmiştir. Çalışmada numunelerin basınç ve esneklik dayanımları, TGA ve XRD analizleri yapılmıştır. Avrupa standartlarına göre NHL (FT) 3 sınıfa ayrılmaktadır (28. gündeki basınç dayanımı ve  $\text{CaOH}_2$  içeriğine göre). NHL2, NHL3,5, NHL5 curing koşulları atlantik okyanusunun batı kıyısında ve laboratuvar ortamında %65-%95 oranında nem ve 20 °C altında gerçekleştirilmiştir. NHL harçları kontrollü nemli ortamda ve doğal deniz kıyısı ortamında benzer davranışlar göstermiştir(mekanik-mineralojik olarak) Aynı harç örneği standart RH ortamında farklı özellikler göstermiştir. Şubat - haziran ayları arası Portekiz kıyıları standart curing ortamından daha yüksek nemlilik içerir. NHL ve MK karışımında kontrollü nemli ortamda dayanımın geliştiği görülmüştür. Bu gelişim sıvalar için olmasa da harçlar için gerekli olabilir. NHL harçları MK ve MK sızken farklı curing sürelerinde farklı dayanım gösterirler. NHL harçlarının aksine NHL + MK harçları curing süresinin uzamasıyla daha düşük dayanım göstermektedirler. Bu durum puzolanik içeriğin değişkenliği ile açıklanabilir. Ana sertleşme reaksiyonu NHL ile ve MK ile hazırlanan harç örneklerinde karbonatlaşma ile gerçekleşir. Buna rağmen özellikle hidrolik içerikler ayrıca şekillenir. MK da erken dönem 28. günde oluşan puzolanik etki mekanik dayanımı ve suya karşı direnci artırır. Deniz kıyısında curing edilen harçların mekanik özelliklerine göre buralarda kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir.

**Shuqiang ve diğ. 2014**, hidrolik harçların özelliklerini geliştirmek için NHL2 yerine belli ölçüde diyatomit, agrega olarak duvar atık tozu kullanılmıştır. NHL2 yerine %10, %20 oranında diyatomit ve farklı oranda su karışımı ile harç örnekleri oluşturulmuştur. Harçların fiziksel, mekanik özellikleri donma-çözülme ve asit-sülfat dayanımları 14., 28. Ve 90. günlerde test edilmiştir. Diyatomitin harçların yoğunluğunu azalttığı, basınç ve esneklik mukavemetini artırdığı görülmüştür (bu gelişim 14. günden sonra puzolonik etki görüldüğünde ortaya çıkmaktadır).

**Silva ve diğ. 2014**, hidrolik kirecin kireç ve hidrolik kirecin harmanlanmasıyla elde edilen harçların özellikleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır. 28. gündeki mekanik dayanım, gözenek yapısı, kuruma davranışı, ve 3 yıla kadar olan su buharı geçirgenliği test edilmiştir. Çalışmada XRD ile 20 C de hava kireci, doğal hidrolik kireç, ve agrega boyutuna göre 2 örnek incelenmiştir. Tanecik büyüklüğü dağılımı, basınç dayanımı, esneklik dayanımı testleri uygulanmıştır. Harmanlanmış harcın mekanik dayanımı hidrolik içerikli harç ile yükseltmek istenmiş ancak %25 oranındaki ekleme istenen

dayanımı artışı sağlayamamıştır. Hidrolik kireç harcının mekanik dayanımı harmanlanmış harçtan 4 kat daha fazladır. Harmanlanmış harçta hidrolik katkı gözeneklilik dağılımını artırmış, geniş gözenekliliği azaltmıştır (>10mm). Kireç oranı fazla olan örnekler suyu daha hızlı emer ve yavaş kaybeder. hidrolik kireç oranı fazla olan örneklerde ise su emilimi ve kaybı hızlıdır. Hidrolik kirecin yapısında su emme ve kaybetme hızı daha yavaş, su buharı geçirgenliği daha düşüktür. Çünkü; gözenekleri 0.1mm den daha küçük boyutlardadır. Çalışmaya göre; harmanlanmış harcın özellikleri hava kirecinden çok da farklı değildir. Ancak %25 in üzerinde eklenen hidrolik kireç ile mekanik dayanım geliştirilebilir ve restorasyonda kullanılabilir.

*Antonio, 2015*, doğal hidrolik kireç esaslı, kireç- çimento karışımı ve saf kireç esaslı harç örneklerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Basınç dayanımı, kuruma büzülmesi ve geçirimsizlik testleri yapılmıştır. Bu çalışmalara göre, Sertleşme gelişimi saf kireç esaslı harçlarda kirecin karbonatlaşma süresi boyunca daha yüksek olduğundan, doğal hidrolik kireç daha fazla bağlayıcı esastır. Buna bağlı olarak daha yüksek esneklik ve basınç dayanımı gösterdiğinden, Curing koşullarının mekanik dayanımı ve büzülme etkilediği ortaya çıkmıştır. Çalışmanın ilk 28 günündeki farklı ortam şartları mekanik dayanımın yükseldiği gözlemlenmiştir.

*Koralay ve diğ. 2015*, Tripolis antik kenti yapılarından alınan harç ve sıva örnekleri ile kullanılan malzemede zamanla olan değişimler incelenmiş, elde edilen sonuçlar doğrultusunda koruma onarım çalışmalarında kullanılacak malzeme seçimi için veri toplandığı belirtilmiştir. Örnek alınan yapılar; Erken Bizans Kilisesi 4, Kemerli Agora, Hierapolis Caddesi, Sütunlu Cadde Duvarı, Erken Bizans Güney Sur dur. Bu yapılardan alınan harç ve sıva örneklerinin mineralojik, petrografik, jeokimyasal bileşimlerinin incelendiği belirtilmiştir. Harç ve sıva örneklerinde başlıca karşılaşılan minerallerin; kuvars, feldspat (ortoklaz, plajiyoklaz) mika (biyotit, muskovit) ile daha az oranda klorit, kalsit ve opak olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada harç ve sıva örneklerinde yer alan mineral ve litik bileşenlerin Tripolis Kenti çevresinin jeolojik yapısı ile uyumlu olduğu ve yakın bölgelerden temin edildiği belirtilmiştir. Örneklerde SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>O içeriklerinin diğer ana oksit elementlere göre yüksek olduğu görüldüğü, bu durumun örnekleri oluşturan mineral ve litik bileşenlerin çoğunlukla açık renkli minerallerden oluşması ve kireç bağlayıcı ile ilişkilendirilmiştir.

*Fang ve diğ. 2015*, kan katkılı kireç harçları incelenmiş ve geleneksel işçiliğin etkileri araştırılmıştır. Daha önceki çalışmalarda kan tozunun hava sürükleyici olarak kullanıldığı ve donmaya karşı direnç için de önerildiği belirtilmiştir. Kan tozunun Meksika, Çin ve Avrupa'da kullanıldığı belirtilmiştir. Kan katkılı kireç harçlarının bağlayıcı özelliklerinin daha yüksek olduğu ve özellikle pürüzsüz yüzeylerde olmak üzere farklı yüzeylerde kullanımlarının uygun olduğu belirtilmiştir. Su geçirimsizlik özelliğinin de kan katkılı harçlarda daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı hayvanlardan alınan kan örneklerinin harçlar üzerine olan etkilerinde çok büyük değişimler olmadığı ancak inorganik maddelerin ve işçiliğin farklılıklara neden olabileceği belirtilmiştir. İletkenlik testi sonuçlarına göre protein içerikli katkıların harçların performansını artırdığı sonucuna varılmış ve kan kullanımı tavsiye edilmiştir. Kanın içindeki proteinlerin yüzeydeki kristal gelişimini kontrol altında tuttuğu ve yoğun bir kabuk tabakası oluşturduğu ve bu tabakanın da sertleşen harcın yüzey özelliklerini etkilediğinden bahsedilmiştir. Harcın orta tabakalarında kanın hava sürükleyici etkisinin olduğuna, bu sayede arayüzde de özelliklerin (yapışkanlık, su tutma) gelişmesini sağladığı ve hava koşullarına karşı direnci geliştirdiğine değinilmiştir.

*Pavlik ve diğ. 2015*, zeolit ve metakaolin katkı maddelerinin, kireç harçlarının basınç dayanımı, gözenekliliği, büzülme, çekme ve soğuğa karşı dayanımları üzerine olan etkileri 1 yıllık periyotta CO<sub>2</sub> li ve CO<sub>2</sub> siz ortamda araştırılmıştır. Bağlayıcının mineralojik kompozisyonundaki değişim X-ışını ve TGA analizleriyle belirlenmiştir. Kireç harçlarının nemli ortamda karbonatlaşma süreçleri tamamlanmadıysa hidrolik özelliklerinin eksik, soğuğa karşı dayanımlarının düşük olduğu görülüyor. Puzolan katkılı harçların büzülme oranlarının düşük olduğu ve % nemli ortamda basınç dayanımı ve soğuğa karşı direnci olumlu yönde etkilediği sonucuna varılıyor. % 50 oranında katkı malzemeleri kullanıldığı takdirde basınç dayanımı, büzülme ve soğuğa karşı dayanımda önemli ölçüde olumlu etkiler gözleniyor ancak uygun ortam şartlarının gerekliliği üzerinde durulmuştur. Metakaolin ve zeolit katkılı harçların su içinde stabilize olduğu donma karşı direnç gösterdiği ve nemli ortamda sertleştiği sonucuna varılıyor. Katkisiz kireç harçları ise aksine ne suda sertleşme ne de donma ve çözölmeye karşı direnç gösteriyor. Metakaolinin puzolonik reaksiyonunun zeolitten yüksek olduğu gözlemleniyor. %65 oranında bağıl neme sahip ortamda hava girişi olan katkılı harçların puzolanik reaksiyon yayılımı sınırlı olduğu, puzolanik katkılı harçların kuru ortamda



kullanımına dair bilgilerin henüz eksik olduğu ancak nemli ortamda kullanımlarının tavsiye edildiği belirtiliyor.

**Schackow, ve diğ. 2015** Çalışmada portland çimentosu yerine %10,25 ve %40 oranlarında pişmiş tuğla atıklarının kullanılmasının harcın özellikleri üzerine olan etkilerini belirlemektir. Harcın mikro yapısı SEM ile içeriğindeki mineral kompozisyonu XRD ile belirlenmiştir. XRD ve FTIR analiz sonuçlarına göre, toz halindeki pişmiş tuğla atıklarının puzolanik materyal ile benzer olduğu, kaolin dehidroksilasyonu ve amorf silikanın 700°C üstünde ortaya çıktığı görülmüştür. % 40 pişmiş tuğla atığı kullanılan örneklerin gözeneklilik ve su emme kapasitesinin, basınç dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Pişmiş tuğla atığı katkısı harca mikroyapısal olarak değişimlere neden olur. Bu da fiziksel ve mekanik davranışı etkiler. %10 oranında eklenen pişmiş tuğla atığı harcın esnekliğini olumlu yönde etkilediği, ancak daha yüksek oranlarda kullanımı esneklik konusunda kontrolü gerektirdiği belirtilmiştir.

**Stefanidou ve diğ. 2015**, Roma-Bizans yapılarına ait tuğlaların morfolojik, fiziksel, mekanik özellikleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Çalışmada tuğlaların yüzeylerindeki pürüzlülük sayesinde kireç ile yapışkanlığının oldukça güçlü olduğu belirtilmiştir. Roma ve Bizans döneminde kullanılan pişmiş tuğla ürünlerin ham madde ve tekniklerinin çok büyük değişiklikler göstermediği sonucuna varılmıştır.

**Zhao ve diğ. 2015**, Çin’de yer alan dört farklı şehirdeki yapılardan alınan harç örneklerinin içindeki organik katkı maddeleri incelenmiştir. Kimyasal, mineralojik ve mekanik testler uygulanmıştır. XRD ve SEM ile kireç agrega etkileşimi incelenmiştir. Pirinç kabuğu ağırlıkça %5 oranında eklendiğinde; basınç direncini, yapışkanlık gücünü, sertleşmeyi artırır. Birim hacim ağırlığını, suya karşı direnci azaltır. Ağırlıkça %5 oranında tung yağı eklendiğinde; suya karşı direnci geliştirir(su emilimini azaltarak), portlandit-kalsit dönüşümünü hızlandırır. Ağırlıkça %1 oranında domuz yağı eklendiğinde; sertleşme hızlanır, suya karşı direnç artar. Ağırlıkça %3 den az domuz kanı düşük basınç dayanımı ve suya karşı direnç sağlar. % 5 den fazla olan domuz kanı ise basınç dayanımını azaltır ancak hava girişini ve donma-çözülme direncini arttırdığı belirlenmiştir.

# İKİNCİ BÖLÜM

## KİREÇ HARÇLARI

### 2.1. Kireçtaşı

Kirecin ham maddesi olan kireçtaşı; karbonatlı sedimanter kayalar sınıfında incelenmektedir. Taneseli bileşime göre yapılan sınıflandırmada kireçtaşları, oolitik, pelletli ve fosilli olmak üzere 3'e ayrılmaktadır (Figür 2.1). Üst üste biriken fosillerin CO<sub>2</sub>'de çözünmesi ve CO<sub>2</sub>'nin suda çözünmesi ( $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$ ) ile kalsiyum bikarbonat, sonrasında ısı ve basınç değişimleri ile tekrar çökme sonucunda kireçtaşı yatakları oluşmaktadır. Tekrar çökme sonucu oluşan bazı katmanlar yumuşak bir yapıda, bazıları ise sıcaklığın ve basıncın etkisiyle metamorfizma geçirerek mermer gibi iri kristalli olabilir<sup>21</sup>. Karbonatlı kayalar kalsit, aragonit (CaCO<sub>3</sub>), manyezit (MgCO<sub>3</sub>) ve dolomit (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) olmak üzere doğada dört farklı mineral olarak bulunabilir. Kireç üretiminde kullanılan kireçtaşları ise genellikle kalsittir<sup>22</sup>. Kalsitin doğada saf halde bulunması oldukça zordur. Genellikle yapısındaki kil damarları nedeniyle farklı oranlarda SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşenlerini içerir. Kireçtaşının kristal yapısı ve içeriğindeki bileşenler, kirecin kalitesini ve özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerdendir<sup>23</sup>.

**Oolitik Kireçtaşları:** Oolit oluşumları sığ denizel bölgelerde karbonatça doymuş, tuzluluk oranının yüksek olduğu ve sudan karbonat çeken organizmaların bulunmadığı denizel bölgelerde görülmektedir. Bu bölgelerde var olan herhangi bir karbonat parçası, pellet, kuvars ve glukonit gibi mineraller üzerinde CaCO<sub>3</sub> tabakaları çöker. Bu çökme, merkezdeki mineralin formunda oluşur ve çoğunlukla çimentolaşmış şekilde bulunurlar.

**Pelletli Kireçtaşları:** Küresel formda dokusal bir özellik göstermeyen genellikle organizma dışkılarından oluşan ve iç dokuya sahip olmayan karbonat çamuru görünümündedirler. Denizel Mg-Ca çökmesi ile dokusal özellik kazanırlar.

---

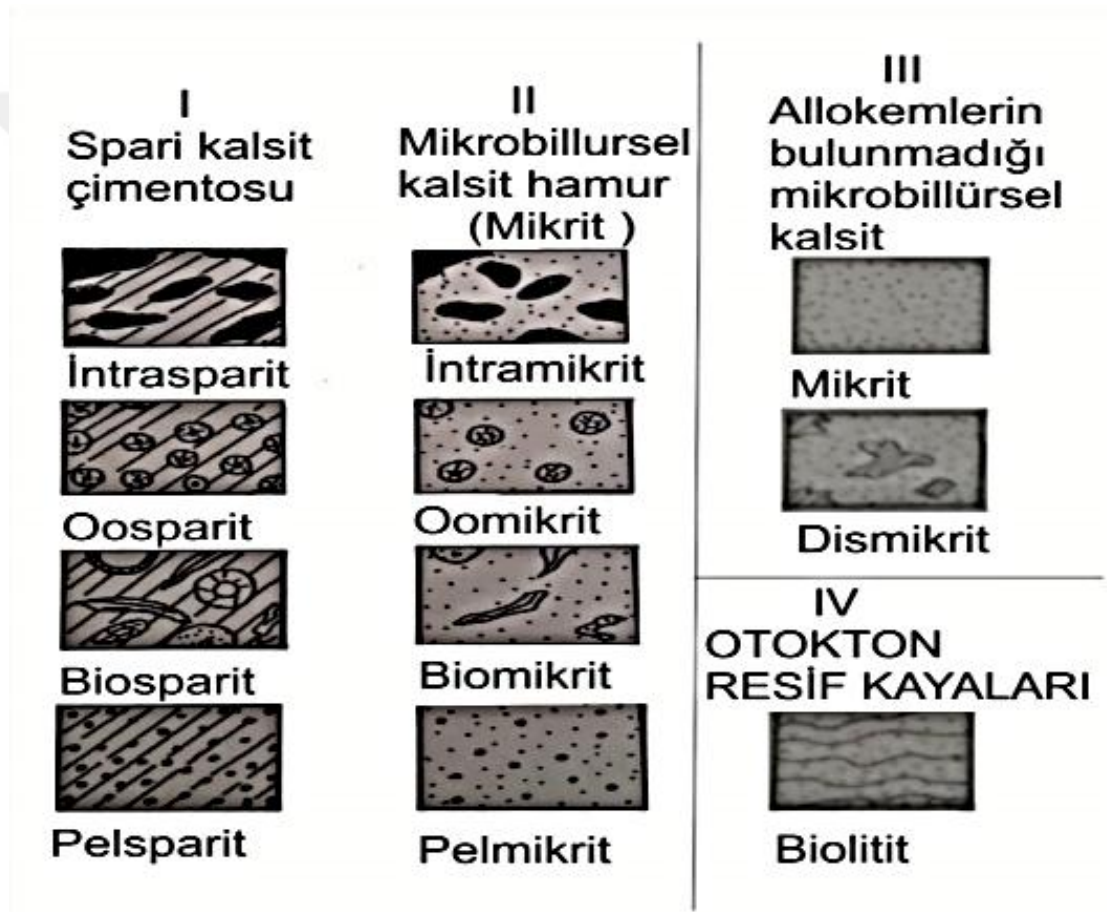
<sup>21</sup> Erkan 2000, 58.

<sup>22</sup> Özyürek 1998,1-2.

<sup>23</sup> Toprak 2007, 3.

**Fosilli Kireçtaşları:** Organizma ve bitkilerin karbonattan oluşan sert kısımlarını içeren, orijinal büyüklüklerini kaybetmiş, biyoklast adı verilen kavkı veya iskeletlerden, kalıntılardan oluşmaktadır. İç kısımları incelendiğinde hangi organizmaya ait oldukları söylenebilir. Tebeşir fosilli kireçtaşlarındandır<sup>24</sup>.

**Mermer:** Kireçtaşı ve dolomitin doğada ısı ve basıncın etkisiyle metamorfizma geçirmesi sonucu oluşmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak içeriğinde tremolit, hornblend, diyopsit, forsterit, muskovit, plajiyoklaz gibi minerallere de rastlanır.



Figür 2.1. Karbonatlı kayaçların (Folk, 1979) sınıflaması.

## 2.2. Bağlayıcı Olarak Kireç

Kirecin sınıflandırılması ilk olarak 19. yüzyılın başında Louis Vicat tarafından kireçtaşının kalsiyum ve safsızlıkları oranına göre yapılmıştır.

<sup>24</sup> Erkan 1998, 66.

Buna göre;

- Hidrolik olmayan kireçler
  - Yağlı/yüksek kalsiyumlu kireç\hava kireci
  - Zayıf/yağsız Kireç
  - Dolomitik Kireç
- Hidrolik kireçler
  - Zayıf hidrolik kireçler
  - Orta derecede hidrolik kireç
  - Tam hidrolik kireçler

Yüksek kalsiyumlu kireçler %95 ve üzeri, yağlı\zayıf kireç olarak bilinen kireçler %90- 95 arası kalsiyum içerir. Bu tür kireçlerin hızla söndüğü bu nedenle sönme sırasında çok fazla ısı ürettiği ve yüksek oranda hacimce genişlediği belirtilmiştir. Su ve su buharı geçirgenliklerinin yüksek olması nedeniyle hidrolik kirece göre plastik özellikleri daha gelişmiştir. Havadaki CO<sub>2</sub> ile sertleştikleri için hava kireci olarak da bilinirler. Mg oranı %30'dan fazla magnezyum karbonat içeriğine sahip dolomitik kireçler ise daha az plastiktir, çok yavaş söner ve bu nedenle az miktarda ısı ortaya çıkar, hacimce daha az genişler. Mekanik özellikleri yüksek kalsiyumlu kireçlerden çok daha yüksektir<sup>25</sup>.

Hidrolik kireçler, içeriğindeki safsızlıkların (kil damarları) oranı %15 in üzerinde olan kireçtaşlarının 900-1250°C'de yakılması ile elde edilir. Kireçtaşının yanması sırasında kireç ve içeriğindeki kil damarları reaksiyona girer C<sub>2</sub>S (kalsiyum disilikat), C-A (kalsiyum alüminat) ve bir miktar CaO çıkar. C<sub>2</sub>S ve C-A söndürme sırasında su ile reaksiyona girer ve hidrolik reaksiyon ürünleri (C-S-H ve C-A-H) oluşur. Hidrolik kirecin sertleşmesi hidrolik reaksiyon ve serbest kalan kirecin karbonatlaşması ile gerçekleşir<sup>26</sup>.

<sup>25</sup> Pavia-Caro 2008,1807-1811; Güney 2012, 7-10.

<sup>26</sup> Güney 2012,7-8, Torraca 2009,59.

Kirecin hidrolik değerlerinin değişkenlik gösterebileceği, toplam silika ve alüminyum oranının kirece oranıyla hidroliklik derecesinin hesaplanabileceği belirtilmiştir<sup>27</sup>.

$$\text{Hidrolik indeks} = (\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{SiO}_2) / (\% \text{CaO} + \% \text{MgO})$$

$$\text{Çimentolaşma indeksi} = (2.8\% \text{SiO}_2 + 1.1\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.7\% \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\% \text{CaO} + 1.4\% \text{MgO})$$

Buna göre; hidrolik indeks 0.1 ve 0.2 arası zayıf hidrolik, 0.2 - 0.4 arası orta, 0.4 ün üzerindeyse yüksek hidroliktir.

Tarih boyunca kil, alçı ve kireç bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklara erişmenin mümkün olmadığı dönemlerde, düşük sıcaklarda ayrışabilen alçının bağlayıcı olarak kullanıldığı bilinmektedir<sup>28</sup>. Kirecin bağlayıcı olarak en erken kullanımının ise MÖ. 1700 de Knossos Sarayında görüldüğü belirtilmiştir. Ancak bu kullanımın daha ziyade yapı taşları arasındaki boşluğu doldurmaya yönelik olduğu, kirecin yapı malzemesi olarak kullanılmasının ise gelişen teknolojiyle Roma'da M.Ö 300 lerde mümkün olabildiği belirtilmiştir<sup>29</sup>.

Kireçtaşının kalsine edilmesi ile gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucunda CaO yani sönmemiş kireç ortaya çıkmaktadır. Sönmemiş kirecin su altında bekletilmesi ile (kirecin söndürülmesi) Ca(OH)<sub>2</sub> yani sönmüş kireç, sönmüş kirece agrega ve katkı malzemelerinin eklenmesi ile harç elde edilir. Kirecin ve kullanılan agregaların özelliklerine göre bu karışım havanın CO<sub>2</sub>'si veya hidrolik reaksiyon ile sertleşir. Roma Dönemi'nde kirecin içine puzolan adı verilen Vezüv bölgesindeki volkanik toprağın eklenmesiyle kireç harcının su altında da sertleşebilme özelliği gösterdiği keşfedilmiş ve bu malzeme Roma Betonu ismini almıştır<sup>30</sup>. Vitruvius kirecin puzolan ile karıştırıldığında oldukça sağlam ve su altında sertleşebilen türde harç elde edilebileceğinden bahsetmektedir<sup>31</sup>.

<sup>27</sup> Güney 2012, 9; Çizer 2004,17.

<sup>28</sup> Akman 2003, 33.

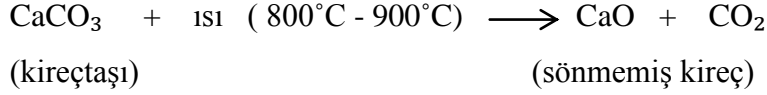
<sup>29</sup> Torraca 2009, 50.

<sup>30</sup> Çizer 2004, 5.

<sup>31</sup> Vitruvius, *Mimarlık Üzerine On Kitap*, VI, 32.

### 2.2.1. Kireçtaşının Yakılması

Yüksek kalsiyumlu kireçtaşının, 800 °C'nin üzerinde sıcaklıkta, % 100 CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda ve 760 mmHg basınç altında yakılması ile sönmemiş kireç elde edilmektedir. Kireçtaşı yanma esnasında CO<sub>2</sub> çıkışı ile ağırlığının % 44 ünü kaybeder<sup>32</sup>.



Kireçtaşının yakılması için büyük kireç fırınlarının hazırlandığı ve yakıt olarak kömür veya ağaç kullanıldığı bilinmektedir. Bu fırınların kısa sürede hızlı yanmayı sağlayan yüksek ısıli fırınlar veya daha uzun sürede yavaş yanan daha düşük ısıli fırınlar olmak üzere iki çeşit olduğu ve buralarda maharetli kişilerin çalıştırıldığı kaynaklarda yer almaktadır (Fig. 2.2). Aralıklı yanmanın olduğu kireç fırınlarında kirecin doğrudan yakıtla temas etmeden 1.5-2 gün süreyle, 900 °C'nin altında sürekli olarak yakıldığı ve soğultulduktan sonra yeni kireçtaşı eklenmeden önce kalıntıların temizlendiği, bu sayede daha temiz sönmemiş kireç elde edilebildiğinden bahsedilmiştir. Sürekli yanmanın olduğu kireç fırınlarında ise kireçtaşı ve yakıtın üst üste katmanlar şeklinde döşenerek fırının alt kısmından ateş verilir ve yakılmış kireçtaşı fırının alt kısmından toplanır. Bu sırada fırının üst kısmından yakıt ve kireçtaşı yüklenecek üretime devam edildiği belirtilmiştir<sup>33</sup>. 19. yüzyıldan sonra fırınlarda kullanılan farklı yakıtlarla daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilmiştir. Özellikle içeriğindeki kil oranı %15 in üzerinde olan marnlı kireçtaşlarının yüksek ısıda (950°C < ) yakılması ile kireç ve kil arasında oluşan reaksiyon sonucunda çimentonun en ilkel hali olarak bilinen C<sub>2</sub>S ve C<sub>3</sub>S varlığından kalsinasyon sıcaklığının tahmin edilebileceği üzerinde durulmuştur<sup>34</sup>.

<sup>32</sup> Çizer 2004; Toprak 2007; Güney 2012.

<sup>33</sup> Çizer 2004, 9-11.

<sup>34</sup> Callebaut et al. 1999,17-26; Moropoulou et al. 2001, 633-639.

### 2.2.1.1. Sönmemiş Kireci Etkileyen Faktörler

**Kireçtaşının Kimyasal Kompozisyonu:** Sönmemiş kirecin özelliklerini etkileyen faktörlerin başında kireçtaşının kimyasal kompozisyonu gelmektedir. Saf kireçtaşının ayrışması için 898 °C, saf MgCa<sub>3</sub> için 402-480°C ısının yeterli olduğu, dolomitik kireçtaşlarında ise daha yüksek sıcaklığın gerekeceği, manyezit ve dolomit için ayrışma ısısının MgCO<sub>3</sub>/CaCO<sub>3</sub> oranına göre değişmesi nedeniyle moleküler olarak daha fazla ağırlık kaybı ve daha az CaO elde edileceği belirtilmiştir. Kil oranı %15 ve üzerinde olan kireçtaşlarının yüksek sıcaklarda kalsine edilmesiyle (>950°C) kireç-silikat, kireç-alüminatlar arası reaksiyon sonucunda hidrolik ürünler oluşmaktadır<sup>35</sup>.

**Kireçtaşının Fiziksel Özellikleri:** Kireçtaşının yanması yüzeyde başlar ve iç kısımlara doğru devam eder<sup>36</sup>. Kireçtaşının parçalarının boyutuna göre ısının etkisi değişkenlik göstermektedir. Küçük parçaların kalsinasyonu daha kısa sürede ve tamamen gerçekleşebilirken büyük parçaların kalsinasyonu için daha yüksek ısı ve daha uzun süre gerekebilir veya parçaların iç kısımlarının kalsinasyonu tamamlanamayabilir. Bu yüzden yakılan kireçtaşı parçalarının büyüklüğü kalsinasyonun tam olarak gerçekleşmesi ve yakılma süresi için belirleyicidir. Kireçtaşı ne kadar gözenekli ise sönmemiş kirecin gözenekliliğinin de benzer oranda olacağı ve gözenekliliği yüksek olan sönmemiş kirecin daha hızlı hidrate olacağı, daha az gözenekliliğe sahip, yoğunluğu yüksek bir kireçtaşının yanma işleminden sonra, yoğunluğu yüksek, düşük gözeneklilikte ve düşük yüzey alanı değerlerine sahip sönmemiş kireç ortaya çıkacağı belirtilmiştir<sup>37</sup>.

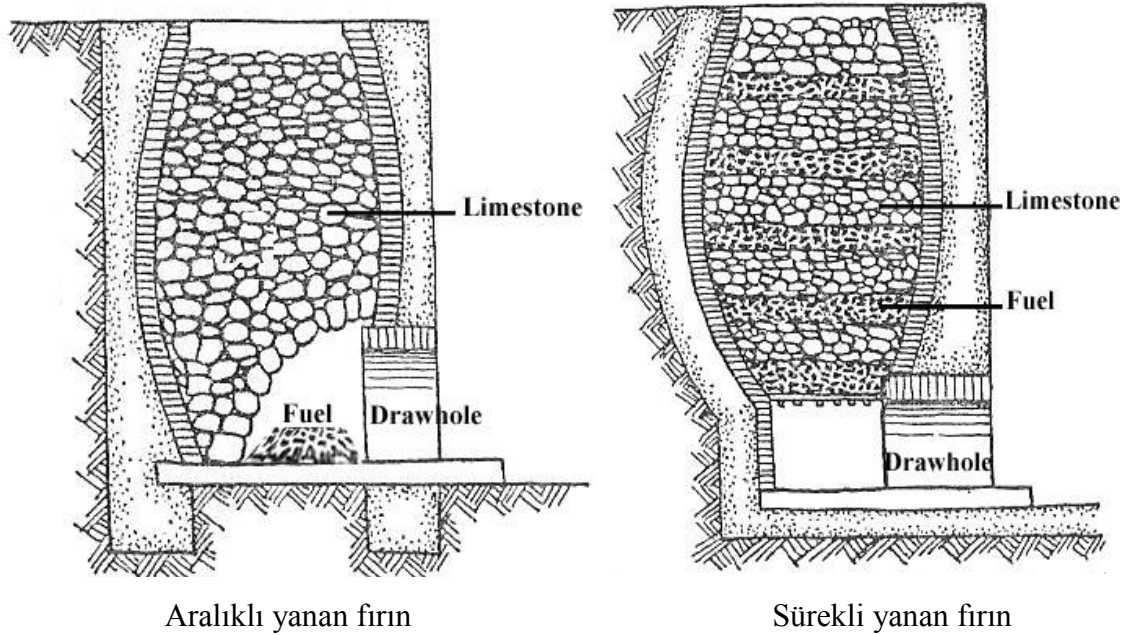
**Kalsinasyon Şartları:** Kirecin kalsinasyonu için en uygun sıcaklığın 900°C olduğu belirtilmiştir. 900°C’de kalsine edilen kireç; geniş yüzey alanına, yüksek gözenekliliğe ve yüksek reaktiviteye sahiptir ki bu özellikler kirecin söndürülmesinde ve sonrasında harcın kalitesinde oldukça etkilidir. Antik dönem kireç fırınlarında ısının stabil hale getirilmesi teknolojik olarak mümkün olamadığı için bazen 900°C nin altında kalan sıcaklığın, CaCO<sub>3</sub> ün tamamen CaO’ e dönüşebilmesi için yeterli olmadığı ve

<sup>35</sup> Moropoulou 2001, 663-639.

<sup>36</sup> Özyürek 1998, 7.

<sup>37</sup> Moropoulou et al. 2001, 633-639 - Toprak 2007, 3-4.

yeterli reaktiviteye ulaşamadığı için kirecin söndürülmesi sırasında reaksiyona girmediği belirtilmiştir. Bazen de 900°C'nin üzerinde yakılan kireçtaşının sebep olduğu sinterleşme adı verilen düşük gözenekliliğe sahip yanmış CaO topaklanmaların meydana geldiği ve bu topakların sönmemesinin yüzyıllar sonra dahi gerçekleşebileceği, bu durumda hacimce genişlemeden dolayı harcın dayanımını olumsuz yönde etkileyeceği belirtilmiştir<sup>38</sup>. Isı kontrolünün sağlanması mümkün olmadığı için kireç fırınlarında kullanılan yakıt türünün de, sönmemiş kirecin reaktivitesi üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirtilmiştir. Geleneksel kireç fırınlarında yakıt olarak ağaç veya kömür kullanılmıştır. Bu şekilde yakılan fırınlarda sıcaklık 900°C civarındadır ve kirecin reaktivitesini kaybetmemesi için uygundur. Ancak 19.yüzyılda farklı yakıtların kullanılması ile daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabildiği ve bunun kirecin reaktivitesini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir<sup>39</sup>.



Figür 2.2. Fırın türleri<sup>40</sup>

<sup>38</sup> Torraca 2005, 51.

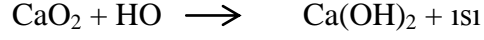
<sup>39</sup> Moropoulou et al. 2001,663-639.

<sup>40</sup> Çizer 2004,11.



### 2.2.2.Kirecin Söndürülmesi

Kalsinasyon işleminden sonra elde edilen sönmemiş kirecin (CaO) suda bekletilmesiyle plastik özelliğe sahip sönmüş kireç elde edilmektedir. Bu reaksiyon sonucunda CaO kristallerinin formları değişir ve Ca(OH)<sub>2</sub>'e (portlandit) dönüşür.



Sönmemiş kireç ve su birleşimine hidrasyon ya da sönme denildiği ancak bu ikisinin birbirinin yerine kullanılabilmesine rağmen farklı anlamlara gelebileceğinden bahsedilmiştir. Hidrasyon yalnızca bir miktar su kullanılarak yapılan kuru söndürmeyi ifade etmektedir<sup>41</sup>. Hidrate kirecin (kuru söndürme) en büyük problemi suyun yeterli gelmediği durumlarda sönmeyen CaO olarak kalan karbonat yumrularının kalmasıdır. Bu yumrular yüzyıllar sonra bile sönebilir, bu da hacimce genişlemeye neden olacağından harcın dayanımını olumsuz yönde etkileyebilir. Söndürme ise CaO in su dolu bir haznede (kireç kuyularında) bekletilmesi ile elde edilen daha fazla su oranına sahip ve plastik özelliktedir. Vitruvius söndürme işleminin minimum iki yıl olması gerektiğinden bahsetmektedir<sup>42</sup>. Söndürülme işlemi bu yolla yapılmış olsa dahi %100 tamamlanmayabilir. Kirecin söndürüldüğü kuyularda reaksiyona girmemiş CaO toprakları veya kireçtaşı parçaları da bulunabilir. Bu aşamada kirecin kullanılmadan önce bu yumruların arındırılması için elekten geçirildiğinden bahsedilmektedir<sup>43</sup>.

#### 2.2.2.1.Sönmüş Kireci Etkileyen Faktörler

Sönmüş kirecin kalitesi; CaCO<sub>3</sub>'ün kalsinasyonu sırasında ortam şartları ve malzeme özelliklerine göre mikroyapıda farklılıklara yol açtığı ve CaO kristallerinin mikro yapısındaki bu farklılıkların sönmüş kirecin kalitesi üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir<sup>44</sup>. Bununla beraber söndürme sırasında ortaya çıkan sıcaklık, kireç\su oranı, söndürmede kullanılan suyun özellikleri ve kirecin su içinde bekleme süresi sönmüş kirecin kalitesinde belirleyicidir<sup>45</sup>.

---

<sup>41</sup> Çizer 2004, 13.

<sup>42</sup> Borelli 1999,6.

<sup>43</sup> Pecchioni et al. 2004, 12-14.

<sup>44</sup> Navrátilová et al. 2017,1-9.

<sup>45</sup> Rossel et al. 2014, 423- 430.

**Sönmemiş Kirecin (CaO) Gözenekliliği:** Sönmemiş kirecin gözenekliliği ne kadar fazla ise söndürme sırasında suyun o kadar derine nüfuz edebildiği ve buna göre de sönme reaksiyonunun hızlı olabileceği belirtilmiştir. Düşük gözenekliliğe sahip kirecin söndürülmesi daha yavaş olur ve daha az ısı açığa çıkarken yüksek gözenekliliğe sahip kireç için durum tam tersidir. Bu reaksiyonda ortaya çıkan yüksek ısının reaksiyonunun hızını arttıracacağı ancak bu durumun harcın plastikliğini olumsuz etkileyeceği belirtilmiştir<sup>46</sup>.

**Kireçtaşının ve Sönmüş Kirecin Kimyasal Özelliği:** Kireçtaşının içindeki safsızlıkların (kil damarları) oranı arttıkça reaksiyon yavaşlar ve ortaya çıkan ısı azalır. Bu durum safsızlıkların CaO gözeneklerini tıkamasıyla açıklanabilir. Sönmemiş kirecin MgO içeriğinin %5 in üzerinde olması durumunda daha uzun sönme süresine ihtiyaç duyduğundan sönmenin yavaşlayacağı ve sönmüş kirecin de plastikliğinin azalacağı belirtilmiştir<sup>47</sup>. Ayrıca MgO içeriğinin yüksek olması durumunda sönmenin tam olarak gerçekleşebilmesi için yüksek kalsiyumlu kireçten daha fazla atmosferik basınca ihtiyaç duyulduğu ve Mg(OH)<sub>2</sub> in söndükten sonra hacimce daha az genişlediği belirtilmiştir.

**Söndürme Sırasında Kullanılan Suyun Özellikleri:** Suyun içeriğindeki tuzların gözeneklerin kapanmasına neden olarak reaksiyonu engellediği ve sonrasında harcın yapısında bozulmaya neden olduğu belirtilmektedir. suyun içindeki klorit ve şekerin sönme reaksiyonunu hızlandırabildiği buna rağmen söndürme sırasında kullanılacak olan suyun saf olmasının gerektiği üzerinde durulmuştur.

**Kireç/su oranı:** Söndürme için gerekli olan su miktarının sönmemiş kirecin özelliklerine göre değişebileceği, yüksek kalsiyumlu kirecin söndürülmesi için daha fazla suya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. CaO/su oranının genelde 1/2,5- 1/6 oranları arasında değiştiği kuru sönmenin ise; 1/0,5-0,75 oranında kireç/su oranına sahip olduğu belirtilmiştir. Söndürme sırasında yeterli miktarda suyun kullanılmaması bölgesel olarak ısının yükselmesine neden olacağından kirecin yanabileceği belirtilmiştir. Bu durumda harcın özelliklerini olumsuz etkileyen karbonat yumruları oluşabilir<sup>48</sup>.

<sup>46</sup> Navrátilová et al. 2017, 1-9.

<sup>47</sup> Borelli 1999,6-Toprak 2007, 7.

<sup>48</sup> Lawrence 2009, 885-889.

**Sıcaklık:** Sıcaklığın söndürme hızını arttıracığı ancak harcın plastikliğini olumsuz yönde etkileyebileceği, söndürme işlemi için ideal sıcaklığın 71-93°C olduğu belirtilmiştir<sup>49</sup>.

**Söndürme süresi:** Sönmemiş kirecin suda bekleme süresinin artışı ile plastik özelliği ve su tutma kapasitesi artar. Söndürme işleminde suda daha uzun süre bekletilen harcın kristal boyutu küçülür, reaksiyona girecek olan yüzey alanı artar ve böylelikle karbonatlaşma oranının da artacağı belirtilmiştir<sup>50</sup>.

**Karıştırma:** Kirecin söndürülmesi sırasında reaksiyonun hızını artırır, suyun sönmemiş kirece daha iyi nüfuz etmesini sağlar. Karıştırma ile bölgesel olarak aşırı ısınmanın da önüne geçtiği belirtilmiştir. Karışımın yetersiz olması sönmüş kirecin kıvanının her yerde aynı olmamasına ve bölgesel olarak ısınmaya neden olacağı ve bunun sonucunda da karbonat yumruları ve lekelenmeler görülebileceği belirtilmiştir<sup>51</sup>.

### 2.3. Agregalar ve Katkı Malzemeleri

Agregalar ve katkı malzemeleri kireç harçlarında dolgu malzemesi olarak kullanılırlar ve harcın özelliklerini geliştirirler. Agregalar, mineralojik, kimyasal özellikleri ve kristal yapılarına göre kireç ile reaksiyona giren ve girmeyen agregalar olarak ikiye ayrılmaktadır.

#### 2.3.1. Agregalar

Harcın bileşenlerinden biri olan agregalar eğer kireç ile reaksiyona girmiyorsa dolgu malzemesi olarak işlev görür ve harcın sertleşmesi sırasında oluşabilecek büzüşme çatlaklarını önler. Bağlayıcı/ agrega oranı, agreganın şekli, tane büyüklüğü ve dağılımının, harcın genel özelliklerini etkilediği belirtilmiştir<sup>52</sup>. Agreganın hidrolik olmayan harçlardaki en önemli etkisi gözeneklilik üzerinedir. Yuvarlak formu köşesiz

<sup>49</sup> Kemperl – Macek 2009, 84-88; Navratilova et al. 2017.

<sup>50</sup> Ashurst 1990 <https://issuu.com/> (12.05.2019); Cazalla et al. 2000, 1070-1076; Silva et al. 2011; Kerstin et al. 2002, 62-75.

<sup>51</sup> Toprak 2004, 8; Rosell 2014, 423-430.

<sup>52</sup> Güney 2012, 9-10. Papayianni et al. 2006, Stefanidou et al. 2005, Lanas et al. 2003

agregaların bağlayıcı ile bağının zayıf olacağından, harcın içinde daha iri boyutta boşluk oluşturacağı ve mekanik dayanımı olumsuz yönde etkileyebileceğinden bahsedilmiştir. 2 mm'den küçük ince agregaların ve 16 mm 'ye kadar olan orta büyüklükteki çakıl taşları gibi kaba agregalara kıyasla daha yüksek mukavemet sağladığı belirtilmiştir<sup>53</sup>. Kireçtaşının agrega olarak kullanımının da harcın dayanımını olumlu etkileyebilir<sup>54</sup>.

Kireçle reaksiyona giren, puzolanik özellikteki 125 µm'nin altında olan agregaların harcın dayanımını arttırdığı ve harca su altında sertleşebilme özelliği kazandırdığı, 2 mm'den daha küçük agregaların iri boyuttaki agregalara göre harcın dayanımını olumlu yönde etkiledikleri belirtilmiştir<sup>55</sup>.

### **2.3.1.1. Puzolan**

Puzolan silisli ve alüminatlı, uygun nem ve sıcaklıkta Ca(OH)<sub>2</sub> ile reaksiyona girerek havanın karbondioksitine ihtiyaç duymadan sertleşebilen bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Romalıların İtalya'nın Napoli ili yakınlarında yer alan Pozzoli kasabesindeki volkanik toprağı sönmüş kireç ile karıştırarak Roma betonunu ürettikleri ve malzemenin bu yüzden Puzolan ismini aldığı belirtilmiştir<sup>56</sup>.

Puzolanlar içerdiği alüminyum ve silikatlarla kireçle reaksiyona girerek hidrolik özellikte harç üretiminde tarih boyunca kullanılmıştır. Doğal puzolanlar genellikle volkanik topraklardır, yapay puzolanlar ise düşük sıcaklıklarda pişirilmiş tuğla ve seramiklerden elde edilmektedir. Bu tür pişmiş tuğla ve seramik gibi yapay puzolanlarla hazırlanan harç ve sıvalar hidrolik özelliğe sahip olup Roma döneminde "Cocciopesto" adıyla bilinmektedir ve genellikle hamam, sarnıç, su kemeri gibi neme ve suya maruz kalan yerlerde ve deniz kenarında veya içinde inşa edilen yapılarda kullanılmıştır. Bu tür agregaların kullanıldığı harçların ve sıvaların M.S. 2.yy'dan bu yana yaygın olarak kullanıldığı belirtilmiştir<sup>57</sup>.

<sup>53</sup> Lanas et al. 2003; Stefanidou, Papayianni 2005

<sup>54</sup> Lanas et al. 2004,2191 -2201.

<sup>55</sup> Lanas et al. 2003, 1867-1876; Stefanidou et al.2005, 914-916.

<sup>56</sup> Güney 2012, 11.

<sup>57</sup> Torraca 2005, 55.

### 2.3.2. Katkı Malzemeleri

Katkı maddeleri, harcın özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır. Katkı maddeleri süttten kazein, yumurta akı, haşlanmış keten tohumu yağı, taze kan, at toynaklarından keratin, hayvansal yağdan don yağı, balmumu, malt, bira ve idrar gibi organik veya inorganik olabilir. Bu katkı maddelerinin, sertleşme süresinin uzatılması, harç dayanımının iyileştirilmesi ve harcın işlenebilirliğinin artırılması gibi harcın özelliklerini etkileyebileceği yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur<sup>58</sup>.

### 2.4. Kireç Harçları

Kireç harçları, bağlayıcı olarak kireç, dolgu malzemesi olarak agrega ve harcın özelliklerini geliştiren katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Bağlayıcı\agrega oranının kirecin plastikliği ve agreganın özelliklerine göre değişeceği ve geleneksel olarak 1 ölçü sönmüş kirece 3 ölçü agreganın eklenerek harcın hazırlandığı belirtilmiştir. Ancak bağlayıcının plastikliğinin az olması veya agreganın iyi öğütülmediği durumda bu oran artabileceği, kireç ve su oranının artması ile harcın büzüşme çatlaklarının artarak mekanik özelliklerinin olumsuz etkilenebileceği üzerinde durulmuştur<sup>59</sup>. Kireç harçlarının genel olarak; su tutma kapasiteleri yüksek olduğu için plastik özelliğinin gelişmiş olduğu, su buharı geçirimsizliği yüksek olduğu için nefes alabilen bir malzeme olduğu ve bu nedenle iç-dış mekanlarda kullanıma uygun olduğu ve mekanik olarak oluşabilecek olan çatlakların ıslanma kuruma döngüsü ile kendi kendini onarabildiği belirtilmiştir<sup>60</sup>.

### 2.5. Kireç Harçlarının Sertleşmesi

Kireç harçları sertleşme özelliklerine göre hidrolik ve hidrolik olmayan harçlar olarak sınıflandırılmaktadır. Yüksek kalsiyumlu kireç (%95-90 oranında CaO içeren) veya % 30'un üzerinde MgO içeren kireçtaşlarından elde edilen kireç ile hazırlanan ve

<sup>58</sup> Güleç 1992,16; Cultrone et al.2005; 2278-2289; Fang et al, 2014, 144-150; Ventola 2011,3313-3318.

<sup>59</sup> Budak 2005, 15-Torraca 2005, 52.

<sup>60</sup> Palomo et. al 2002, pdfs.semanticscholar.org (02.01.2019), Pavia-Caro 2007, 05.003

puzolanik özellik taşımayan agregaların karışımı ile elde edilen hidrolik olmayan harçlar, havanın CO<sub>2</sub>' si ile reaksiyona girerek kirecin karbonatlaşması ile sertleşir.

Hidrolik kireç harçları ise, içeriğinde %15 den daha fazla safsızlıkları içeren hidrolik kireç kullanılarak veya saf kireç ile puzolanik agregaların karıştırılması ile elde edilir. Hidrolik kireç ile hazırlanan harçlar, kirecin içeriğindeki kalsiyum silikat ve alüminatların su ile reaksiyonu sonucu (C-S-H\C-A-H) sertleşirken; puzolanik agregaların kullanılmasıyla hazırlanan harçlar; sönmüş kirecin puzolanik malzeme ile reaksiyonu sonucu sertleşmektedir. Her ikisinde de silisyum ve alüminyum ile reaksiyona girmeyen bir miktar serbest kireç kalır ve o da karbonatlaşma ile sertleşir<sup>61</sup>.

### 2.5.1. Karbonatlaşma ile Sertleşme

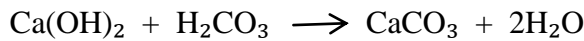
Karbonatlaşma harcın fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin oluşmasında oldukça önemlidir<sup>62</sup>. Karbonatlaşma prosesi önceki çalışmalardan edindiğimiz bilgilere göre aşağıdaki sırayla gerçekleşir<sup>63</sup>

1-CO<sub>2</sub>'in harcın gözeneklerinden içeri girmesi

2-CO<sub>2</sub>' nin harcın gözeneklerindeki suda çözülmesi ile karbonik asit (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) oluşumu



3-Kirecin karbonik asitle reaksiyonu sonucu CaCO<sub>3</sub> çökmesi



Yüksek kalsiyumlu kireçlerden elde edilen harçların sertleşmesi; sönmüş kirecin gözeneklerinde çözünen CO<sub>2</sub> ile portlandit (Ca(OH)<sub>2</sub>) kristallerinin reaksiyonu sonucunda CaCO<sub>3</sub> çökmesi ile gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için CO<sub>2</sub> nin suyun içinde çözünmesi elzemdir. Karbonatlaşma boyunca hekzagonal

<sup>61</sup> Güney 2012,5.

<sup>62</sup> Güney 2003,6.

<sup>63</sup> Balen, Gemert 1994, 393-Lawrance et .al, 2006, 179.

portlandit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) kristallerinin zamanla rombohedral kalsit( $\text{CaCO}_3$ ) kristallerine dönüştüğü belirtilmiştir<sup>64</sup>.

### 2.5.1.1. Karbonatlaşmayı Etkileyen Faktörler

***CO<sub>2</sub> Konsantrasyonu:*** Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda karbonatlaşma hızının arttığı ancak karbonatlaşmanın yüzeyde başlayıp iç kısımlara doğru devam etmesi ve yüksek karbonatlaşma sırasında ortaya çıkan yüksek ısı nedeniyle büzüşen kirecin gözeneklerinin kapanıp karbonatlaşmanın durabileceği belirtilmiştir<sup>65</sup>. Farklı CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  çözeltisinin farklı kristal yapılarda çökelebileceği ve farklı mekanik özelliklere sahip olacağı yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur<sup>66</sup>.

***Su ve Nem Oranı:*** Nem suyun içinde çözünen CO<sub>2</sub> in kireç içine nüfuz edebilmesi için oldukça önemlidir. Karbonatlaşmanın gerçekleşebilmesi için nisbi nemin % 8'in üzerinde olması gerektiği, yeterli nem ve suyun varlığında karbonatlaşma hızlanırken tam doygun ortamlarda gözenekler kapanacağı için reaksiyonun yavaşlayacağı belirtilmiştir<sup>67</sup>. Toplam gözenekliliğin %50 sinin suyla teması sonucunda karbonatlaşmanın maksimum seviyeye ulaşabileceği, harcın suya tam doygun hale geldiği takdirde karbonatlaşmanın yavaşlayacağı belirtilmiş ve bunun nedeni CO<sub>2</sub> nin su içerisinden harca geçişinin havadan geçişine göre çok daha yavaş olması ile açıklanmıştır<sup>68</sup>.

***Sıcaklık:*** Karbonatlaşmada bir diğer önemli faktör de sıcaklıktır. Yüksek sıcaklıkta reaksiyon hızının artış göstereceği ancak gözeneklerin hızla kapanması ile CO<sub>2</sub> emilimini azaltacağı için karbonatlaşmanın tamamlanmayacağı bu nedenle en uygun sıcaklığın 20°C olduğu belirtilmiştir<sup>69</sup>.

<sup>64</sup> Rodriquez vd. 1998-2000, Çizer vd. 2008, Ergenç vd. 2018.

<sup>65</sup> Ergenç et al. 2018, 276-288.

<sup>66</sup> Çizer et al. 2008.

<sup>67</sup> Moorehead 1986, 700-708; Cazalla et al. 2000, 1070-1076.

<sup>68</sup> Balen et al. 1994, 393-398.

<sup>69</sup> Balen et al. 1994, 393-398.

<sup>69</sup> Lawrance et al. 2007, 1059-1069.

***Harcın gözenekliliği ve kalınlığı*** : Gözenekliliğin, su içinde çözünen CO<sub>2</sub>'in harca nüfuz edebilmesi için oldukça önemli olduğu ve düşük gözenekliliğin karbonatlaşma oranını düşüreceği belirtilmiştir. Karbonatlaşma reaksiyonu yüzeyden harcın içine doğru ilerler ve harcın kalınlığı fazla, gözenekliliği düşükse karbonatlaşma oranını azalır<sup>70</sup>.



---

<sup>70</sup> Thomson 2007, 1-10.



# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

## MALZEME VE YÖNTEM

### 3.1. Malzeme

Bu çalışmada, Mozaikli Konut örneğinde farklı dönemlere ait üretim teknolojileri ve malzeme özelliklerinin incelenmesi amacıyla, minerolojik-petrografik, kimyasal ve fiziksel analizler yapılmıştır.

Yapının duvarlarından alınan 14 adet yapıtaşı örneği ile, taş-taş arası 16 adet kireç harcı örnekleri bir adet künk harcı örnekleri incelenmiştir. Örnekler alındıkları mekanlara göre isimlendirilmiş ve numaralandırılmıştır (Tablo 3.1). Harç örneklerinin alındığı yerler Figür 3.1 de gösterilmiştir.



Figür 3.1. Mozaikli Villa örneklerin alındığı yerler<sup>71</sup>

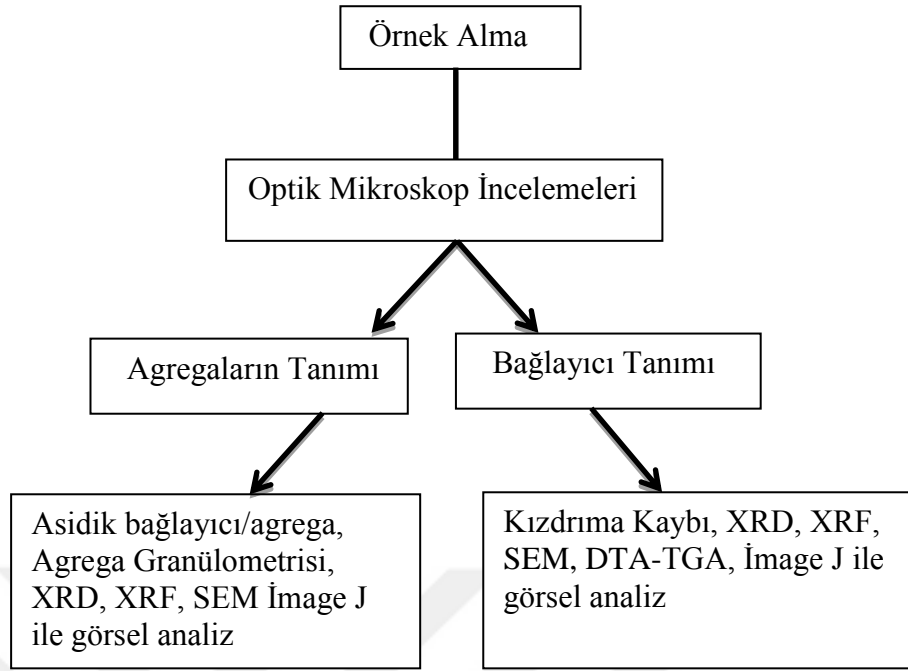
<sup>71</sup> Tripolis Kazı Arşivi

Tablo 3.1. Harç Örneklerinin İsimlendirilmesi

<b>H1</b>	Mekân 13 güney duvarı
<b>H2</b>	Ana salon güney temel duvarı
<b>H3</b>	Ana salon güney duvarı
<b>H4</b>	Mekân 11 doğu duvar harcı
<b>H5</b>	Büyük salon doğu duvar harcı
<b>H6</b>	Latrina doğu duvar harcı
<b>H7</b>	Sokak doğu duvar restorasyon harcı
<b>H8</b>	Mekân 3 doğu duvarı
<b>H9</b>	Kiler batı duvarı
<b>H10a</b>	Antik harç kalıntısı
<b>H10b</b>	Antik harç kalıntısı kesit
<b>H11</b>	Mekan 3 batı duvarı dolgu malzemesi
<b>H12</b>	Sokak üzerindeki seki
<b>H13</b>	Mekân 5 apsisli yapı güney duvarı
<b>H14</b>	Mekân 5 erken evre temel seviye
<b>Hk</b>	Künk harcı

### 3.2. Yöntem

Çalışmada harç, sıva ve yapıtaşları öncelikle mineralojik-petrografik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda çalışmalar iki grup altında yürütülmüştür. Yapı taşlarının genel özellikleri optik mikroskop çalışmaları ile, harç örneklerinin bağlayıcı agrega ve gözenek özellikleri kimyasal, fiziksel ve termal analizlerle detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan analizlerde izlenen yöntem şeması Figür 3.2.'de verilmiştir.



Figür 3.2. Analizlerde İzlenen Yöntem Şeması

### 3.2.1. Mineralojik-Petrografik Analizler

Mineralojik-petrografik çalışmalar, yapıtaşlarının optik mikroskop incelemeleri ve harç örneklerinin optik mikroskop, SEM, XRD ve İmage J mineralojik görüntü işleme programı ile detaylı olarak incelenmesi şeklinde yürütülmüştür.

#### 3.2.1.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Yapıtaşı ve harç örneklerinin ince kesitleri PAU Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. İnce kesit incelemesinde örneklerin mineral kompozisyonları, dokusal özellikleri, gözenek ve bağlayıcı\agrega oranları belirlenmiştir. İnce kesit incelemeleri PAU Jeoloji Mühendisliği Bölümü Optik Mineraloji Laboratuvarı'nda "Leica DM750P" marka polarize mikroskopta gerçekleştirilmiştir. İncelenen harç örneklerinden alınan mikrofotograflar üzerinde İmage j programı ile dokusal incelemeler yapılmış, bağlayıcı\agrega oranı ve gözeneklilik değerleri belirlenmiştir.

### **3.2.1.2. XRD**

X-ışınları kırınımı (XRD) tüm kayaç analizleri Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Merkez Laboratuvarı'nda GNR APD 2000 PRO difraktometre cihazında,  $CuK\alpha$ , 40 kV ve 30 mA koşullarında ( $2\theta$ :5-45°; step aralıkları: 0.01; integration time:2 saniye) yaptırılmıştır. XRD analizleri sonucunda, yarı kantitatif yüzdelere harici standart metodu temel alınarak hesaplanmıştır.

### **3.2.1.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX )**

SEM (Scanning Electron Microscope) ile bağlayıcı ve agreganın mikro yapısı, EDX (Energy dispersive X-Ray) ile örneklerin kimyasal kompozisyonu incelenmiştir. Belirli örneklerde haritalama çalışmaları yapılmıştır.

Analizler, Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Merkez Laboratuvarı'nda FESEM SUPRA 40 VP marka alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada örnekler, üzeri lamel ile kapatılmadan ince kesit halinde Au- Pd ile iki kez kaplanmıştır.

## **3.2.2. Kimyasal Analizler**

Harç kompozit bir malzeme olup içeriğindeki bağlayıcı ve agreganın kendine özgü kimyasal özellikleri vardır. Kireç bağlayıcı olarak kullanılmadan önce yanma, söndürülme, karbonatlaşma gibi farklı kimyasal süreçlerden geçer. Agregata olarak kullanılan malzemeler de farklı kimyasal özelliklere sahiptir. Bu nedenle kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, orjinal malzemenin karakterizasyonunu ve geçirdiği değişimleri anlamak için önemlidir.

### **3.2.2.1. XRF**

Örneklerinin tüm ana ve iz element analizleri Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Merkez Laboratuvarı'nda Spectro XEPOS marka Polarize Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans Spektrometresi (PED-XRF) kullanılarak yapılmıştır. XRF analizi için GEOL, GBW-7109 ve GBW-7309 olarak bilinen Birleşik Devletler

Jeolojik Araştırması (USGS) standartları kullanılmıştır. 6.25 gr toz haline getirilmiş numune ile 1.4 gr wax (M-HWC) karıştırılarak preslenmiş bir disk elde etmek için 18N'de otomatik preslenmiştir.

### 3.2.2.2. Kızdırma Kaybı Analizi

Kimyasal analizlerdeki kayıpların miktarının belirlenmesi, toplam organik madde ve inorganik karbon miktarının ölçülmesi amacıyla kızdırma kaybı analizi yapılmıştır. Ağırlığı bilinen örnekler ağırlığı bilinen krozeeye konulmuştur. Sahip olduğu nemin atılması için 40 C° de bir saat etüvde bekletilmiş ve tekrar ağırlık ölçümü yapılmıştır. Daha sonra örnekler 550°C de 4 saat kül fırınında bekletilip ağırlıkları ölçülmüş, 950°C de 2 saat bekletilmiş ve tekrar ağırlık ölçümü yapılmıştır<sup>72</sup>. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Analiz, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

W<sub>1</sub>= etüvde kurutulmuş örneğin ağırlığı

W<sub>2</sub>= 550°C'de 4 saat bekletildikten sonraki ağırlık

W<sub>3</sub>= 900°C'de 2 saat bekletildikten sonraki ağırlık

550°C'deki ağırlık kaybı % = (W<sub>1</sub>-W<sub>2</sub>)/W<sub>1</sub> x 100

900°C'deki ağırlık kaybı % = (W<sub>1</sub>-W<sub>3</sub>)/W<sub>1</sub> x 100

### 3.2.2.3. Spot Tuz Testleri, pH, Protein, Yağ, İletkenlik

Harç ve sıva örneklerinde bozulmalara neden olabilecek çözünebilir tuz türleri, organik katkılarla ilgili protein ve yağ varlığı ve pH değerlerini belirlemek için yapılan analizler İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kültür Varlıkları Daire Başkanlığı Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

<sup>72</sup> Heiri-Lotter-Lemcke 1999, 101.

### 3.2.3. Termal Analizler (DTA\TGA)

Termal analizler ile malzemelerin farklı sıcaklıklardaki davranışı belirlenmektedir. Diferansiyel termal (DTA) ve termogravimetri (TGA) analizleri Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında tamamen bilgisayar kontrollü Seiko SII TG/DTA7200 marka cihazda yapılmıştır. Ölçümler kuru hava atmosferinde gerçekleştirilmiş ve sıcaklık 25 ila 1100°C arasında belirlenmiştir. Referans malzemesi olarak oldukça sinterlenmiş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılmıştır. Isıtma hızı ( $\beta$ ) 7 °C min<sup>-1</sup> olarak ayarlanmıştır. Düşük ısıtma oranları, ardışık bozunma aşamalarını ayırt etmeye, başlangıç ve son faz dönüşüm sıcaklıklarını belirlemeye yardımcı olmuştur.

### 3.2.4. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Araziden alınan harç, sıva örneklerinin fiziksel analizleri PAU Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.4.1. Asidik Bağlayıcı/Agrega

Harç örneklerinin bağlayıcı/agrega oranını belirlemek için asit kaybı analizi yapılmıştır. Analizler, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarında yapılmıştır. Ağırlığı bilinen örnekler %15 oranında seyreltilmiş 25 ml HCL içinde 24 saat bekletilir. Örnekler filtre kağıdından süzülüp tartılır ve ağırlık farkından yola çıkılarak kaybolan bağlayıcı miktarı belirlenir. Asitle reaksiyona girmeyen agregaya da tartılarak bağlayıcı/agrega oranı hesaplanır. Asit kaybı analizinde asitin türü ve konsantrasyonu ile ilgili bir standart belirtilmemiştir<sup>73</sup>.

#### 3.2.4.2. Elek Analizi ve Agregaya Granülometrisi

Harç örneklerinin içindeki agregaların boyut dağılımının belirlenmesi için elek analizi yapılmıştır. Tüm örneklerin başlangıç ağırlığı hassas terazide tartılmıştır. Asit kaybı analizinden sonra çözünmeden kalan agregaya örnekleri üzerinde elek analizleri gerçekleştirilmiştir. Örnekler 0,075-0,250-0,425-1-2-4,76-9,5 mm açıklıklarındaki

---

<sup>73</sup> RİLEM 2005, 771,780.

eleklerden geçirilmiş ve her elekte kalan agrega tartılmıştır. Elekten geçen malzeme yüzdesi logaritmik olarak diyagramda gösterilmiş ve buna göre tane boyutu dağılım eğrisi elde edilmiştir. Analizler, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.4.3. Ağırlıkça Su Emme Kapasitesi**

Harç ve sıva örnekleri, 70°C'de 24 saat kurutulur ve ağırlığı ölçülür ( $W_{silk}$ ). Su ile dolu bir kaba örnek yerleştirilir, 48 saat beklenir ve sudan çıkarılıp yüzeyi kurulanıp tekrar tartılır ( $W_{sd}$ ) (TS 1900, 1987). Ağırlıkça su emme oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Analiz, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Numunenin ağırlıkça (kütlece) su emme oranı  $A_w = [(W_d - W_k) / W_k] \times 100$ .

### **3.2.4.4. Özgül Ağırlık**

Harç ve sıva örnekleri, Arşimet terazisinde havada ve suda tartılarak özgül ağırlıkları piknometre cihazı ile elektronik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Analiz, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

# DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Mineralojik-Petrografik Özellikler

Mineralojik-petrografik yöntemlerle tarihi harçların bileşiminin ve kullanılan malzemelerin, bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla olan ilişkisi, zamanla malzemede oluşan bozulma ile kristal yapısında olan değişimler ve farklı yapım tekniklerinin malzeme üzerindeki mikro ve makro etkilerinin belirlenebildiği literatürdeki çalışmalarla ortaya koyulmuştur<sup>74</sup>. Bu çalışmada Mozaikli Konut yapısından alınan 15 adet harç örneğinin ince kesit incelemelerinde bağlayıcı, agrega ve gözenekler ayrı ayrı incelenmiş, elde edilen mikroskop görüntüleri üzerinde mineralojik görüntü işleme yöntemi (image j) kullanılarak bağlayıcı\agrega ve gözeneklilik oranları belirlenmiştir. Buradan yola çıkılarak harç örneklerinin yapım teknolojileri ile ilgili benzerlikler ve farklılıklar ortaya koyulmuş elde edilen sonuçlar arkeolojik verilerle birlikte değerlendirilmiştir.

#### 4.1.1. Optik Mikroskop Çalışmaları

##### 4.1.1.1. Yapıtaşları

Doğal yapı taşları jeolojik açıdan oluşum şekillerine göre tortul, magmatik ve metamorfik olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır. Tripolis antik kenti yapı taşları genel olarak incelendiğinde %75 tortul (mermer, bantlı traverten, traverten, fosilli kumtaşı), %20 metamorfik (mikaşist, gnays) ve %5'inde magmatik (serpantinit, gabro, andezit) kökenli olduğu önceki çalışmacılar tarafından tespit edilmiştir<sup>75</sup>.

Mozaikli konut yapıtaşlarından alınan örneklerin optik incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre aşağıdaki kayaçlardan oluştukları belirlenmiştir.

**Mermer:** Orta ve iri kristalli mermer örneği çoğunlukla heteroblastik dokuda olup, karbonat mineralleri olarak kalsitten oluşmaktadır. Kalsit mineralleri çoğunlukla öz şekilli, yarı öz şekilli kristaller şeklinde gözlenmiştir. İri kalsit kristallerinin hemen hepsi polisentetik ikizlenmeler göstermektedir (Figür 4.1).

<sup>74</sup> Vendrell-Saz et al., 1996; Moropoulou et al. 2000; Middendorf et al. 2005 a; Elsen 2006.

<sup>75</sup> Koralay 2017, 150.





Figür 4.1. Mermer (TK1) örneğinin makro ve mikro görünümü

**Bantlı Traverten:** Bantlı traverten örnekleri beyaz, sarımsı beyaz, kırmızımsı, kahve renkli bantlar göstermektedir. Renk bantlarının genişliği farklı boyutlardadır. Çoğunlukla bantlar birbirine paralel olarak ardalama göstermektedir (Figür 4.2) Bantlı travertenlerin mikroskop altında incelenmesi sonucunda ince kalsit mineralleri ile ışınsal kalsit mineralleri tespit edilmiştir. Fakat bu karbonat minerallerinin ayrımı mikroskop altında zor olduğu için XRD ile ayırım yapılması gerekmektedir. Işınsal oldukları için aragonit olarak tanımlanan mineraller örnek içerisinde bol miktarda gözlenmektedir. Renk bantlanmalarının büyük çoğunluğu aragonit bileşimli ince uzun ışınsal kristallerden oluşmaktadır. Renk bantları arasında çok küçük boyutlu kalsit kristalleri de gözlenmektedir.

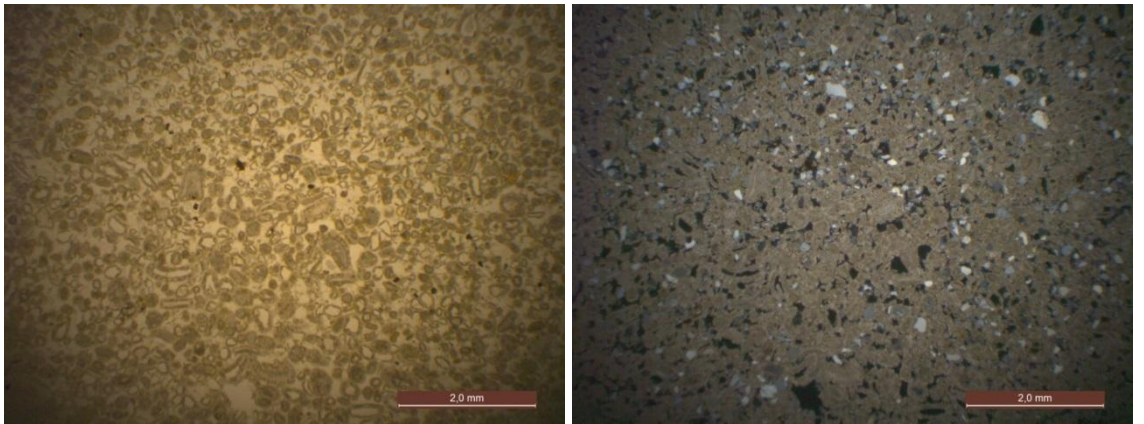


Figür 4.2. Bantlı Traverten (TK2) örneğinin makro ve mikro görünümü

**Kumtaşı:** apları 1/16 - 2 mm arasındaki kum tanelerinin silisli, karbonatlı, demirli bir bağlayıcı yapı ile birleşmesiyle oluşan taşlara kumtaşı denir<sup>76</sup>. Tortul katmanlarda çok sık rastlanılır (Figür 4.3-4). Genellikle gri ve açık sarı renktedir. Bağlayıcısı ve içerdiği demir oksitler taşın rengini belirlemede ana etkindir. Kumtaşlarından alınan örneklerin optik mikroskop incelemeleri sonucunda karbonat çimentolu ve oolitik yapıda oldukları gözlemlenmiştir. Bir çekirdek etrafında konsantrik dairelerin bir araya gelerek oluşturduğu şekle oolit denilmektedir<sup>77</sup>. Kumtaşları genel olarak gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle su emme kapasiteleri yüksektir. Yapı malzemesi olarak kullanıldığında harç ile temas etmesi durumunda harcın içeriğindeki suyu çekeceğinden harcın bünyesinde daha fazla kılcal çatlakların oluşmasına neden olur.



Figür 4.3. Kumtaşı örneğinin (TK3) makro ve mikro görüntüsü



Figür 4.4. Kumtaşı (TK7) örneği mikro görüntüsü

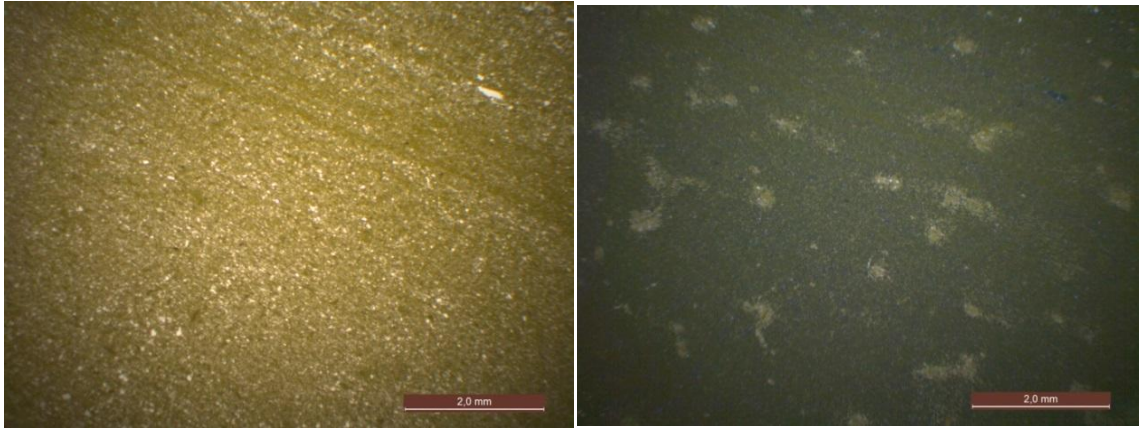
<sup>76</sup> Kılıç 2017, 2.

<sup>77</sup> Koralay 2017,154.

**Tuğla:** Bir yapı malzemesi olarak tuğla kilin pişirilmesi ile elde edilir<sup>78</sup>. İçerisinde kuvars ve biyotit parçaları gözlemlenen tuğlalar yapının daha ziyade ikinci yapım evresinden (MS 5. yüzyıl) sonra duvarlarda kullanılmıştır. Mozaikli Konut yapısından alınan tuğla örneklerin pişirme ısıları nedeniyle farklı renk ve dokulara sahip olduğu gözlemlenmiştir (Figür 4.5-6-7). Tuğla örneklerinin optik mikroskop incelemelerinde kuvars, biyotit ve opak mineraller ve çömlükçi çarkında şekillendirilmiş olması ile ilgili olarak mineraller üzerinde yönelmeler (Fig.4.5) görülmektedir.

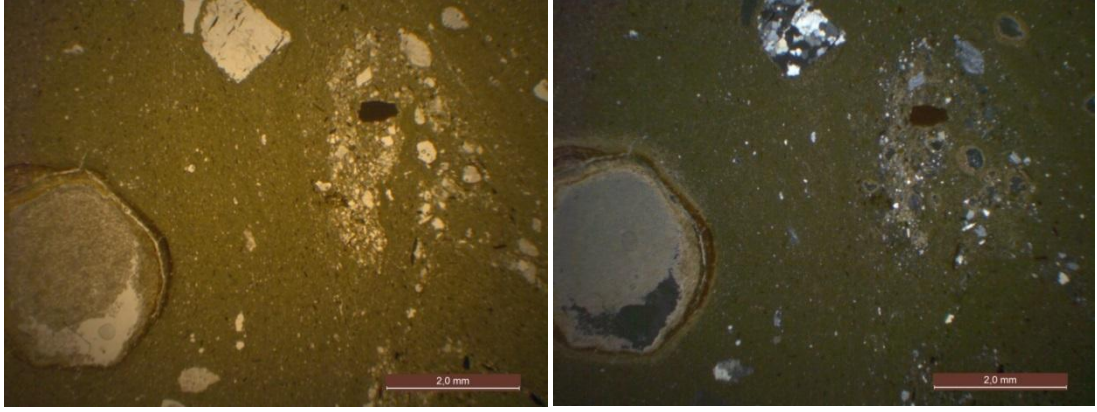


Figür 4.5 Tuğla örneğinin (TK4) makro ve mikro görüntüsü ve mikro görüntüdeki yönelmeler



Figür 4.6 Yönelme görülen tuğla örneği (TK 8)

<sup>78</sup> Eroğlu-Akyol 2017, 142.

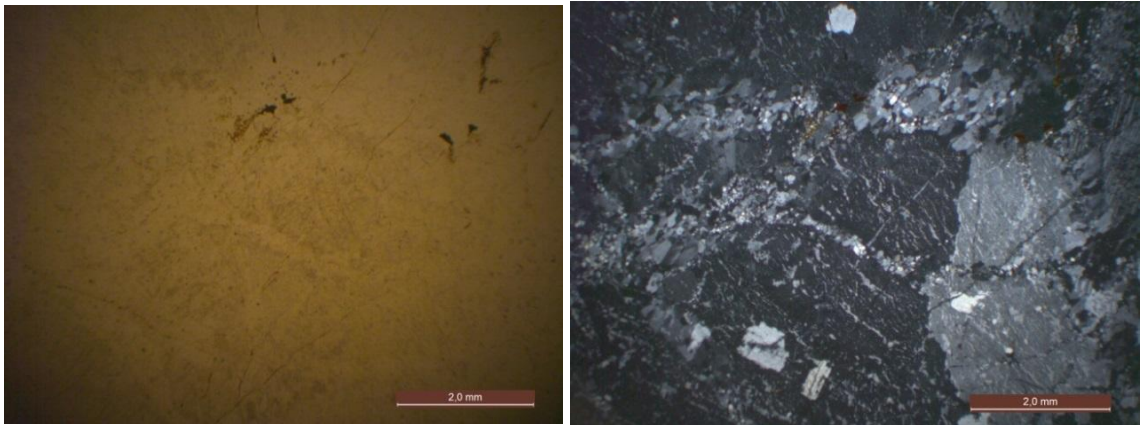


Figür 4.7 Katkı miktarı fazla olan tuğla örneği (TK13)

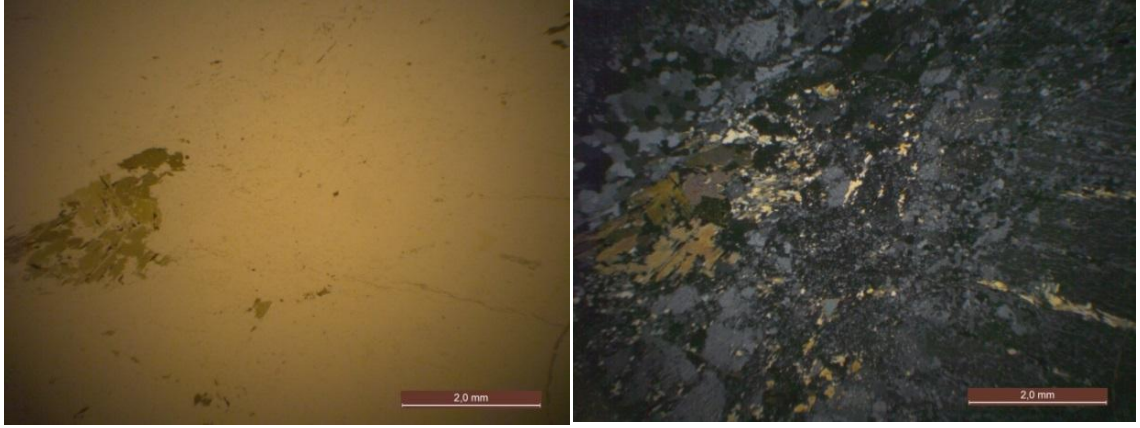
**Gnays:** Feldspat, mika ve kuvarstan oluşan metamorfizma geçirmiş kayalar gnays olarak bilinmektedir. Mozaikli Konut yapısında yapı taşı olarak gnays gözlenmektedir (Figür 4.8) Bu örneğin mineralojik incelenmesi sonucunda içerisinde K-feldspat kristali ve kristallerinin oluşturduğu gözlü gnayslar (Figür 4.9-10) gözlemlenmiştir.



Figür 4.8 Gözlü gnays örneğinin makro ve mikro görüntüsü (TK6)



Figür 4.9 Gnays örneği mikro görüntüsü (TK9)



Figür 4.10 Gözlü gnays örneği mikro görüntüsü (TK12)

**Mika Şist:** Şist diğer adıyla kil taşının metamorfik hareketler sonucunda başkalaşması ile oluşan bir kayadır. Orta dereceden bir başkalaşmaya uğradığından diğer metamorfik kayalar kadar sert ve dayanıklı değildir. Yapraklanarak parçalanır. Açık kahverengimsi kırmızı, bej, yeşil ve mavi renkli olanları vardır. Basınç ve sıcaklık etkisiyle gelişen yapraklanma (foliasyon) özelliği gösteren, orta-iri tane boyulu (2-10 mm) mineraller içeren kayalardır<sup>79</sup>. Tripolis antik kentinden alınan harç örneklerinin mikro incelemelerinde bolca gözlemlenmiştir (Figür 4.11).



Figür 4.11 Şist örneğinin makro ve mikro görüntüsü (TK10)

**Kireçtaşı:** Kimyasal formülleri  $\text{CaCO}_3$  olan kireçtaşları sedimanter kayalar sınıfındadır. Kayaç mikroskop altında incelendiğinde, belirgin bir sparitik doku göze çarpmaktadır. Daha az olarak gözlenen mikrokristalen kalsit 1-4 mikron boyutlarındadır. Açık kahverengimsi, kırmızımsı renktedir. Kayaç içerisinde gözlenen

<sup>79</sup> <http://www.mta.gov.tr/v3.0/muze/kayaclar> (23.05.2019)

boşluklar ikincil kalsitler (sparikalsitler) tarafından doldurulmuştur. İkincil kalsit mineralleri polisentetik ikizlenme gösterir. Yapının 5. ve 6. yüzyıl yapım evrelerinde Fe<sub>2</sub>O miktarı yüksek olan kırmızı renkli kireçtaşlarının duvarlarda kullanıldığı görülmektedir (Figür 4.12).



Figür 4.12 Kireçtaşı örneğinin (TK11) makro ve mikro görüntüsü

#### 4.1.1.2. Harç örnekleri

Bu bölümde harç ve sıvaların optik mikroskop incelemeleri ile SEM-EDX sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Literatürde mikroskobik incelemelerle bağlayıcı ve agreganın dokusal özellikleri ve türü, gözeneklilik, bağlayıcı\agrega oranı ve yapım teknolojisinin belirlenebileceği belirtilmiştir<sup>80</sup>.

Literatürde SEM ile yapılan incelemeler sonucunda bağlayıcı olarak kullanılan kirecin kristal yapısı ve kristal büyüklüğünün harcın plastikliği ve karbonatlaşma ile ilişkili olduğu, agreganın kimyasal kompozisyonu ve mikroyapısının ise harcın hidrolikliği, mekanik ve kimyasal özellikleri üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir<sup>81</sup>.

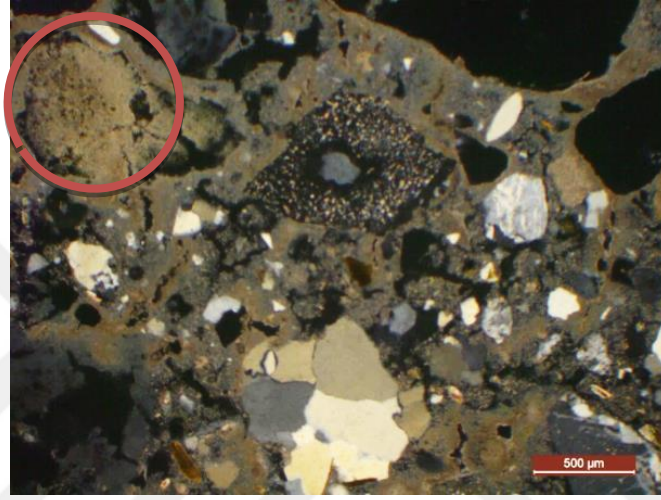
**H1 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut içerisindeki Mekan 13 güney duvarından alınmıştır. Duvar arkeolojik değerlendirmelere göre 7. yüzyıla tarihlendirilmiştir.

**Bağlayıcı:** Bağlayıcının mikritik, mikrosparitik ve sparitik olmak üzere farklı kristal dokulara sahip olduğu ince kesit örneklerinde görülmektedir. Bu durumun yüzeyde ve iç kısımlarda bulunan farklı CO<sub>2</sub> konsantrasyonundan kaynaklandığı

<sup>80</sup> Campell 1999.; Middendorf et al. 2005, 761-769.

<sup>81</sup> Navarro et al. 1998, 3032-3034. Cazalla et al. 2000, 1070-1076; Navrátilová et al. 2017,1-9.

düşünülmüştür. Karbonatlaşma yüzeyde başlayıp iç kısımlarda doğru gelişir ve bu nedenle harcın iyi karıştırılması gerekmektedir. Bununla beraber harcın boşluk yapısı da boşluklardaki CO<sub>2</sub> nedeniyle karbonatlaşma oranını etkiler ve farklı kristal boyutlarının gelişmesine neden olabilir<sup>82</sup>. İnce kesit incelemelerinde (Figür 4.13) koyu renkli mikritik dokudaki düzgün şekilli olmayan ve çatlaklı karbonat yumruları tespit edilmiştir. Bu yumruların harcın iyi karıştırılmaması ve karbonatlaşma sırasında oluşan büzüşme ile ilgili olduğu düşünülmektedir.



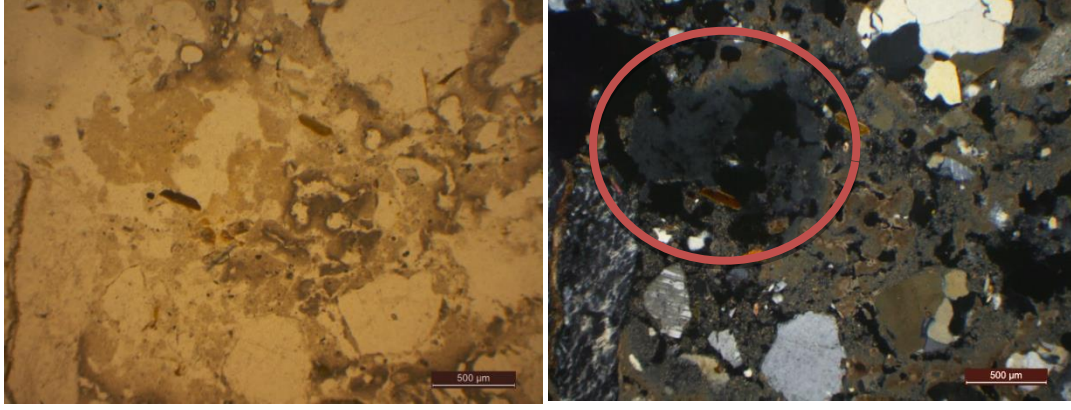
Figür 4.13. H1 nolu örneğe ait ince kesit görüntüsü sol üst köşede karbonat yumrusu

**Agrega:** Mineral olarak agregadan gelen mika (biyotit ve muskovit), plajiyoklaz ve kalsit mineralleri gözlemlenmiştir. Agregada olarak kuvarsit, gnays, mika şist, fosilli kireçtaşı, mermer ve kıltaşı kullanıldığı görülmektedir. Agregalar çoğunlukta harca kırılmadan eklendiği için yuvarlak kenarlıdır. Mineralojik görüntü işleme programı ile yapılan değerlendirmeler sonucunda bağlayıcı/agrega oranı 1/5 olarak belirlenmiştir.

İdeal kesit kalınlığının 30-35 µm olması gerektiği ve kesit kalınlığının 5-10 µm'ye kadar düştüğünde Figür 4.14 de sol üst kısımda görüldüğü gibi bağlayıcı kısmın gri renkli olabileceği belirtilmiştir<sup>83</sup>.

<sup>82</sup> Elsen 2006, 3313-3318.

<sup>83</sup> Pecchioni 2014, 28.



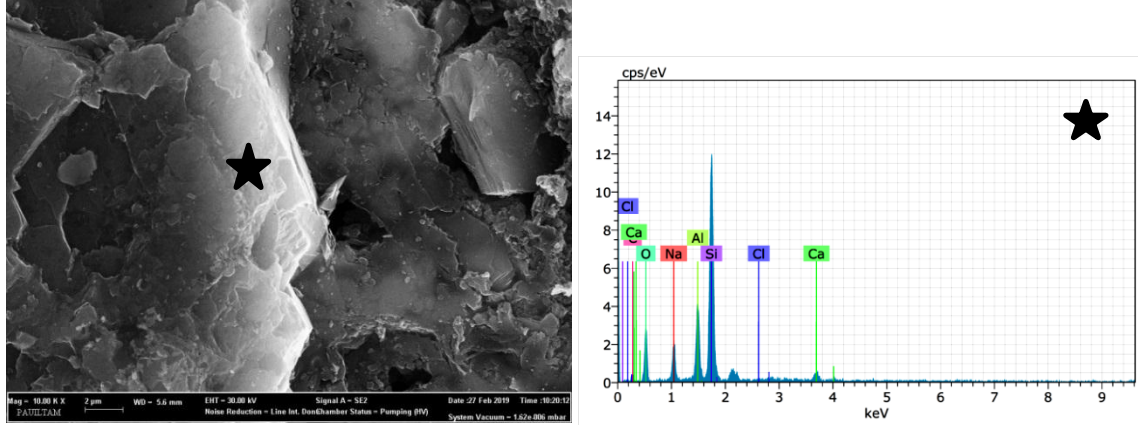
Figür 4.14. H1 örneğinde agregaların genel görünümü ve ince kesit kalınlığının 30-35 µm den daha az olduğu kısım (sol üst köşe)

**Gözeneklilik:** Mineralojik görüntüleme yöntemleri ile örnek üzerinde detaylı incelemeler yapılmıştır. Bu yöntemle göre yapılan değerlendirmeler sonucunda gözeneklilik yüzdesi %13.01 olarak belirlenmiştir. Kılcal gözenekler genellikle agrega\bağlayıcı sınırlarında gözlenmiş olup yaklaşık 0.1-100 µm boyutlarındadır. Bağlayıcı agrega sınırındaki kılcal çatlakların mekanik stres ile, bağlayıcı kısımdaki kılcal çatlakların ise bağlayıcının sertleşmesi sırasında büzüşme ile oluştuğu düşünülmüştür. Ayrıca nem ve suyun yüzeye kadar çıkan kılcal çatlaklar yolu ile harcın iç kısımlarına kadar girebildiği, çatlaklarda gözlenen yeniden kristallenmiş kalsit kristalleri ile desteklenmektedir. Bazı çatlakların etrafından, harcın iç kısmına doğru bağlayıcının renginin değiştiği gözlenmiştir. Bu durum gözeneklerde bulunan CO<sub>2</sub> nedeniyle karbonatlaşmanın devam etmesi ile açıklanmıştır. H1 örneğinde büzüşme çatlaklarının bu kadar yoğun olması su miktarının yüksek olması ile ilişkilendirilmiştir.

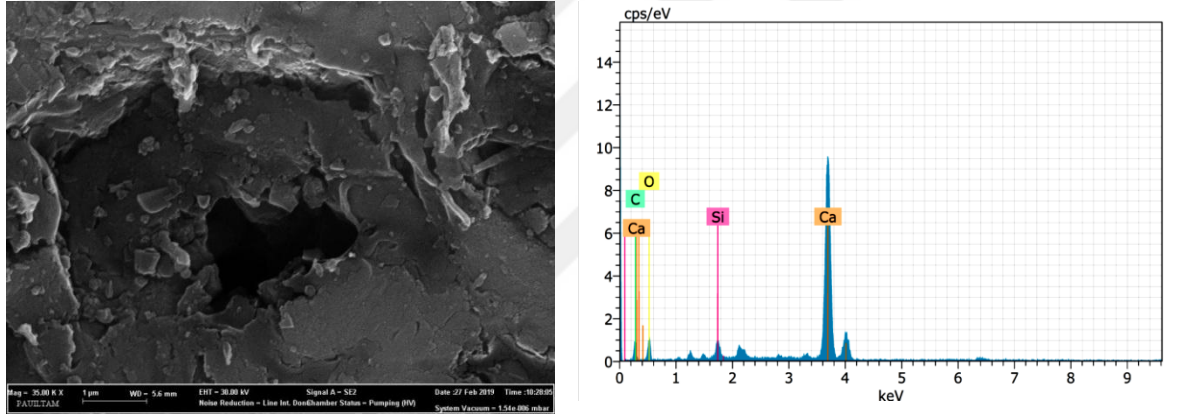
H1 örneğinin bağlayıcı - agrega arayüzüne ait SEM görüntüsünde (Figür 4.15) bağlayıcı\agrega arasında bağ gözlemlenmemiştir. Agreganın EDS diyagramında plajiyoklaz (albit) ve çok az miktar tuz (NaCl) görülmektedir. Bağlayıcı kısmında karbonatlaşmanın tamamlanmadığı (çökelmiş Ca(OH)<sub>2</sub>) görülmektedir<sup>84</sup> (Figür 4.16).

<sup>84</sup> Çizer Ö. 2008,156.





Figür 4.15. H1 örneğinde gözlenen plajiyoklaz minerali ve bağlayıcı\agrega arayüzü



Figür 4.16 H1 örneğinin bağlayıcı kısmına ait SEM görüntüsü, çökelmiş  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

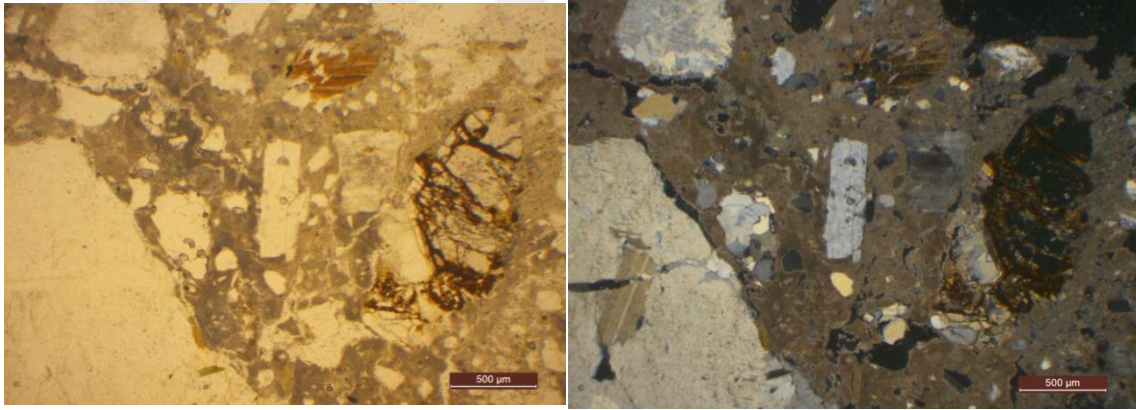
**H2 Örneği:** İncelenen harç örneği, arkeolojik olarak yapılan değerlendirmelere göre MS 6. yüzyıla tarihlendirilen Mozaikli konut içerisindeki ana salonun güney temel duvarı üzerinden alınmıştır.

**Bağlayıcı:** Bağlayıcının mikritik dokusu hava kirecinin karakteristik özelliklerindedir. Ancak bağlayıcının bazı bölgelerinde açık koyu renk farklılıklarının olması kesitin genelinde dikkat çekicidir. Bu durumun kullanılan kireçtaşının kimyasal içeriği ve kireçtaşının yakılmasında kullanılan yakıt ile ilgili olabileceği düşünülmüştür. Bağlayıcının H1 örneğine göre daha kalın bir tabaka halinde ve daha az gözenekli yapısı, harcın kullanıldığı duvarın su emme kapasitesinin daha

düşük olması ve bağlayıcı\su oranı ile ilgili olabilir<sup>85</sup>. H2 örneğinde karbonat yumruları gözlemlenmemiştir. Bu durumdan yola çıkarak kireç taşının yakılması sırasında iyi öğütüldüğü, söndürme sırasında bol su ile uzun sürede söndürülmüş ve sonrasında elenmiş olabileceği düşünülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak H2 örneğinin daha özenli bir yapım aşamasından geçtiği düşünülmektedir.

**Agrega:** Mineral olarak bol miktarda biyotit ve muskovit ile kuvars, plajiyoklas mineralleri gözlenmiştir. Kayaç parçası olarak iri taneli granat, gnays gibi metamorfik kayaç parçaları bulunmaktadır (Figür 4.17). Harcın genelinde kullanılan agreganın kırılarak harca eklendiği bu nedenle köşeli olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin mineralojik görüntüleme yöntemleri ile değerlendirilmesi sonucunda bağlayıcı/agrega oranı 1/4 olarak bulunmuştur.

**Gözeneklilik:** H2 örneğinin mineralojik görüntüleme yöntemlerine göre bulunan gözeneklilik yüzdesi %13.495 olarak belirlenmiştir. Bağlayıcı/agrega sınırlarında mekanik etkilerden kaynaklandığı düşünülen kısa kılcak çatlaklar görülmektedir.



Figür 4.17 H2 numaralı örneğe ait ince kesit görüntüsü

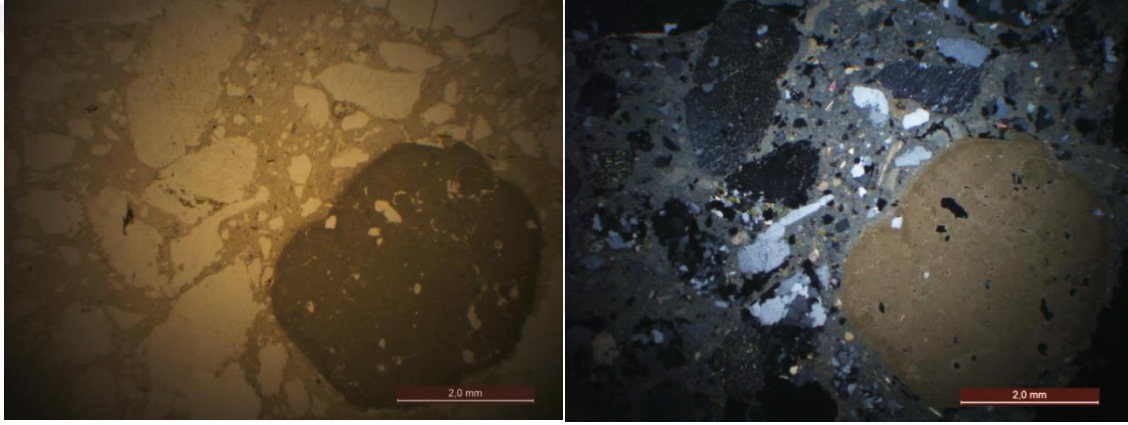
**H3 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut içerisindeki ana salonun güney temel duvarının üst kısmından alınmıştır. Arkeolojik değerlendirmelere göre 6. yy'a tarihlendirilmiştir.

**Bağlayıcı:** H3 örneğinin genelinde bağlayıcı dokusu mikritik olarak tespit edilmiştir. İrili ufaklı farklı büyüklüklerde gözlemlenen karbonat yumrularının yapısı

<sup>85</sup> Thomson et al. 2004, 2.

boşlukludur ve çevresinden merkeze doğru renk değişimi gözlemlenmiştir. Buna göre karbonat yumrularının harcın hazırlanması sırasında iyi karıştırılmamasından dolayı oluştuğu ve sönmüş kirecin süzülmediği düşünülmektedir (Figür 4.18).

**Agrega:** Mineralojik olarak yoğun mika pulcukları (muskovit), klorit, plajiyoklaz, mikroklin görülmüştür. Kayaç parçacığı olarak, bol miktarda kireçtaşı, mermer ve metamorfik kayaç parçaları bulunmaktadır. Agreganın kenarlarının iri parçalarda yuvarlak küçük parçalarda köşeli olduğu görülmüştür. Mineralojik görüntüleme değerlendirmelerine göre bağlayıcı\agrega oranı 1/4,5 olarak hesaplanmıştır.



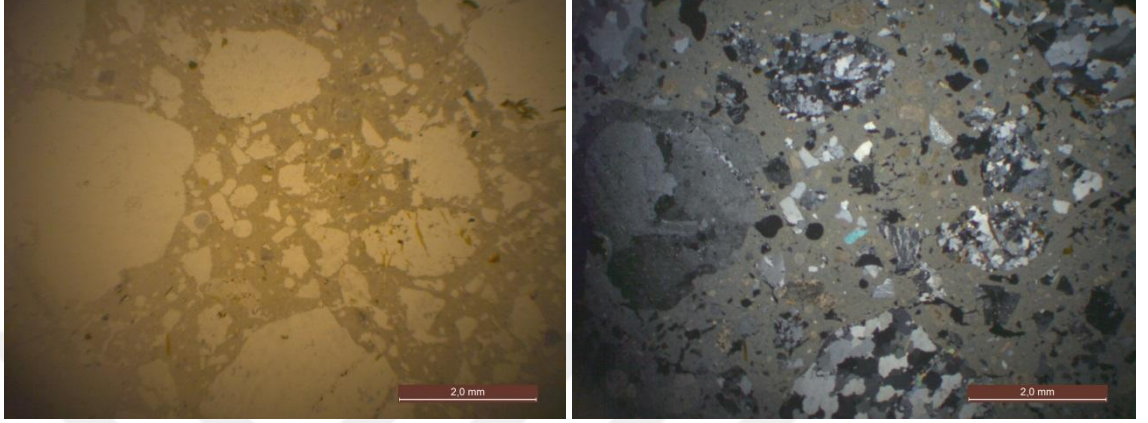
Figür 4.18 H3 örneğinin mikroskop görüntüsü (sağda karbonat yumrusu)

**Gözeneklilik:** Mineralojik görüntüleme yöntemlerine göre H3 örneğinin gözeneklilik yüzdesi %5.277 olarak bulunmuştur. Bu örnekte kılcal ve iri gözenekler diğer örneklere göre daha azdır. Harcın iyi karıştırılmaması nedeniyle ortaya çıkabilen 100 µm boyutlarında iri boyutlu gözenekler nadiren gözlemlenmiştir.

**H4 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut içerisindeki mekan 11 doğu duvarından alınmıştır. Arkeolojik değerlendirmelere göre yapının erken yapım aşamasına (MS 4. yüzyıl ) ait olmalıdır.

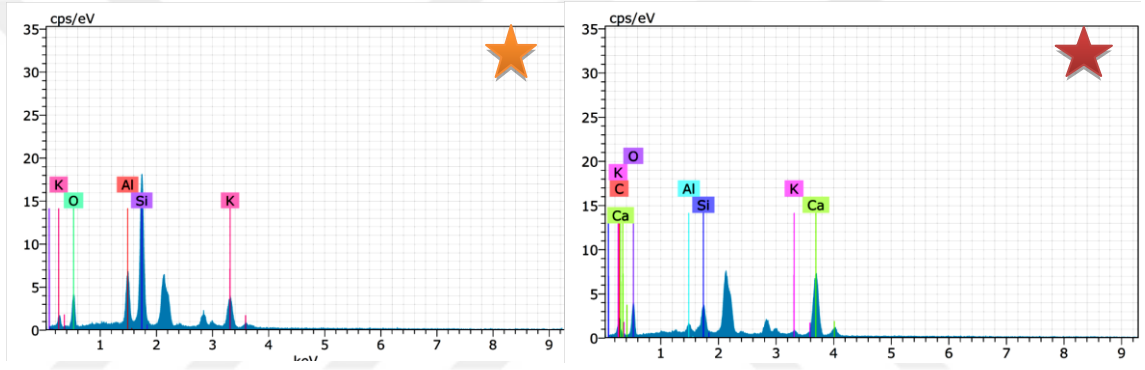
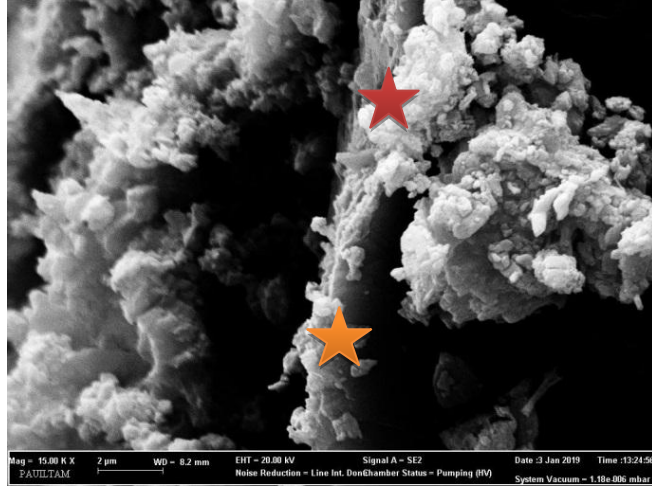
**Bağlayıcı:** Genel olarak mikritik dokuda ve homojendir. Örneğin SEM görüntüsünde de bağlayıcının mikritik dokusu gözlemlenebilmektedir (Figür 4.20). Bağlayıcı kısımda gözlemlenen küçük karbonat yumrularının, kirecin söndürüldükten sonra süzülmemesi ile ilgili olduğu düşünülmüştür (Figür 4.19).

**Agrega:** Harç örneği içerisinde mineral olarak, kuvars, iri muskovit, piroksen, feldspat ve klorit bulunmaktadır. Kayaç olarak, metamorfik kayaç parçaları, fosilli kireçtaşı ve mermer kullanıldığı görülmüştür. İri boyuttaki agregalar yuvarlak kenarlı küçük boyutlu agregalar köşelidir. Bağlayıcı\agrega oranı 1/3 olarak belirlenmiştir.

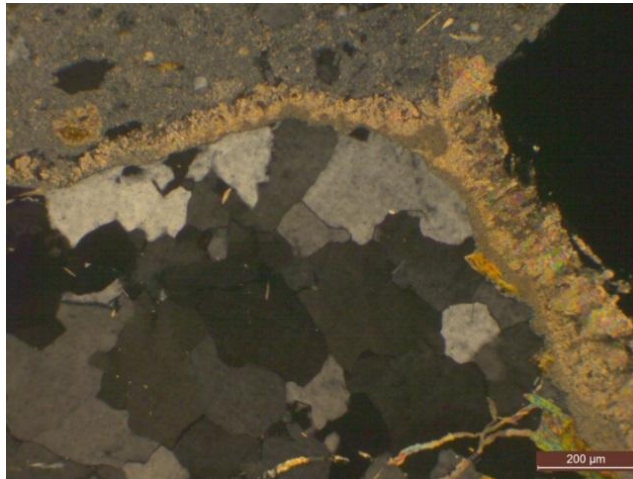


Figür 4.19 H4 örneğinin ince kesit görüntüsü

**Gözeneklilik:** Gözeneklilik yüzdesi %10.4 olarak belirlenen H4 örneğinde bağlayıcı su oranının yüksek olması nedeni ile büzüşme sırasında oluşabilen yoğun kılcal çatlaklar ve bu çatlakların. yüzeye kadar çıkması ve açık olması nedeni ile yeniden kristallenme gözlemlenmiştir (Figür 4.21).



Figür 4.20 H4 örneğine ait SEM görüntüsü ve EDX diyagramı

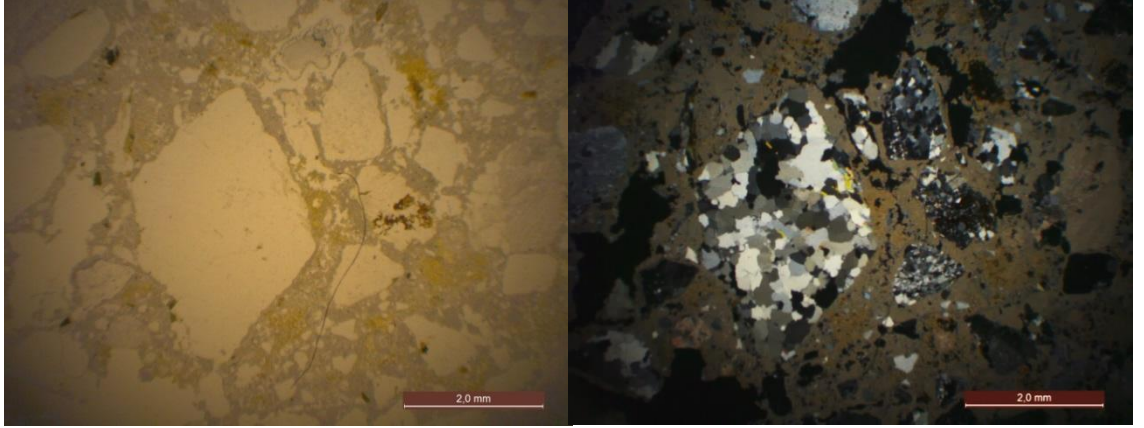


Figür 4.21 H4 örneğinde gözeneklerde gözlemlenen yeniden kalsit kristallenmesi

**H5 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut içerisindeki büyük salonunun doğu duvarından alınmıştır. Arkeolojik değerlendirmelere göre yapı 4. yüzyıla tarihlendirilmiştir.

**Bağlayıcı:** Bağlayıcı kısmı genel olarak mikritik dokudadır. 500 µm'dan daha küçük boyutlu karbonat yumruları nadiren görülmektedir ve buna bağlı olarak harcın söndürme süresinin uzun olduğu ve sönmüş kirecin süzülmesi düşünülmüştür. Bağlayıcının genelinde görülen sarı renkli tabaka biyotit bozulması ile ilgilidir (Figür 4.22).

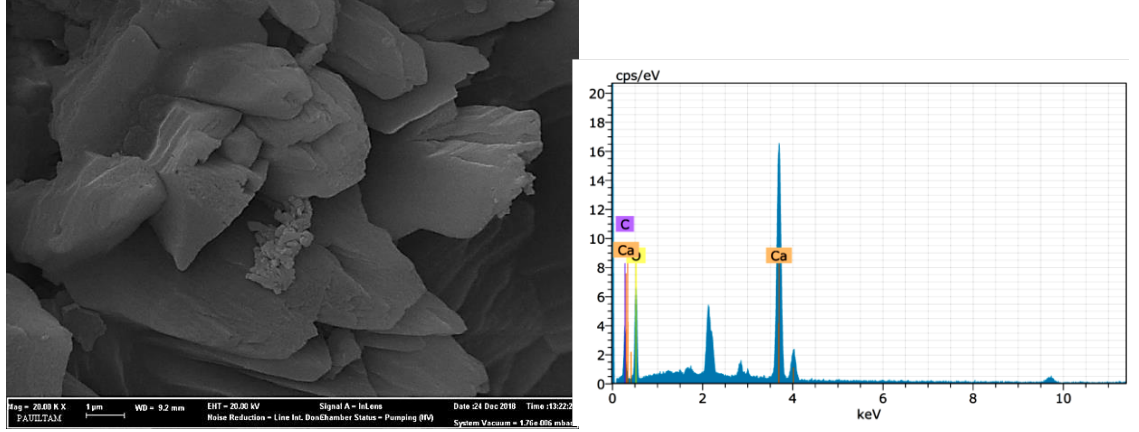
**Agrega:** Mineral olarak, muskovit, biyotit ve kuvars bulunmaktadır. Kayaç olarak bol miktarda mermer, kireçtaşı ve metamorfik kayaç parçaları kullanılmıştır. Agreganın geneli harca kırılarak eklendiği için köşelidir ve genel olarak iri agregalar kullanıldığı görülmüştür. Bağlayıcı/agrega oranı, 1/3 olarak belirlenmiştir.



Figür 4.22 H5 örneğinin ince kesit görüntüsü (biyotit bozulması)

**Gözeneklilik:** Harç örneğinin gözeneklilik yüzdesi %17.726'dır. Hem kılcal hem de iri boyutlu gözenekler kesitin her yerinde görülebilmektedir. Kılcal çatlakların yüzeye kadar çıkan açık gözenekler olduğu yeniden kristallenme ile açıklanabilir. İri ve orta boyuttaki dairesel gözeneklerde de yeniden kristallenme görülmektedir. Bu durum donma çözülme ve yeniden çökme döngüsü ile ilgili olmalıdır<sup>86</sup>. SEM görüntülerinde de yeniden kristallenmiş olan kalsit gözlemlenmiştir (Figür 4.23).

<sup>86</sup> Elsen 2004, 1416-1424.



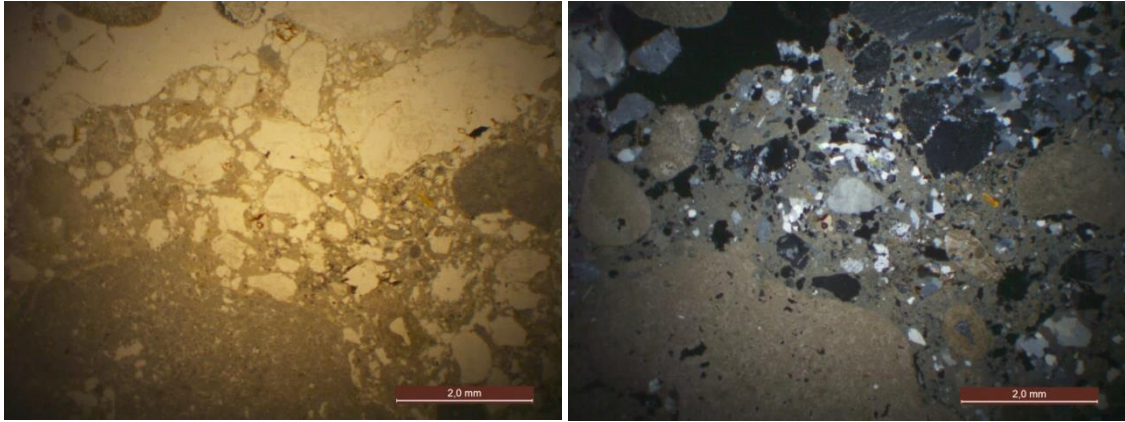
Figür 4.23 İkincil kalsit kristalleri

**H6 Örneği :** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut latrina yapısı doğu duvarına aittir. Kuzey-güney doğrultulu erken dönem duvarının bir kısmını içerde bırakacak şekilde doğu cephesinden sokağa doğru eklenen duvar, arkeolojik değerlendirmelere göre 5. yüzyıla aittir.

**Bağlayıcı:** Bu örnekte irili ufaklı çok sayıda olan karbonat yumruları incelediğinde doku, figür ve renklerinden yola çıkarak farklı üretim aşamalarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Koyu renkli ve mikritik dokudaki, fazla ısıya maruz kalarak yanmış kireç yumruları yüksek ısıya maruz kaldıkları için reaktivitesini kaybetmiştir. Düzgün şekle sahip olmayan mikritik dokudaki karbonat yumrularının ise kullanılan kirecin kuru söndürme yöntemiyle yani az miktarda suyla söndürüldüğü ve kirecin süzülmeden kullanıldığı için harcın içinde kaldığı düşünülmüştür. Bağlayıcının mikritik, mikrosparitik ve sparitik olmak üzere farklı kristal büyüklüklerinde olduğu ve genel olarak homojen olmayan zayıf bir dokuya sahip olduğu gözlemlenmiştir ve farklı CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı olarak karbonatlaşmanın her yerde aynı gelişmemesi ile ilişkilendirilmiştir (Figür 4.24).

**Agrega:** İncelenen örnek içerisinde mineral olarak plajiyoklaz, feldspat, piroksen, muskovit ve klorit gözlenmiştir. Kayaç olarak mermer, kireçtaşı, kiltası ve metamorfik kayaç parçalarının kullanıldığı görülmektedir. Agregaların genellikle yuvarlak kenarlı harca kırılmadan eklenmiş ve iri boyutlu olduğu görülmektedir. Bağlayıcı/agrega oranı asit kaybında 1/3 olarak belirlenmiştir. Ancak içeriğinde bol miktarda kireçtaşı, mermer ve kumtaşı agrega ile karbonat yumrularının bulunması nedeniyle asit kaybı analizinde bunların da çözündüğü düşünülmüştür. Nitekim

mineralojik görüntü işleme analizinde bağlayıcı\agrega oran 1/5 olarak karşımıza çıkmaktadır ve dönemler arası değerlendirme yapılırken bu şekilde kabul edilmiştir.

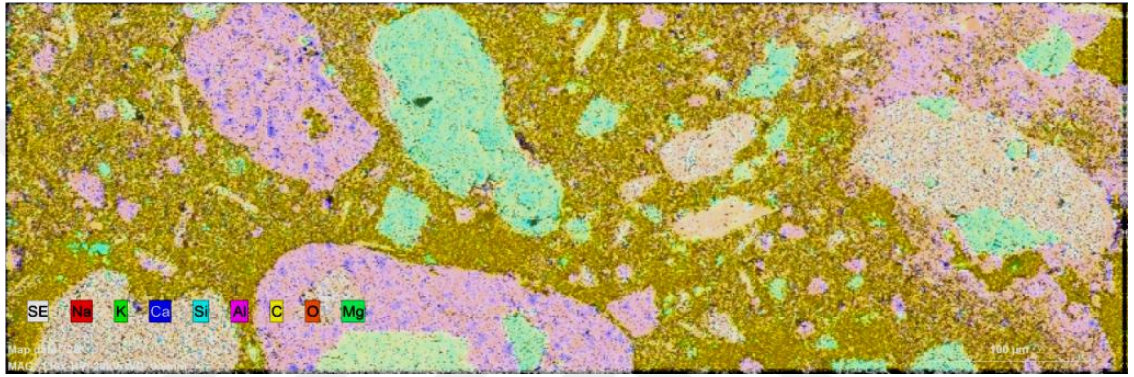
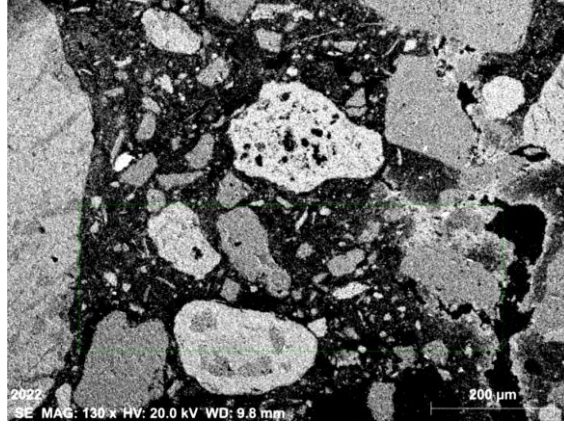


Figür 4.24 H6 örneğinin ince kesit görüntüsü

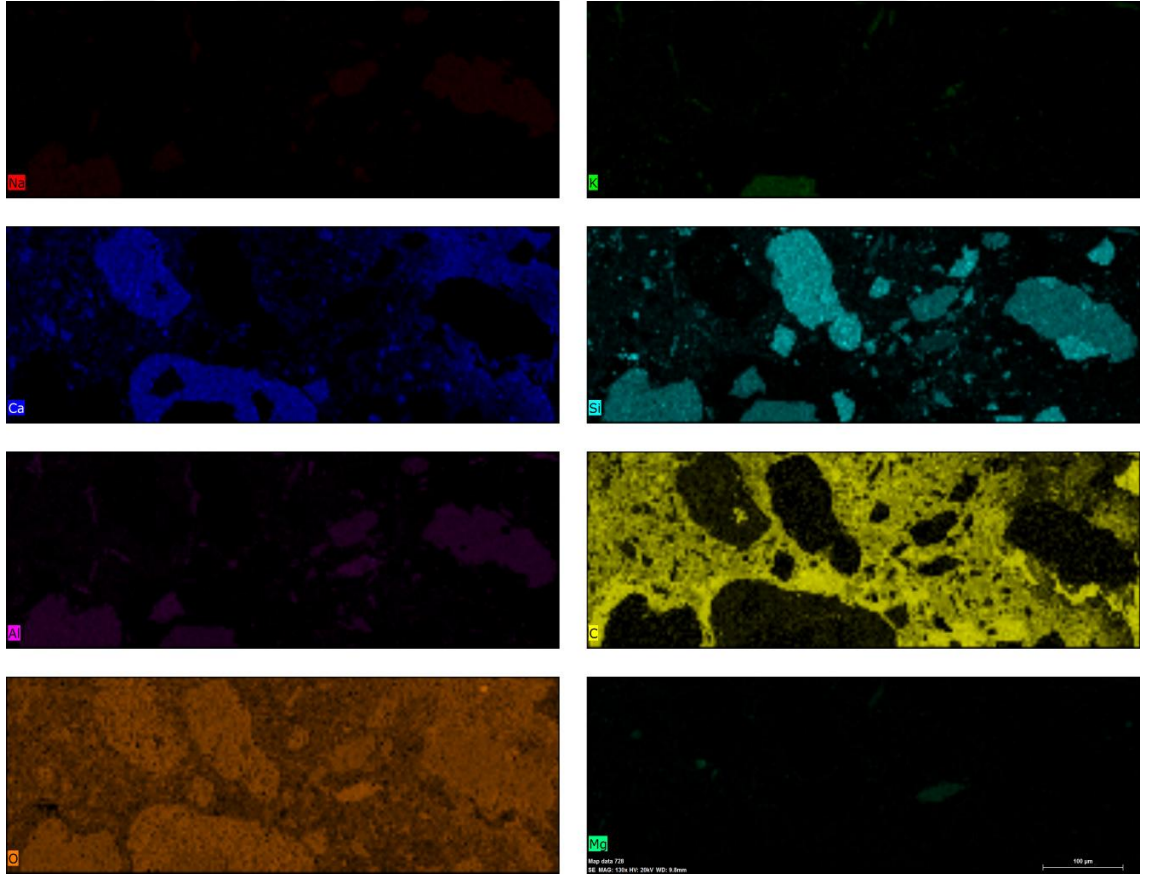
**Gözeneklilik:** Harç örneğinin gözeneklilik yüzdesi %10.08 dir. Bağlayıcı - agrega arasında genellikle kılcal gözenekler, kesitin genelinde iri ve orta boyutta gözenekler görülmektedir. Gözeneklerde yeniden kristallenme gözlenmemiştir. Bu durum donma çözülme döngüsü ile yüzeyde bulunan gözeneklerin kapanmış olması ile ilişkilendirilmiştir. H6 örneği genel olarak değerlendirildiğinde özensizce hazırlanıp uygulanmış onarım harcı olabileceği düşünülmüştür.

H6 örneğinin SEM incelemelerinde belirlenen bölgede haritalama yapılarak (Figür 4.25) element kompozisyonu belirlenmiş (Figür 4.26), sonrasında farklı büyütme ölçeklerinde mikro yapısı incelenmiştir (Figür 4.27).



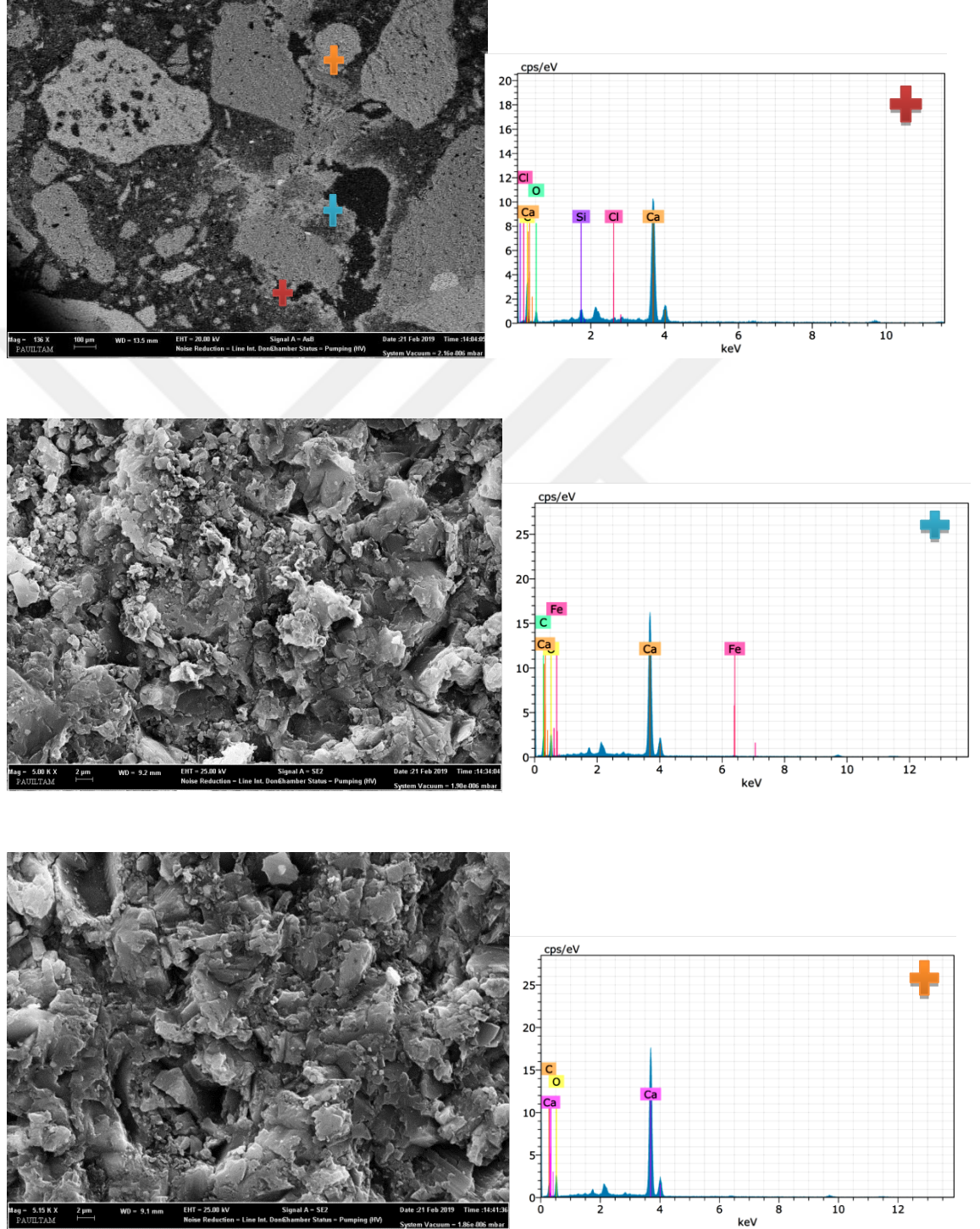


Figür 4.25 H6 örneğinin haritalama yapılan bölümü



Figür 4.26 H6 örneğinin haritalama çalışması sonucu element dağılımı

İncelenen karbonat yumrularının EDS diyagramlarına bakıldığında karbonat yumrusunun yalnızca yüksek oranda Ca içerdiği görülmüş ve bu nedenle bağlayıcı elde edilen kireçtaşının yüksek kalsiyumlu kireçtaşı olduğu düşünülmüştür.



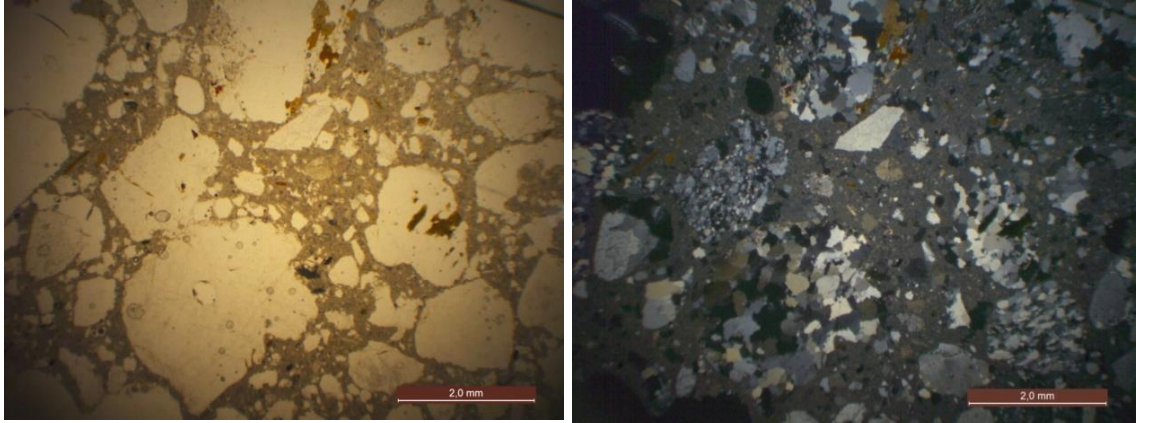
Figür 4.27 H6 örneğine ait haritalama yapılan bölgede farklı noktalardan alınan SEM görüntüleri ve EDS diyagramları ( + karbonat yumrusu).

**H7 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut içerisinde kullanılan onarım harcından alınmıştır (Figür 4.28).

**Bağlayıcı:** Bağlayıcı kısmın genel olarak mikritik dokuda ve koyu gri renkte olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre; kullanılan kirecin uygun sıcaklıkta yakıldığı, sönmüş kirecin bekletilme süresinin ideal olduğu görülmektedir.

**Agrega:** Mineral olarak kuvars, potasyumca zengin feldspat, biyotit, klorit, sodyumca zengin plajiyoklaz mineralleri ile kayaç olarak karbonatlı kayaçlar (kireçtaşı mermer, traverten), metamorfik kayaç parçaları tespit edilmiştir. Metamorfik kayaç parçalarının büyük çoğunluğu gnayslardan oluşmaktadır. Benzer sonuçlar XRD analizinde de tespit edilmiştir. Mikro fotoğraflama değerlendirmelerine göre bağlayıcı\agrega oranı 1/4.5 olarak belirlenmiştir.

**Gözeneklilik:** Harcın gözeneklilik yüzdesi mineralojik görüntü işleme programı değerlendirmelerine göre %7,89 olarak bulunmuştur. Kireç harçlarının sertleşmesi sırasında görülebilen kılcal çatlaklar onarım harcında gözlemlenmemiştir. Bu durumu bağlayıcı \ su oranı ve harca eklenen büzüşmeyi engelleyici katkı malzemeleri ile ilgili olmalıdır. Harcın genelinde karıştırma sırasında veya organik katkıların kullanılmasıyla oluşabilen orta boyutta gözenekler bulunmaktadır.



Figür 4.28 H7 örneğinin ince kesit görüntüsü

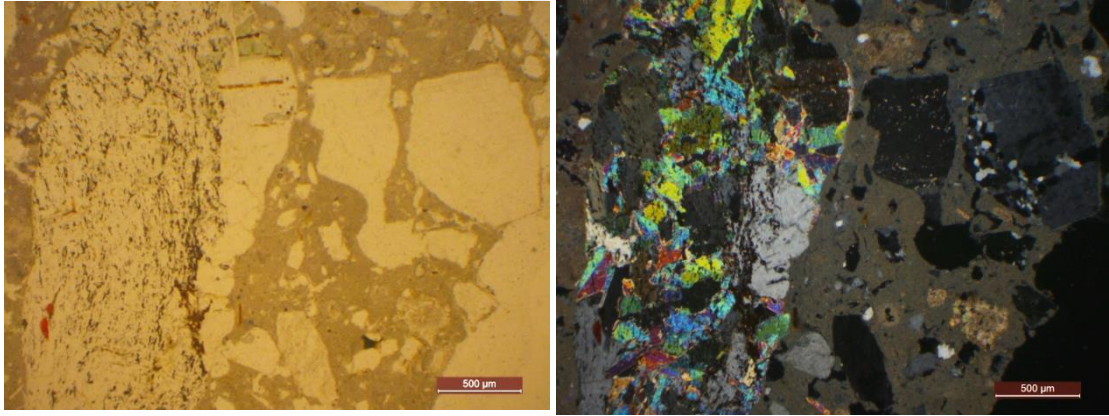
**H8 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut mekan 3 doğu duvarı 2.evre eşik altından alınmıştır Arkeolojik olarak yapılan değerlendirmelere göre 5.yy da eklenen odaların bazılarının 6.yy da işlev değiştirdiği görülmektedir. 3 numaralı oda da

bunlardan biridir ve sokağa bakan doğu cephede yer alan kapısı kapatılmıştır. H8 örneği sonradan kapatılan kapının dolgu malzemesinden alınmıştır.

**Bağlayıcı:** Harç örneğinin bağlayıcısı genel olarak miktirik dokudadır. Bağlayıcının az miktarda su ile söndürülmesi ile ilgili olduğu düşünülen, düzgün şekle sahip olmayan karbonat yumruları görülmektedir (Figür 4.29).

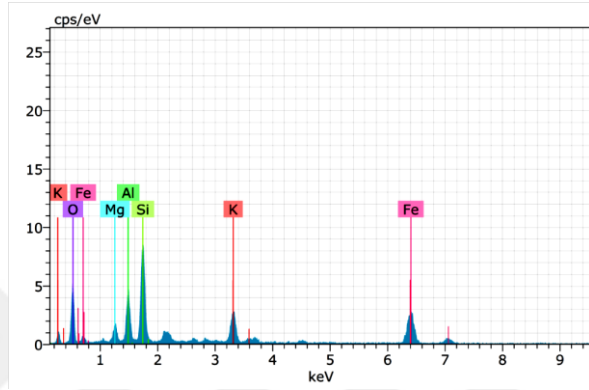
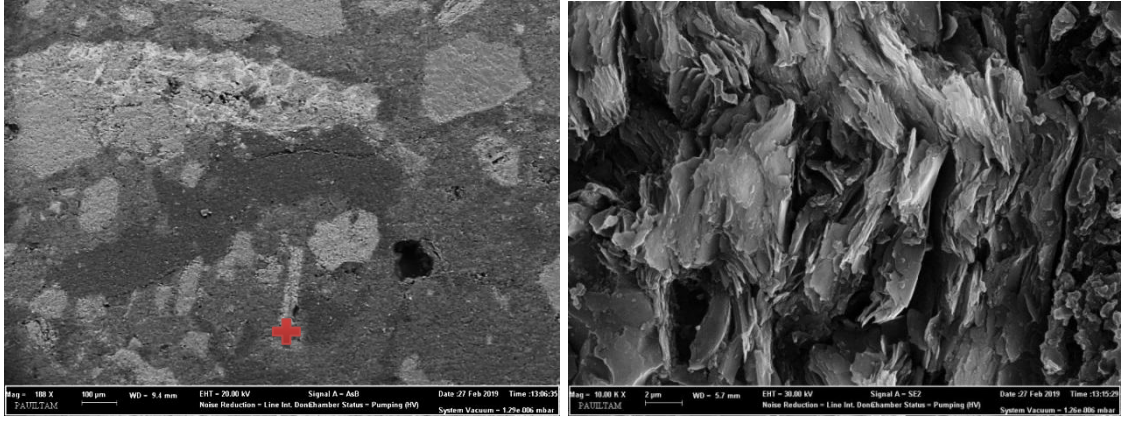
**Agrega:** Agregada kısmında kayaç parçacığı olarak mermer, kireçtaşı ve metamorfik kayaç parçaları (mikaşist), mineral olarak ise kuvars, plajiyoklaz, muskovit ve bol miktarda biyotit görülmektedir. Kesitin genelinde orta ve büyük boyutlu agregada görülmektedir ve yer yer köşeli yer yer de yuvarlak kenarlıdır. Mikro görüntüleme ile yapılan değerlendirmeler sonucunda bağlayıcı\agrega oranı 1\4 olarak hesaplanmıştır.

**Gözeneklilik:** Harcın genelinde karıştırma sırasında harca karışan hava kabarcıklarından kaynaklandığı düşünülen iri gözenekler gözlemlenmiştir. Gözeneklilik oranı %10.23 olarak tespit edilmiştir.

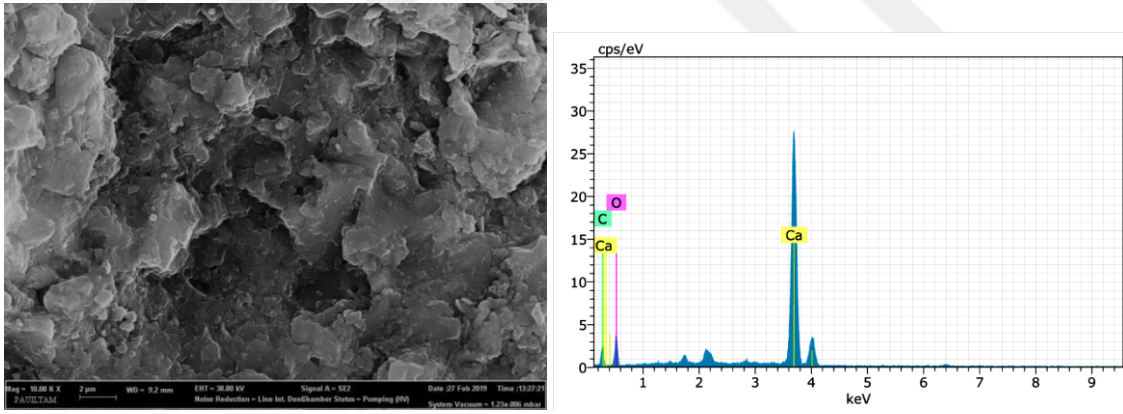


Figür 4.29. H8 örneğinin ince kesit görüntüsü

H8 örneğine ait SEM analizlerinde görüntülenen biyotit mineralinin mikroyapısı ve EDS diyagramı Figür 4.30'da yer almaktadır. Figür 4.31'de mikrosparitik dokudaki bağlayıcı kısım ve EDS diyagramı görülmektedir. Yüksek kalsiyum\oksijen oranından ve kristal yapısından yola çıkılarak karbonatlaşmanın tamamlanmadığı düşünülmüştür.



Figür 4.30 H8 örneği içinde bulunan biyotit minerali SEM görüntüsü

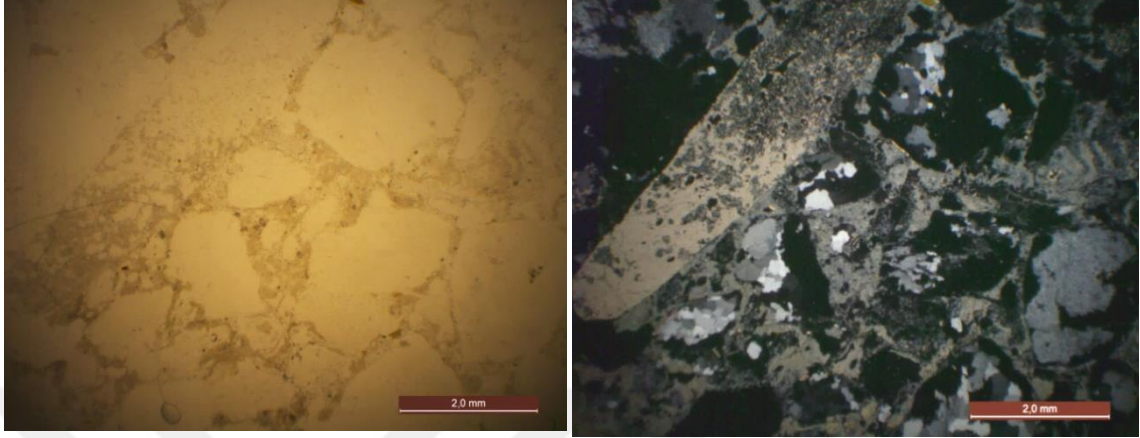


Figür 4.31 H8 örneği bağlayıcı kısım

**H9 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut içerisinde kiler olarak kullanıldığı düşünülen yapının batı duvarından alınmıştır (Figür 4.32). Arkeolojik değerlendirmelere göre yapı 6. yüzyıla tarihlendirilmiştir.

**Bağlayıcı:** Harcın bağlayıcı kısmının oldukça zayıf bir tabaka halinde ve genellikle sparitik dokuda olduğu gözlemlenmiştir.

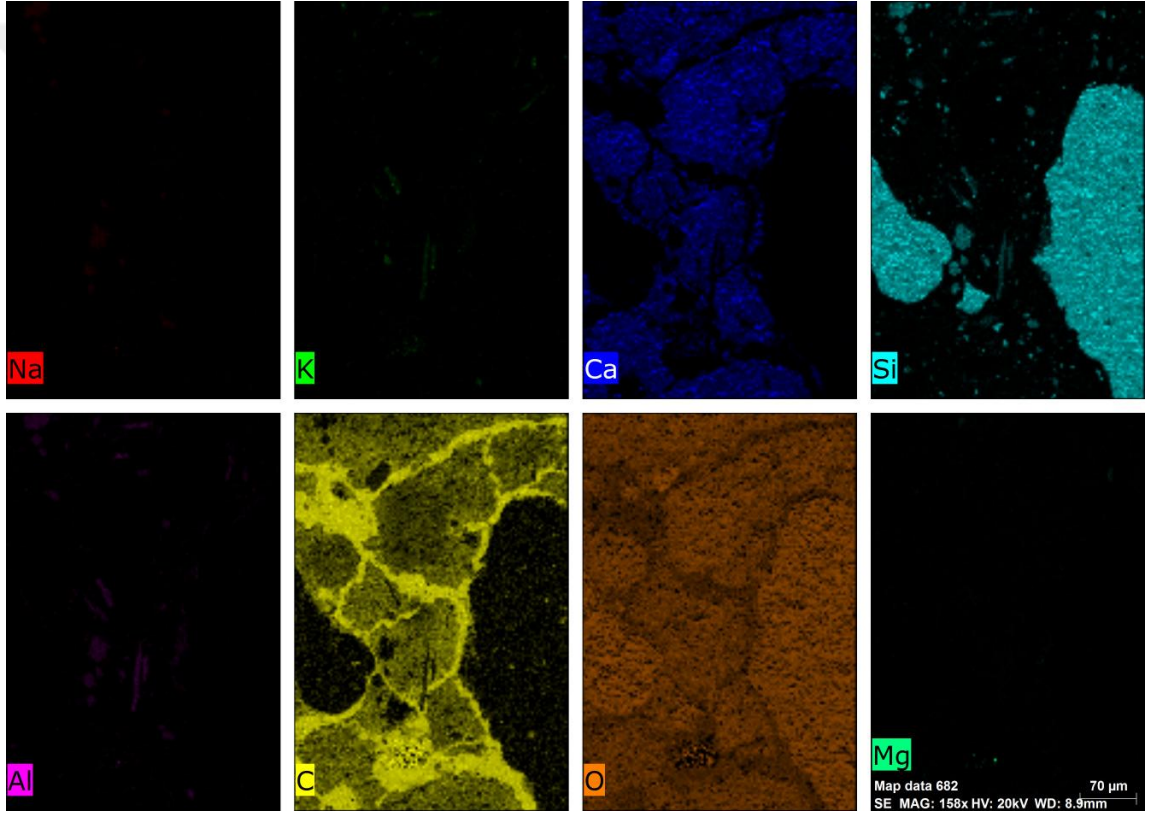
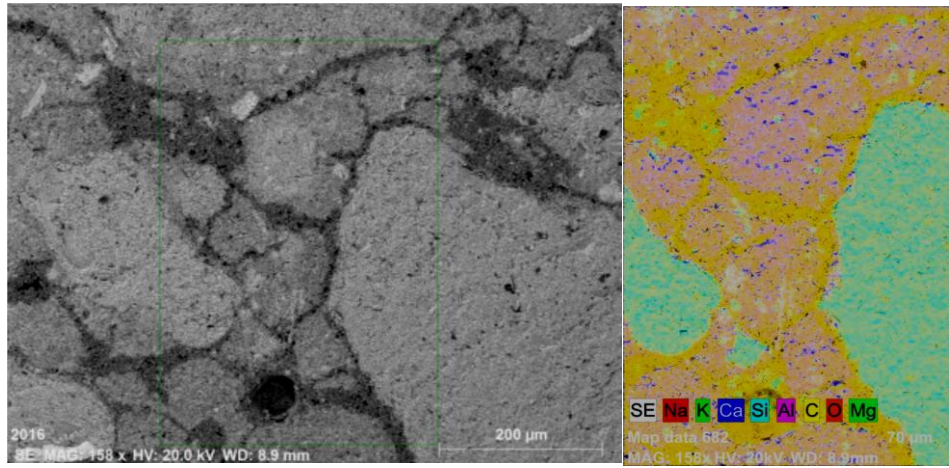
**Agrega:** Agregalar genellikle yuvarlak kenarlıdır ve boyut dağılımı düzensizdir. Genellikle metamorfik kayaç parçaları kullanıldığı görülmektedir. Bağlayıcı agrega oranı 1/2,5 olarak belirlenmiştir.



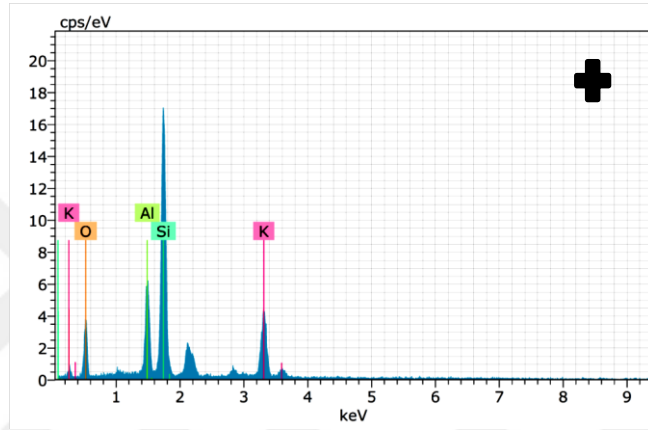
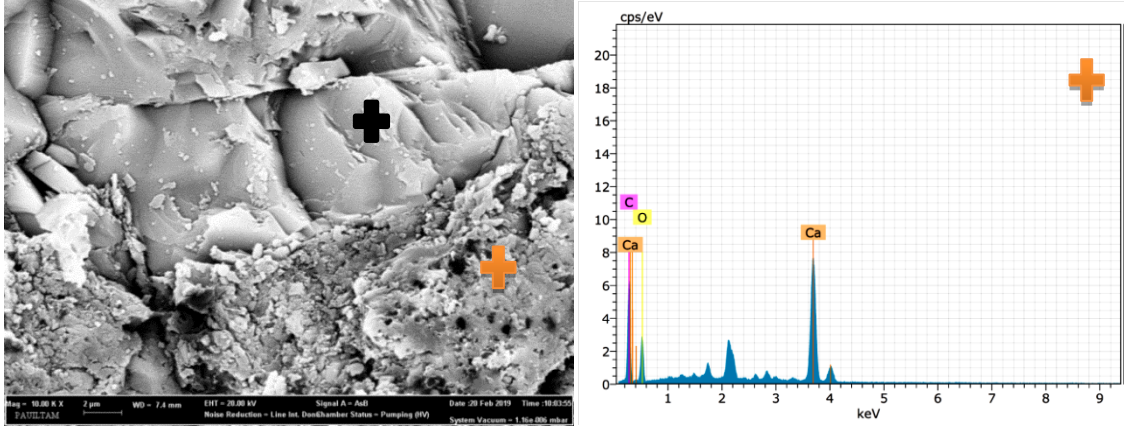
Figür 4.32 H9 örneğinin ince kesit fotoğrafı

**Gözeneklilik:** Harcın geneli gözeneklidir ve bu gözeneklerin malzeme kaybı ile ilgili olduğu düşünülmüştür. Kesitin genelinde yeniden kristallenme gözlemlenmiştir. Gözeneklilik yüzdesi %30.937 olarak belirlenmiştir.

H9 numaralı harç örneğinde haritalama yapılmıştır (Figür 4.33). Bağlayıcı-agrega arasında bağın olmadığı Figür 4.34’de açıkça görülmektedir. Bağlayıcı kısımda kristal yapısı henüz gelişmeyen çökelmiş  $\text{Ca(OH)}_2$  görülmektedir.



Figür 4.33 H9 örneğine ait haritalama yapılan bölge ve element dağılımı



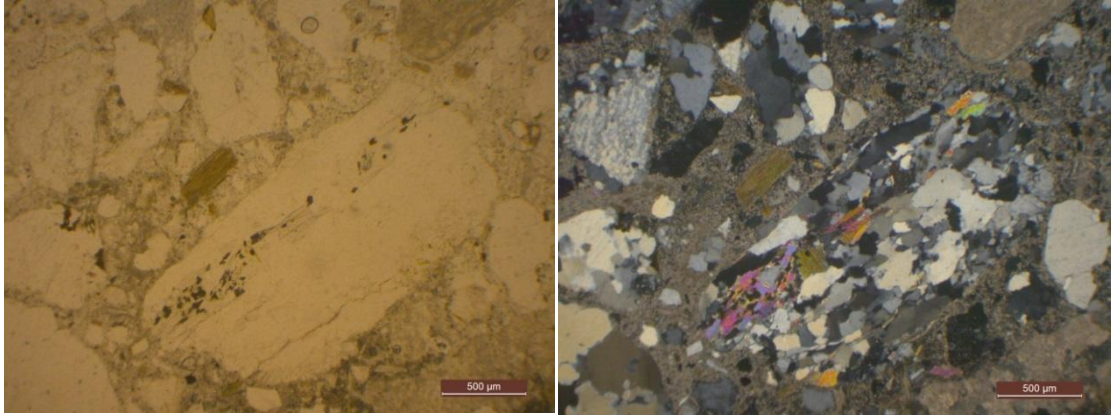
Figür 4.34 H9 örneğine ait bağlayıcı\agrega arayüzü ve bağlayıcı\agrega EDS diyagramları

**H10a Örneği:** İncelenen harç örneği, yapının 2.evresine ait olduğu düşünülen mekan 3 de yer alan, muhtemelen daha geç bir evrede kullanılmış olan kireç harcı kalıntısına aittir. 10 (a ve b) numaralı harç örneği bu harç kalıntısının kesit ve yüzeyinden alınmıştır. H10a bu kalıntının kesitinden alınan örnektir (Figür 4.35).

**Bağlayıcı:** Bağlayıcı kısım CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun farklılığından kaynaklanan mikritik, mikrosparitik, sparitik olarak farklı dokularda gözlemlenmiştir. Figür 4.36'de H10a örneğine ait SEM görüntüsünde bağlayıcı kısmının henüz karbonatlaşmasının tamamlanmadığı görülmektedir.

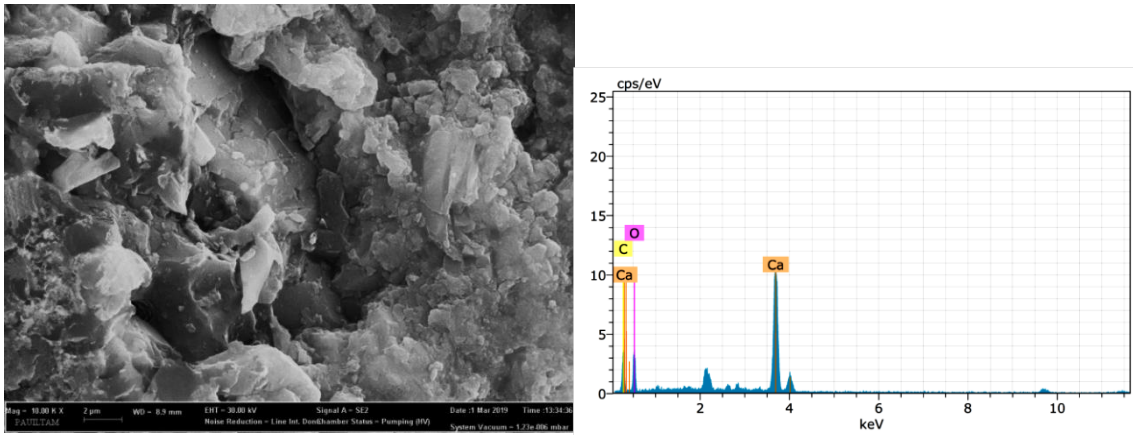
**Agrega:** Mineral olarak mika pulcukları (biyotit ve muskovit), kuvars ve bolca feldspat görülmektedir. Kayaç olarak granat, kumtaşı ve metamorfik kayaç parçaları gözlenmektedir. Kullanılan agregaların köşeli olması nedeniyle kırılarak kullanıldığı görülmektedir. Bağlayıcı\agrega oranı, 1/5 olarak belirlenmiştir. Agreganın SEM ile incelenen mikro yapısı Figür 4.37'de görülmektedir.





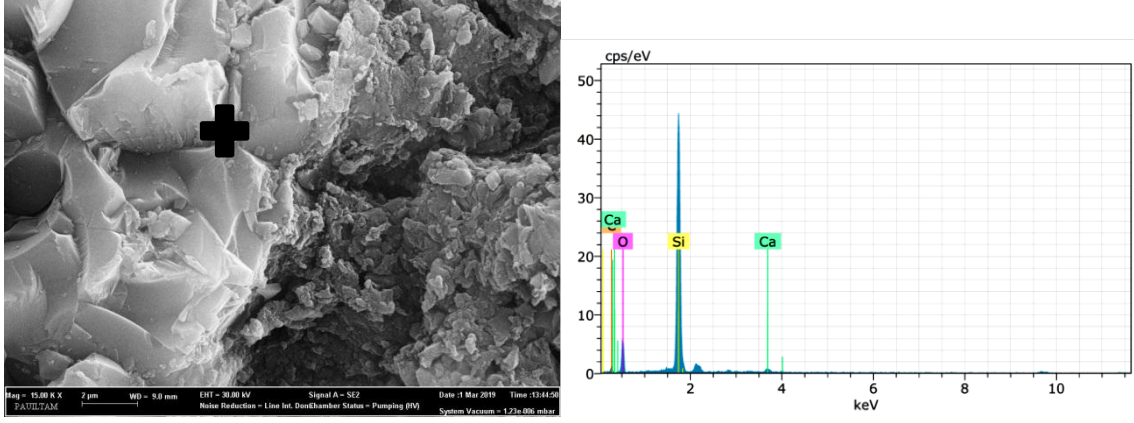
Figür 4.35 H10a örneğine ait ince kesit görüntüsü

**Gözeneklilik:** Gözeneklilik yüzdesi %3,257 olarak belirlenmiştir H10a örneğinde yüzeye çıkan kılcal boşluklar az miktarda gözlemlenmiştir. Ancak iri gözenekler içinde içinde dairesel olarak çökelmiş yeniden kristallenmeler kesitin hemen hemen her yerinde karşımıza çıkmaktadır. Bu durumun çözülme ve yeniden çökelme döngüsü ile ilgili olduğu düşünülmüştür<sup>87</sup>.



Figür 4.36 H10a örneğine ait bağlayıcı kısım SEM görüntüsü ve EDS diyagramları

<sup>87</sup> Thomson et al 2004, 3.

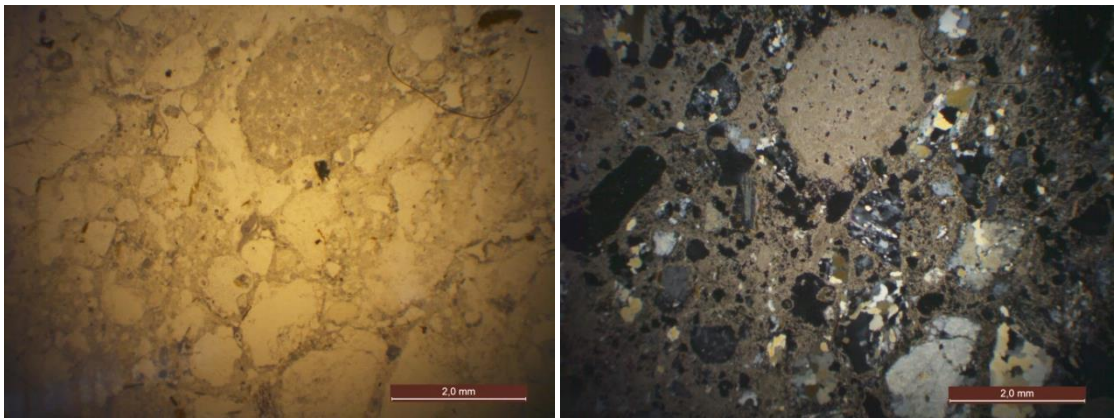


Figür 4.37 H10a örneğine ait agrega SEM görüntüsü ve EDS diyagramları

**H10b Örneği :** Mekan 3 içindeki antik harç kalıntısına ait yüzeyden alınmış olan örnektir.

**Bağlayıcı:** Bağlayıcı dokusunun yine aynı harç kalıntısının kesitinden alınan H10a örneğinden oldukça farklı olduğu görülmüştür. H10b örneğinin bağlayıcı kısmı sparitik ve zayıftır. Bu durum, üzerinde çalışılan örneğin yüzeyden alınması ile ilgili her türlü dış etkiye daha fazla maruz kaldığı ve bu yüzden malzemenin bozulmuş olması ile ilişkilendirilmiştir (Figür 4.38).

**Agrega:** Agregâ özellikleri kalıntının kesitinden alınan H10a örneği ile aynıdır. Bağlayıcı agrega oranı 1/5 tir.



Figür 4.38 H10b örneğinin ince kesit görüntüsü

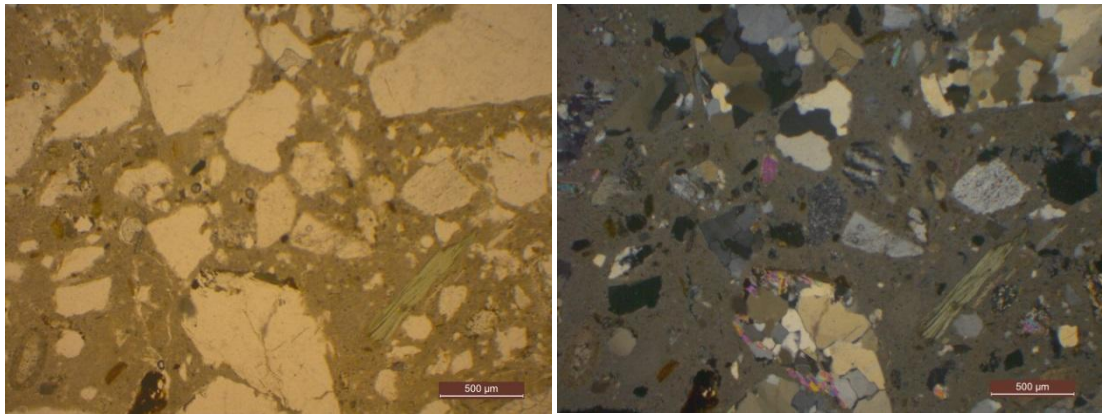
**Gözeneklilik:** Harcın bağlayıcı dokusunun bozulma nedeniyle çok daha yoğun gözenekli olduğu gözlemlenmiş, bu nedenle boşluk yapısında sağlıklı bir değerlendirme yapılamamıştır. İmage j değerlendirmelerine göre gözeneklilik yüzdesi %10,85 tir.

**H12 Örneği:** Yapının erken döneminde 4. yüzyıla ait olduğu düşünülen sokak üzerindeki sekiden alınan örnektir.

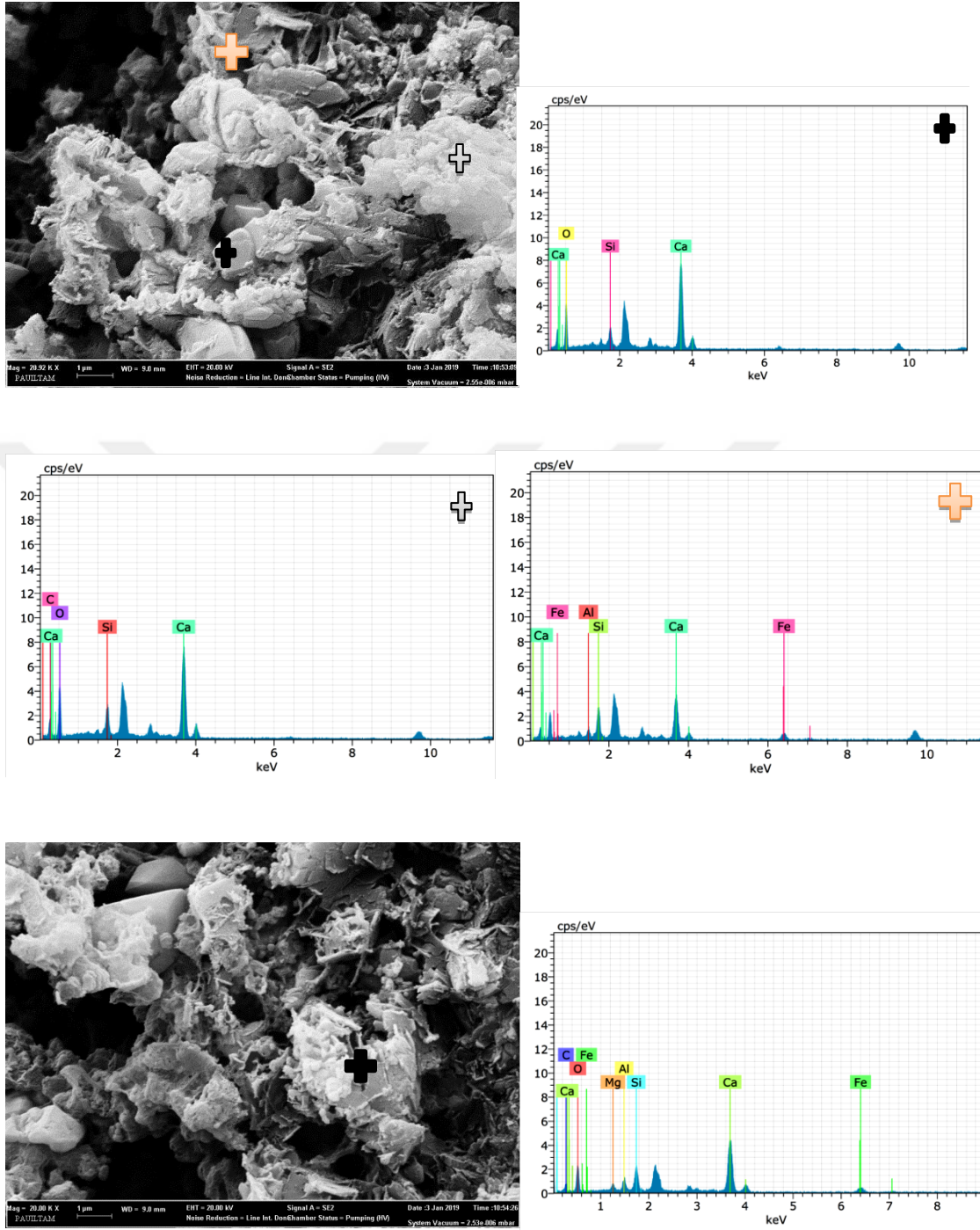
**Bağlayıcı:** Bağlayıcı mikritik ve homojen bir yapıya sahiptir. Figür 4.39’de görüldüğü gibi bağlayıcının dokusu 4.yüzyıla ait olduğu düşünülen 4 ve 5 numaralı örnekten farklıdır. İnce kesit incelemelerinde karbonat yumruları gözlemlenmemiştir. Örneğin SEM incelemelerinde yine diğer örneklerden farklı olarak jelsi yapılar gözlemlenmiştir (Figür 4.40). Bu durum puzolanik özellikte agrega kullanımına bağlı olabilir ancak yapılan mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre puzolanik agregaların kullanılmış olabileceğine dair bir sonuca ulaşılamamıştır.

**Agrega:** Mineralojik olarak iri muskovit taneleri, kuvars, feldspat ve granat gözlemlenmiştir. Kayaç olarak mermer, kireçtaşı, kumtaşı, metamorfik kayaç parçaları kullanıldığı Figür 4.39’deki ince kesit görüntüsünde görülmektedir. Harcın genelinde harca kırılarak eklendiği düşünülen köşeli agreglar kullanılmıştır. Bağlayıcı agrega oranı 1/3,5 olarak belirlenmiştir.

**Gözeneklilik:** Harcın genelinde harcın hazırlanması sırasında oluştuğu düşünülen küçük dairesel gözenekler gözlemlenmiştir. Bağlayıcı\agrega oranı %4,87’dir.



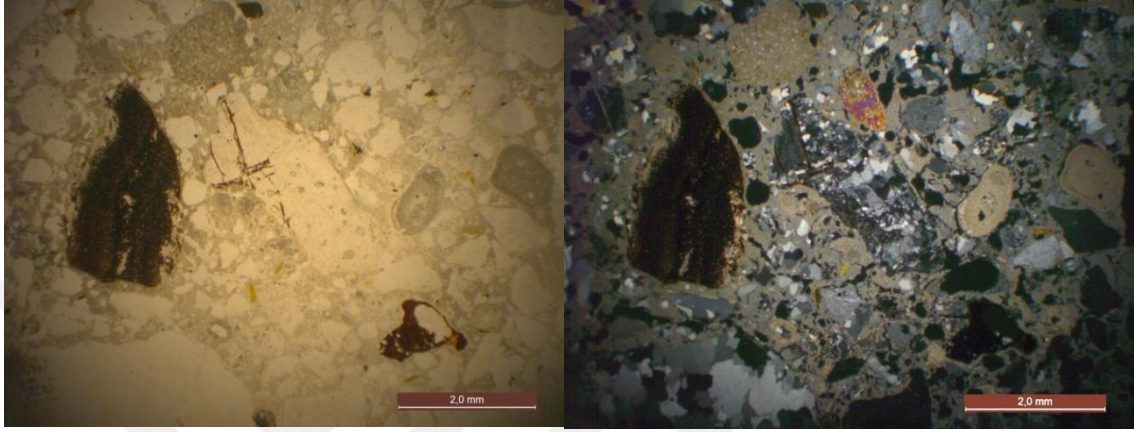
Figür 4.39 H12 örneğinin ince kesit görüntüsü



Figür 4.40 H12 örneğinin farklı noktalardan alınan SEM görüntüleri ve EDS diyagramları

**H13 Örneği:** İncelenen harç örneği, Mozaikli konut içerisindeki Mekan 5 apsisli yapının güney duvarından alınmıştır. Arkeolojik değerlendirmelere göre yapının 2. kullanım evresine 6. yy olarak tarihlendirilmiştir.

**Bağlayıcı:** Harç örneğinin dokusu mikritik, mikrosparitik ve sparitik olarak farklılık göstermektedir. Ayrıca bağlayıcının genelinde de açıkli koyulu renk farklılıkları gözlemlenmiştir. Bağlayıcı kısımda gözenekli, farklı renk ve dokulara sahip karbonat yumrusunun gözlemlenmiş, bu durumun söndürme sırasında yeterli suyun kullanılmadığı, harcın iyi karıştırılmaması ile ilgili olduğu düşünülmüştür (Figür 4.41).



Figür 4.41 H13 örneğinin ince kesit görünümü

**Agrega:** Mineral olarak feldspat, kuvars, biyotit, muskovit ve opak mineraller bulunmaktadır. Kayaç olarak kireçtaşı, kumtaşı, kiltası ve metamorfik kayaç parçaları görülmektedir. Agregada genellikle yuvarlak kenarlıdır. Bağlayıcı agregada oranı 1/5 dir.

**Gözeneklilik:** H13 örneği oldukça gözenekli bir yapıya sahip olmasına rağmen yeniden kristallenme oldukça azdır. Bu durumun, örneğin yüzeyden alınması ve yüzeye yakın gözeneklerin yeniden kristallenme sonucu kapanmış olması ve yüzeye kadar çıkan açık kılcal gözeneklerin olmaması ile ilgili olduğu düşünülmüştür.

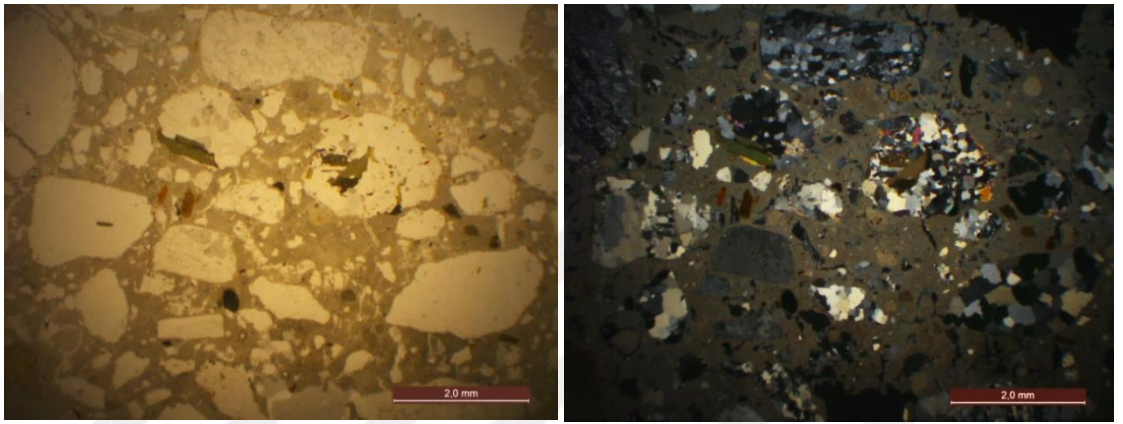
**H14 Örneği:** Yapının en erken evresi olan 4. yüzyıla ait H14 örneği, 6 yüzyılda apsisli yapının içinde kalan temel seviyesindeki taban döşemesi ara harcından alınmıştır.

**Bağlayıcı:** Örneğin ince kesit incelemelerinde bağlayıcı kısmın genel olarak mikritik, gözenek kenarlarında yeniden kalsit kristallenmelerin olduğu kısımlarda sparitik dokudadır (Figür 4.42). Yer yer karbonat yumrusu benzeri bağlayıcı yoğunlukları gözlemlenmiştir ve bu durum harcın iyi karıştırılmamış olması ile ilgili

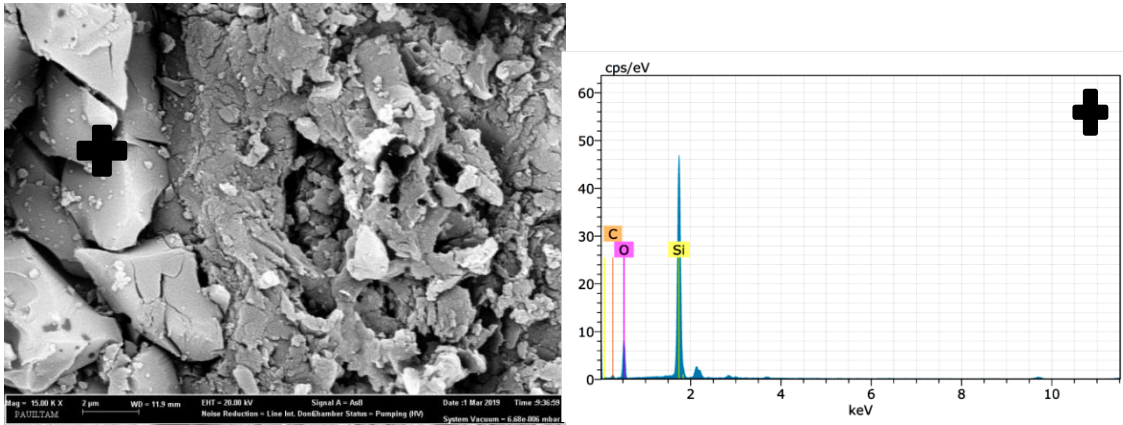
olmalıdır. SEM görüntülerinde bağlayıcı\agrega arasında bağ olmadığı görülmektedir (Figür 4.43-44).

**Agrega:** Agregalar olarak; kuvars, metamorfik kayaç parçaları ve kuvarsit görülmektedir. Agregaların çoğu yuvarlak kenarlıdır. Bağlayıcı\agrega oranı 1/3,5'dir.

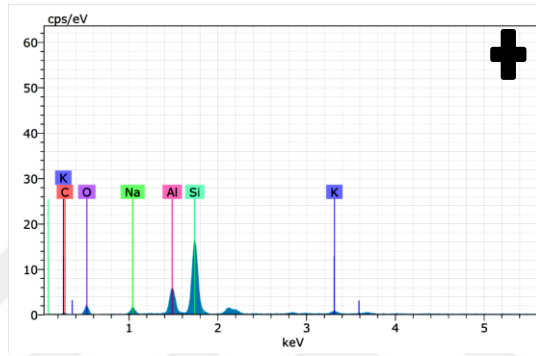
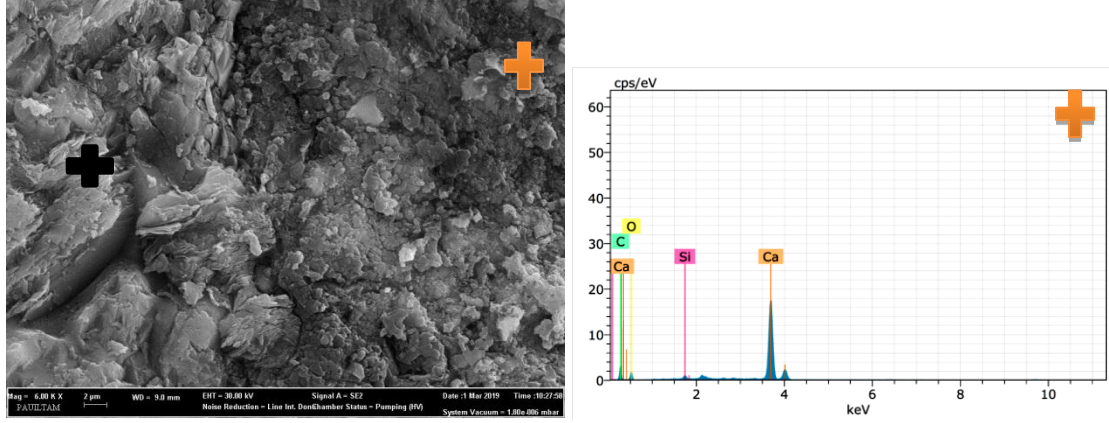
**Gözeneklilik:** Kesitin genelinde karbonatlaşma sırasında oluştuğu düşünülen kılcal boşluklar yoğunluktadır. Bu kılcal çatlaklarda yeniden kristallenmelerin görülmesi birbirleri ile bağlantılı ve açık olmaları ile ilişkilendirilmiştir.



Figür 4.42 H14 örneğinin ince kesit görüntüsü

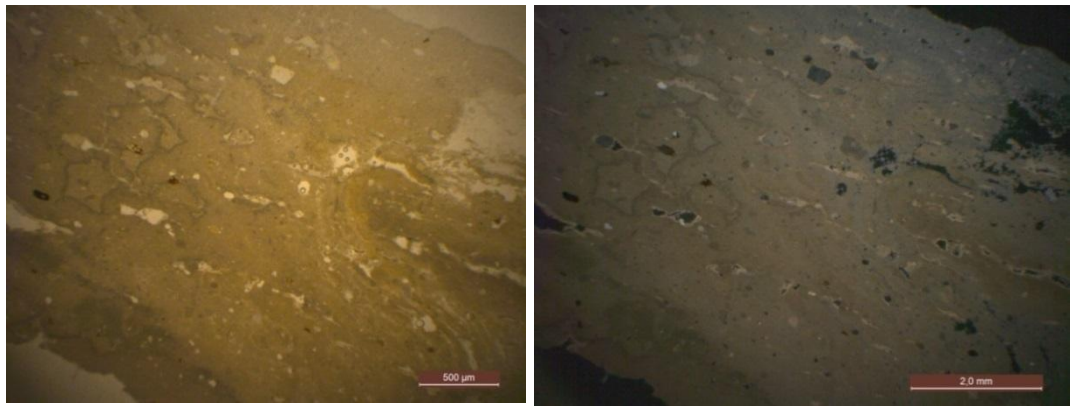


Figür 4.43 H14 örneği bağlayıcı\agrega arayüzü ve agreganın EDS diyagramı



Figür 4.44 H14 örneğinin bağlayıcı\agrega arayüzü, bağlayıcı ve agregaya ait EDS diyagramları

**Hkünk:** Kuzey güney doğrultulu sokak üzerinde bulunan ve yapının ikinci evresinde yapıldığı düşünülen künk harcı örneğidir. Bu örnekte agrega kullanılmadığı görülmektedir. Harcın yapısındaki gözeneklerin uygulama sırasında oluştuğu düşünülmektedir. Bazı gözeneklerde çözülme ve yeniden çökeltme sonucunda oluştuğu düşünülen kalsit kristalleri gözlemlenmiştir (Figür 4.45).



Figür 4.45. Künk örneğinin ince kesit görünümü

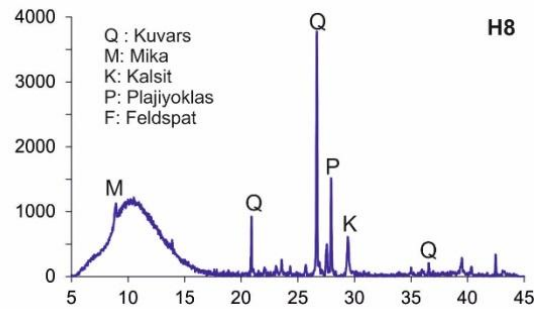
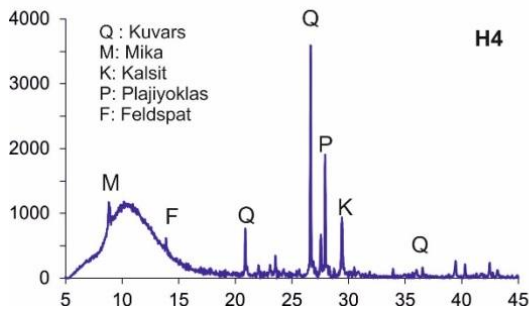
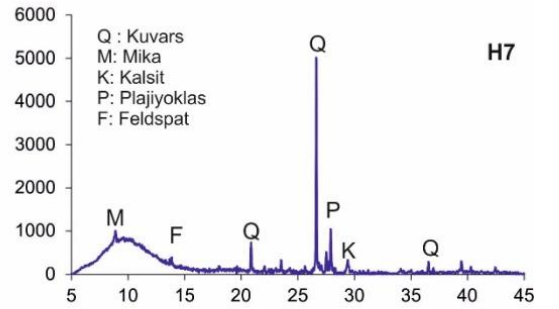
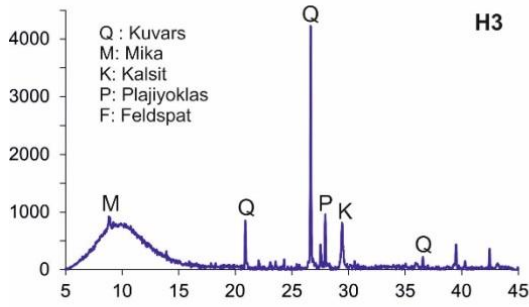
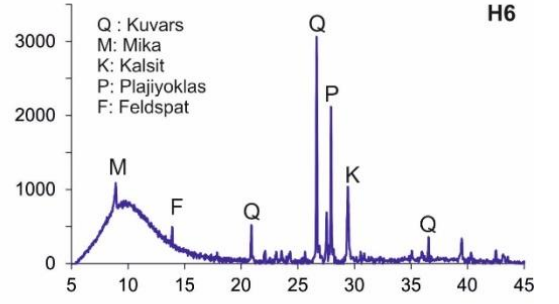
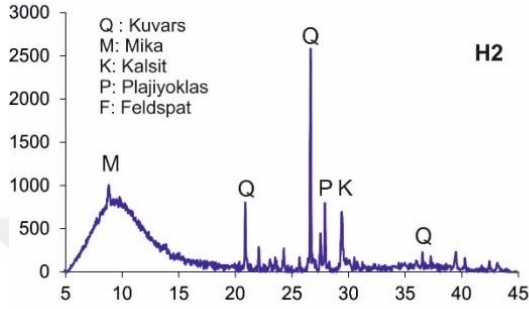
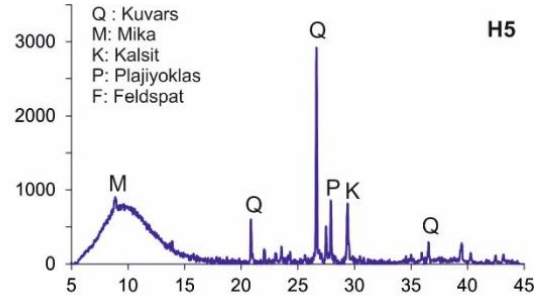
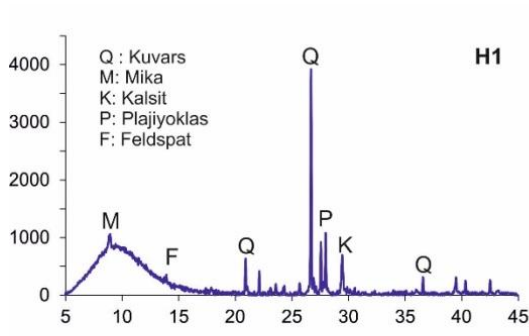
#### 4.1.2. XRD Analiz Sonuçları

X-ışınları difraksiyonu ile mineraller kristal formlarından yola çıkılarak tayin edilir. Mineraller doğada farklı kristal formlarda oluşabilir. Farklı kristal formlara sahip olan mineraller X ışınları ile karşılaştıklarında farklı kırılma ve yansıma değerleri gösterir. Benzer element kompozisyonları farklı kristal formlarında şekillenebileceğinden mineral fazlarının belirlenmesinde kullanışlı bir yöntemdir. Tarihi harçların karakterizasyonu ile ilgili puzolanik malzemelerin ve hidrolik ürünlerin tespit edilmesinde<sup>88</sup>, harcın mineralojik kompozisyonunun belirlenmesi ile bağlayıcı ve agrega türünün tespit edilmesinde kullanılır. Mozaikli Konuttan alınan kireç harcı örneklerinin XRD sonuçlarında, metamorfik kayaç parçalarından gelen feldspat, kuvars, ve mika, bağlayıcıdan gelen kalsit pikleri görülmüştür. Sonuçlar örneklerin genelinde benzerdir. Ancak yapının 2. (5.yüzyıl) ve 3. (6.yüzyıl) evrelerine ait örneklerde kalsit pikinin şiddetinin arttığı görülmüştür. Bu durum yapının 2. ve 3. yapım evrelerinde agrega olarak metamorfik kayaç parçalarının yanında karbonatça zengin agregaların kullanımının artması ile ilişkilendirilmiştir. Analiz sonuçları Figür 4.46-47'de verilmiştir.

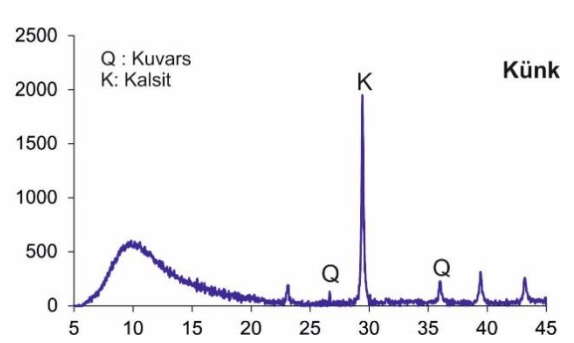
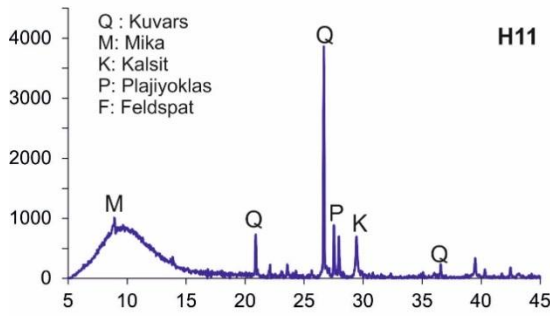
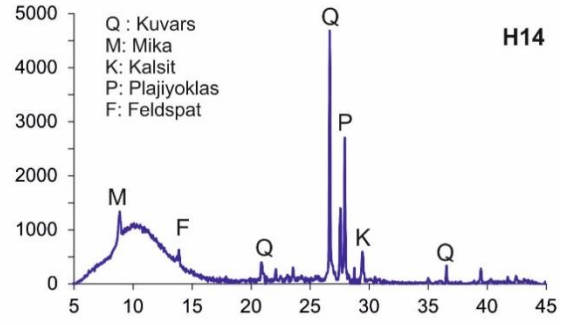
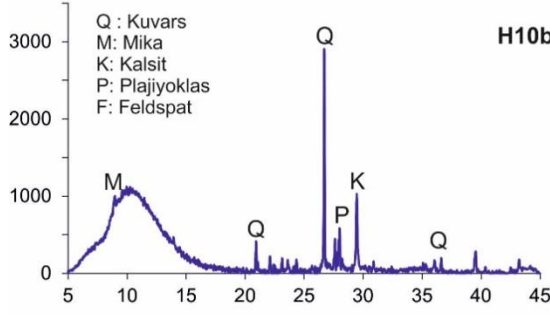
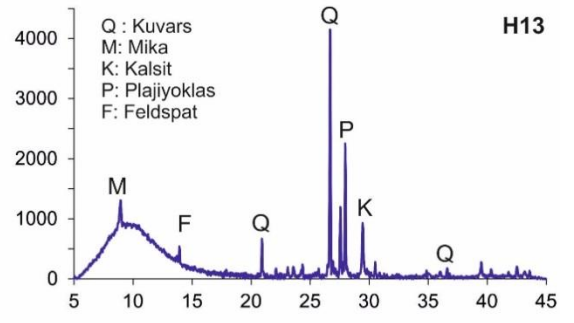
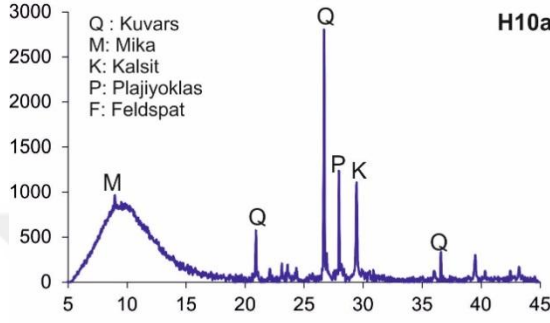
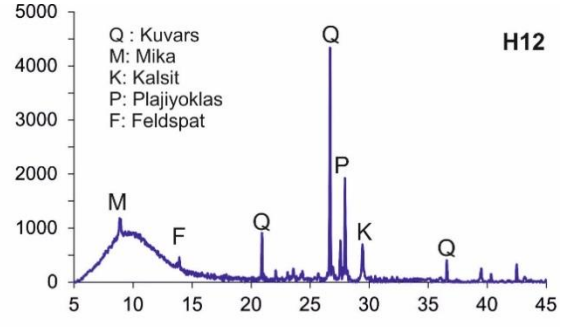
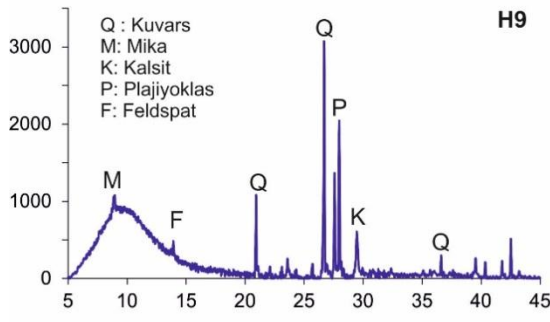
---

<sup>88</sup> Kahraman 2008,60; Böke et al.. 2008,866-874.





Figür 4.46 Harç örneklerinin XRD grafikleri



Figür 4.47 Harç örneklerinin XRD grafikleri

## 4.2. Kimyasal Analiz Sonuçları

### 4.2.1.XRF Sonuçları

XRF analizi malzemelerin element kompozisyonunun belirlenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Harç örneklerinin ana element oksit değerleri Tablo 4.1’de iz elementler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Mineralojik ve petrografik özelliklerine göre birbirine yakın özellikler gösterdikleri tespit edilen harç örnekleri kimyasal özelliklerine göre iki grup altında değerlendirilmiştir. H10a ve H10b örnekleri duvar harcı olarak alınmadığı için değerlendirme dışında tutulmuştur. Birinci grup örnekler (H4, H5, H12 ve H14) içerdikleri yüksek SiO<sub>2</sub> içerikleri ile ayrılmaktadır. Ortalama SiO<sub>2</sub> içerikleri %48,48’dir. Bu içerik örneklerdeki gnays agregalarla ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve K<sub>2</sub>O değerleri de yüksektir. Bu değerler ortalama %7,25 ile %2,91 olarak tespit edilmiştir. Bu oranlar da yine içerisinde tespit edilen gnayslardan geldiği düşünülen mika mineralleri ile ilişkilidir (Figür 4.48). Buna karşın örneklerin CaO içerikleri ortalama %14,17 olup bu değerler Grup 2 ‘ye göre daha düşük değerlerdedir.

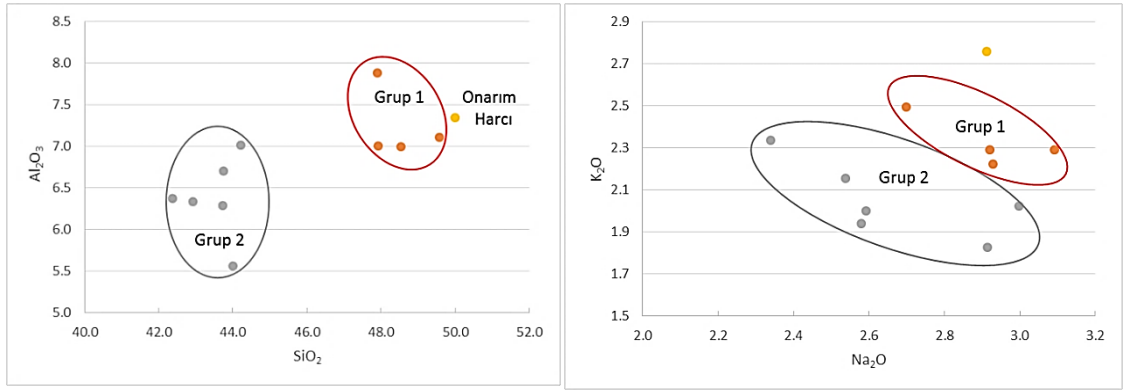
Tablo 4.1 XRF analiz sonuçları ana oksit yüzdeleri (ağırlıkça%)

Ana Oksit %	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
H1	48,26	0,21	7,38	1,13	0,01	0,84	14,27	2,40	2,97	0,16	0,01	0,10
H2	44,22	0,22	7,02	1,11	0,02	0,83	15,89	2,02	3,00	0,16	0,01	0,33
H3	43,75	0,19	6,70	1,21	0,02	0,70	17,57	2,00	2,59	0,18	0,00	0,14
H4	48,53	0,18	7,00	1,17	0,02	0,88	15,94	2,50	2,70	0,16	0,01	0,08
H5	49,58	0,15	7,11	0,98	0,02	0,66	14,80	2,22	2,93	0,13	0,00	0,12
H6	42,36	0,16	6,38	1,13	0,02	1,02	18,63	2,34	2,34	0,14	0,01	0,18
H7	49,99	0,17	7,35	1,11	0,01	0,49	15,76	2,76	2,91	0,13	0,00	0,22
H8	43,72	0,16	6,29	1,01	0,02	1,05	16,20	1,94	2,58	0,17	0,01	0,24
H9	44,01	0,12	5,57	0,85	0,01	0,81	14,34	1,83	2,91	0,09	0,01	0,12
H10a	23,07	0,11	3,31	0,79	0,01	0,70	13,19	11,82	2,05	0,06	0,01	0,63
H10b	44,32	0,13	6,36	0,81	0,01	1,05	17,87	2,77	2,49	0,10	0,01	0,49
H11	47,37	0,15	6,61	0,95	0,01	0,75	16,44	2,49	2,62	0,12	0,01	0,13
H12	47,91	0,21	7,00	1,10	0,02	0,57	14,38	2,29	2,92	0,19	0,01	0,16
H13	42,92	0,17	6,33	0,96	0,02	0,97	16,55	2,16	2,54	0,13	0,00	0,23
H14	47,89	0,22	7,89	1,45	0,02	1,13	11,56	2,29	3,09	0,21	0,01	0,10
Hkünk	2,89	0,03	0,53	0,26	0,01	0,75	52,01	0,48	0,23	0,12	0,01	0,76

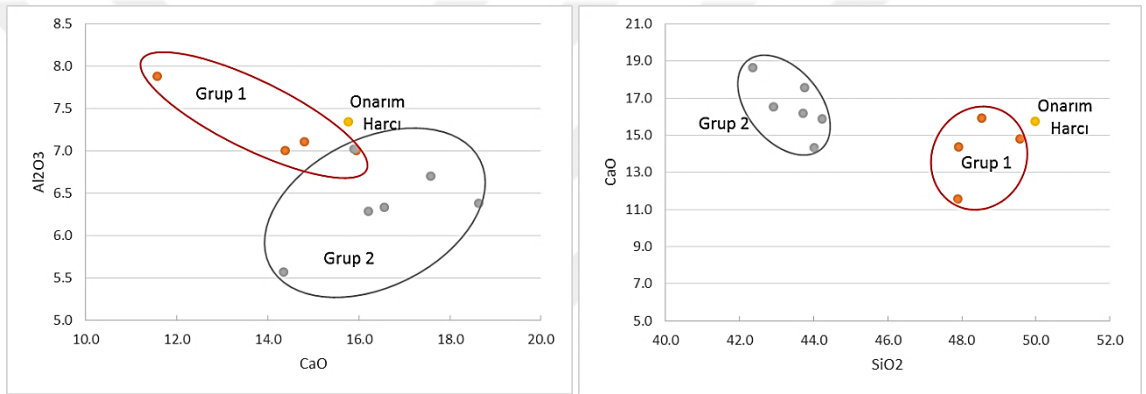
Tablo 4.2 XRF sonuçları iz element miktarları

İz Element		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10a	H10b	H11	H12	H13	H14	Hkünk
Cl	ppm	58,8	83,8	117,1	51,8	176,9	74,8	46,5	80,0	1812,0	42450,0	5789,0	94,2	113,4	766,1	151,1	2306,0
V	ppm	27,3	22,8	17,2	23,0	12,5	19,3	23,4	20,4	12,5	16,1	15,8	20,0	13,8	16,0	22,1	0,9
Co	ppm	46,5	42,9	70,6	61,2	60,0	38,3	57,0	44,8	69,0	55,3	58,7	72,5	51,6	45,4	50,3	28,3
Ni	ppm	33,4	44,1	47,7	32,7	48,9	49,7	40,1	37,7	37,0	32,7	28,8	50,4	45,8	41,9	42,2	26,9
Cu	ppm	7,3	7,9	9,4	8,0	9,0	8,5	6,6	8,2	7,4	3,8	7,0	7,8	8,5	7,5	9,8	8,3
Zn	ppm	15,6	13,4	17,3	12,9	11,4	13,3	13,0	11,7	9,0	9,8	9,3	10,6	14,5	12,0	18,8	13,0
Ga	ppm	12,2	13,5	11,6	12,1	12,9	11,9	12,7	11,6	11,7	10,0	10,8	12,4	12,9	11,5	13,8	4,7
Ge	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
As	ppm	4,4	4,3	4,8	1,9	2,6	3,3	1,6	3,5	1,6	1,3	2,1	4,2	4,5	1,3	5,0	7,7
Se	ppm	<0,5	0,6	0,5	0,3	0,7	0,8	0,6	<0,5	0,6	0,4	<0,5	0,5	0,3	0,1	0,5	0,7
Br	ppm	1,4	1,6	2,0	1,7	1,8	1,3	1,3	0,5	4,8	12,6	10,5	<0,5	<0,5	2,2	1,7	14,1
Rb	ppm	86,6	91,3	87,5	87,7	87,3	79,5	89,6	83,3	85,5	57,9	71,8	84,6	87,7	84,8	96,8	7,5
Sr	ppm	200,9	228,9	222,4	147,7	138,7	269,4	194,2	281,6	233,3	118,6	191,2	229,1	172,7	234,7	154,1	788,7
Y	ppm	12,3	23,9	17,3	16,6	14,8	15,6	18,0	14,7	12,6	12,1	13,2	17,3	21,3	14,1	19,5	2,5
Z	ppm	106,5	150,7	112,5	136,6	107,1	84,5	116,1	112,0	82,3	74,9	113,5	102,7	120,8	95,2	154,0	17,6
Nb	ppm	7,2	9,0	8,5	7,2	6,9	7,0	7,4	7,5	6,0	6,1	6,7	8,0	8,4	6,8	8,9	2,1
Mo	ppm	3,6	6,1	5,3	2,4	5,0	3,3	2,5	5,0	4,9	6,5	5,0	4,8	1,9	4,6	4,2	6,9
Ag	ppm	26,2	86,5	78,4	55,1	72,5	65,1	39,4	76,6	47,9	49,6	50,7	84,4	51,1	52,9	64,3	79,7
Cd	ppm	24,8	70,5	66,2	41,8	60,0	53,1	27,9	64,4	39,0	39,1	40,3	69,1	38,0	43,7	50,4	59,0
Sn	ppm	25,0	98,1	88,2	39,9	82,9	68,2	38,0	83,4	45,6	55,7	45,2	94,0	45,1	49,8	68,0	61,6
Sb	ppm	28,6	114,4	103,2	39,3	100,3	77,2	41,8	92,3	52,5	56,0	52,8	109,7	54,3	48,8	76,8	69,8
Te	ppm	32,6	167,6	142,6	53,9	148,4	118,2	53,7	134,4	68,0	87,4	78,1	156,0	70,1	76,0	112,2	106,6
I	ppm	17,9	101,4	77,1	24,6	85,0	66,0	31,4	77,0	37,5	44,7	42,6	95,0	41,5	27,8	57,0	72,4
Cs	ppm	<4,0	293,2	214,3	<4,0	<4,0	<4,0	93,1	214,2	<4,0	157,4	<4,0	244,7	<4,0	<4,0	213,4	<4,0
Ba	ppm	523,0	986,0	755,0	511,0	818,0	565,0	600,0	769,0	599,0	417,0	469,0	803,0	553,0	564,0	779,0	174,0
La	ppm	<2,0	646,0	<2,0	<2,0	502,0	<2,0	162,0	548,0	224,0	278,0	<2,0	730,0	249,0	203,0	444,0	206,0
Ce	ppm	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	204,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	184,0
Pr	ppm	<2,0	<2,0	<2,0	3,1	<2,0	1,4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	5,6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	33,4
Nd	ppm	45,4	66,3	53,9	48,9	47,3	50,3	45,4	46,5	42,2	32,0	61,9	48,4	60,5	43,9	62,0	61,4
Er	ppm	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1	<5,1
Yb	ppm	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hf	ppm	4,5	6,6	5,2	5,1	3,5	3,3	5,4	2,7	5,1	2,2	4,5	3,1	4,0	4,7	5,2	<1,0
Ta	ppm	25,8	25,5	22,3	27,3	24,7	25,3	25,0	25,6	20,7	18,2	26,8	20,0	25,4	24,5	27,0	25,1
W	ppm	306,8	327,2	385,8	304,0	410,0	320,4	367,3	283,0	435,2	305,4	304,9	463,0	328,4	253,9	283,9	47,2
Hg	ppm	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,5	<1,0	<1,0	<1,0
Tl	ppm	1,1	1,3	1,4	1,0	1,3	1,2	1,2	1,4	1,4	0,9	1,1	1,6	1,2	1,1	1,1	1,2
Pb	ppm	14,1	15,9	12,7	23,1	13,1	14,2	14,7	12,9	14,1	9,7	11,2	10,9	13,1	14,9	25,5	4,8
Bi	ppm	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Th	ppm	8,3	14,2	12,1	11,1	9,2	8,9	9,6	8,9	8,2	7,4	8,5	11,3	12,8	8,9	10,9	4,4
U	ppm	1,0	1,3	0,5	0,5	<1,0	2,3	0,4	1,9	1,2	<0,5	<1,0	1,4	<1,0	1,1	<1,0	3,5

İkinci grup örneklerin (H2, H3, H6, H8, H9, H13) değerlendirilmesi sonucunda içerdikleri yüksek CaO oranları ile dikkati çekmektedir. CaO içerikleri ortalama %16,53 olarak belirlenmiştir. Buna karşın MgO değerlerinde herhangi belirgin bir artış söz konusu değildir. Diğer elementlerden SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri ilk gruba göre daha az oranlardadır. Bu oranlar sırasıyla, ortalama %43,49, %6,38, %2,66 olarak bulunmuştur (Figür 4.48-49).

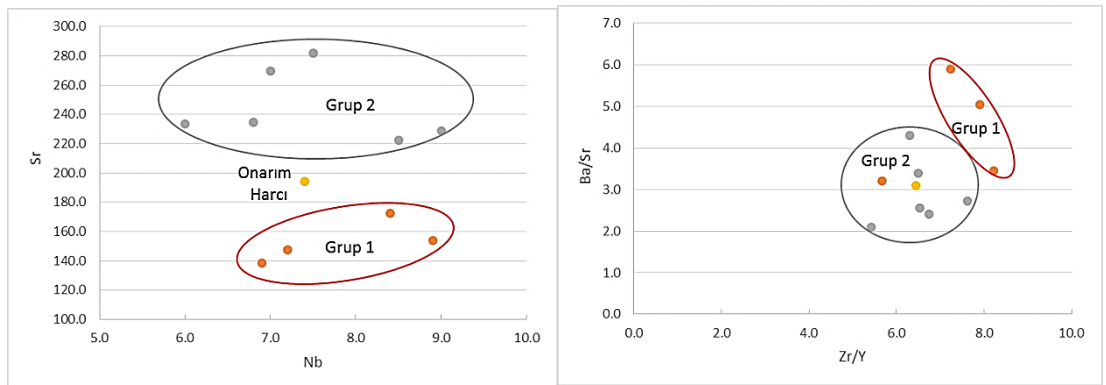


Figür 4.48 Harç örneklerinin  $Al_2O_3$ - $SiO_2$  ve  $K_2O$ - $Na_2O$  korelasyon diyagramı



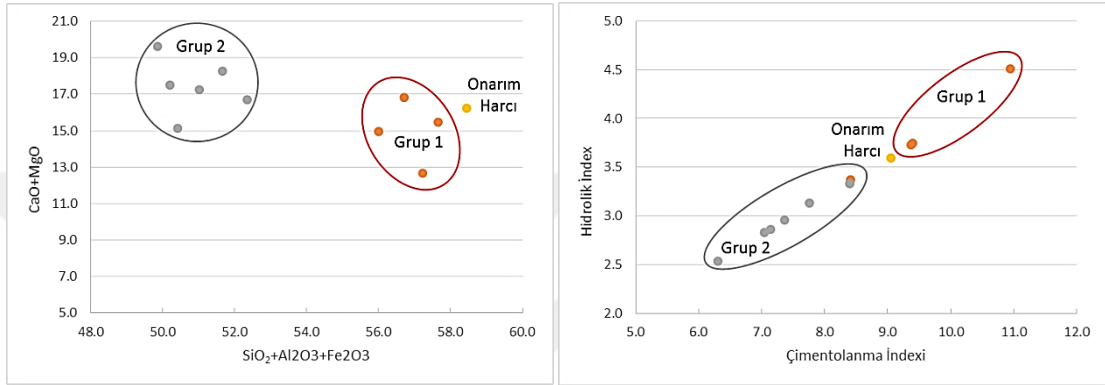
Figür 4.49 Harç örneklerinin  $Al_2O_3$ - $CaO$  ile  $CaO$ - $SiO_2$  korelasyon diyagramları

Benzer şekilde gruplar arasındaki farklılıkları tespit etmek için iz element diyagramları da çizilmiştir. İz element içerikleri genel olarak benzerlik göstermektedir. Harç örnekleri içerisinde tespit edilen karbonatlaşma ve karbonat mineral içeriklerine bağlı olarak Sr içeriklerinde belirgin artışlar tespit edilmiştir (Figür 4.50.).



Figür 4.50 Harç örneklerinin iz element korelasyon diyagramları

İki grup arasındaki farkı ortaya koymak için çizilen majör elementlerin toplam değerlerine göre hidrolik ve çimentolanma indeksleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda da örnek grupları arasındaki farklılıklar tespit edilmiştir. Grup 1 örneklerinin hidrolik indeksi ortalama %3.83, çimentolanma indeksi %9.53 olarak hesaplanmıştır. Grup 2 örnekleri ise hidrolik indeksi ortalama %2.94, çimentolanma indeksi %7.33 olarak hesaplanmıştır (Figür 4.51).



Figür 4.51 Harç örneklerinin toplam majör element korelasyon diyagramları

Harç örneklerinin majör ve iz element korelasyonlarına bakıldığında ince kesit ve XRD sonuçları ile benzer figürde yapının ikinci ve üçüncü kullanım evresine ait örneklerde CaO miktarının arttığı şeklinde değerlendirilmiştir. Harç örneklerinden alınan H7 numaralı onarım harcı örneğinin de değerlendirmeler sonucunda tarihi örneklere yakın değerler gösterdiği ve genel itibariyle grup 1 ve grup 2 arasında kaldığı, daha çok grup 1 örneklerine yakın olduğu şeklinde görülmektedir. Bu sonuçtan yola çıkılarak onarım harcı agregası olarak kullanılan kumların yakın zamana kadar Yenicekent bölgesinde işletilen kum ocaklarından alındığı sonucuna varılmıştır.

#### 4.2.2. Kızdırma Kaybı Analiz Sonuçları

Kızdırma kaybı analizi malzemenin 550°C'deki ağırlık kaybı ile harcın içeriğindeki hidrolik reaksiyon ürünlerinin (CSH, CAH) oluşturduğu yapısal suyun; 900°C < ağırlık kaybı ile de CaCO<sub>3</sub> ün içeriğindeki CO<sub>2</sub> miktarının belirlenmesinde kullanılır. Önceki çalışmalarda CO<sub>2</sub> kaybının H<sub>2</sub>O kaybına oranı ile sıvaların hidroliklik

değerlerinin hesaplanmasında<sup>89</sup>, organik madde ve karbonat miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır<sup>90</sup>. Kızdırma kaybı analiz sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir. Kızdırma kaybı analiz sonuçlarına göre, içerisinde karbonat miktarının artış gösterdiği ikinci dönem harçlarında kayıpların daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Kızdırma kaybı analiz sonuçları

NUMUNE NO	550°C % KAYIP	950°C %KAYIP	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
H1	1	8,2	8,2
H2	1,5	8,5	5,6
H3	-	11,34	-
H4	5,9	8,9	1,5
H5	11,11	17,17	1,5
H6	1,9	17,3	9,1
H7	11,5	15,16	1,3
H8	3	13,8	4,6
H9	2,2	10,5	0,4
H10a	26	28	1,7
H10b	19,6	26,5	1,3
H11	-	10,6	-
H12	1,07	8,6	8,3
H13	1,05	10,5	10
H14	1	9	9
H15	1,03	44,03	4,3

#### 4.2.3. Tuz, Protein, Yağ, pH ve İletkenlik Değerleri

Harçların kullanıldığı yapının bulunduğu konum, kullanılan malzeme özellikleri ve atmosferik şartlar nedeniyle malzeme içine suda çözünebilen tuzlar ( klor, sülfat, nitrat gibi) girebilir. Harcın gözenekleri boyunca taşınabilen, suda çözünen tuzlar zamanla fiziksel ve kimyasal değişimlere yol açar ve yapı taşlarında ıslanma-kuruma

<sup>89</sup> Kozlu 2010, 137-138.

<sup>90</sup> Güleç 1992, 31.

döngüsüyle kristallenerek gözle görülebilecek çiçeklenme (efflorence), daha içte ise kabuk altı çiçeklenme (sub-eflorasans) denilen malzeme bozulmalarına neden olabileceği belirtilmiştir<sup>91</sup>.

Protein ve yağ testleri ise litertürde harcın içinde organik katkıların kullanılıp kullanılmadığının tespit edilmesinde kullanılmıştır. Tuz türlerinin ve toplam tuzluluk yüzdesinin belirlenmesi için yapılan analiz sonuçları ile protein, yağ, pH ve iletkenlik sonuçları Tablo 4.4' de verilmiştir. Sonuçlara göre; örneklerin çoğunda görülen klor (Cl) topraktan ve bağlayıcı olarak kullanılan kireçten gelmiş olmalıdır. H9 örneğinin alındığı odanın kiler olarak kullanılmış olan kapalı alandan alındığı göz önünde bulundurulduğunda, görülen nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) tuzunun hayvansal atıklardan gelmiş olabileceği sonucuna varılmıştır. Analiz sonuçlarına göre H9 ve H10b örnekleri dışında diğer tüm örneklerde organik katılardan gelen protein, az miktarda görülmektedir. Tarihi yapıdan alınan örneklerin pH değerleri 7,98-7,19 arasında değişkenlik göstermektedir. Restorasyon harcına ait H7 örneğinin pH değeri 10,68 dir. pH değerinin OH<sup>-</sup> konsantrasyonunun artışı ile yükseldiği göz önüne alındığında tarihi harç örneklerinin karbonatlaşma oranlarının yüksek olduğu ancak restorasyon harcında karbonatlaşma ve silikatlaşmanın devam ettiği sonucuna varılmıştır.

---

<sup>91</sup> Teutonico 1988, 59.



Tablo 4.4 Spot Test Sonuçları ( -:yok; +:az var; ++:var )

NUMUNE NO	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	% TUZ MİKTARI	İLETKENLİK (µS)	PROTEİN	YAĞ	pH/°C 19,9°C
H1	+	-	-	-	0,79	125	+	-	7,26
H2	-	-	-	-	-	209	+	-	7,19
H3	-	-	-	-	-	122	+	-	7,43
H4	+	-	-	-	0,67	106	+	-	7,34
H5	-	-	-	-	-	106	+	-	7,46
H6	-	-	-	-	-	116	+	-	7,32
H7	+	-	-	-	1,57	249	+	-	10,68
H8	-	-	-	-	-	115	+	-	7,56
H9	+	-	-	++	3,67	582	-	-	7,60
H10a	+	-	-	-	1,50	238	+	-	7,80
H10b	++	-	-	+	2,27	360	-	-	7,30
H11	+	-	-	-	0,88	139	+	-	7,71
H12	+	-	-	-	0,80	127	+	-	7,69
H13	+	-	-	-	0,89	141	+	-	7,98
H14	+	-	-	-	0,69	110	+	-	7,74
HKünk	+	+	-	-	2,10	334	+	-	7,83

### 4.3. Termal Analiz (DTA\TGA) Sonuçları

Farklı malzemeler farklı sıcaklık derecelerinde ısıya maruz kaldığında kristal yapılarında değişimler meydana gelir ve kütle kaybına uğrayabilir. Bazen de sahip olduğu element kompozisyonuna göre yeni mineraller oluşabilir. Termogravimetrik analiz ile farklı değerlerdeki sıcaklıklarda meydana gelen kütle kayıpları, diferansiyel termal analiz ile yeni mineral oluşumları (egzotermik pik) ve su kayıpları, organik madde kayıpları ve karbonatlaşma gibi (endotermik pik) belirlenmektedir. Literatürde bu yöntemin harçların karbonatlaşma prosesinin takibinde ve harçların türlerinin belirlenmesinde kullanıldığı görülmüştür<sup>92</sup>. Moropoulou'ya göre; 75°C'ye yakın reaksiyon sıcaklıklarındaki ağırlık kayıpları, saf CaCO<sub>3</sub>'dan değil, yeniden karbonatlaşmış kireçten kaynaklanan CO<sub>2</sub> kaybını gösterir. TGA ile C-S-H, C-A-H fazlarının dehidrasyonunu tanımlar ve genel olarak karbonatlara bağlanan CO<sub>2</sub> ve hidrolik bileşenlere bağlı su (ağırlıkça%), oranı saf kireçten yapılan harçların ve hidrolik

<sup>92</sup> Mackenzie 1984, 307-367; Moropoulou et al. 1995, 779-795; Moropoulou et al. 2000, 45-58;

Moropoulou et al. 2002, 543-552; Böke et al. 2006, 1115-1122 ; Corti et al. 2013, 71-84.

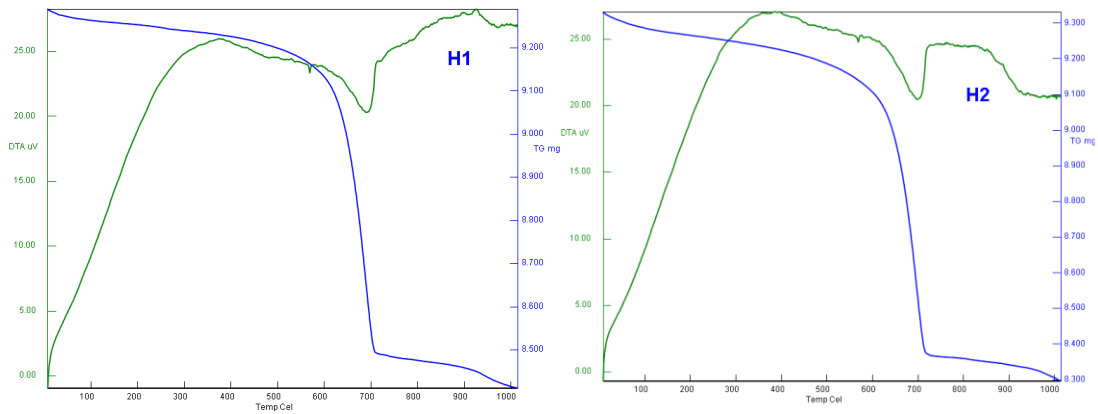
<sup>92</sup> Moropoulou et al. 1995, 779-795.

harçların ayırt edilmesinde kullanılır Moropoulou TGA sonuçlarından yola çıkarak CO<sub>2</sub> nin H<sub>2</sub>O ya oranına göre harçları 4 gruba ayırmıştır<sup>93</sup>.

Buna göre;

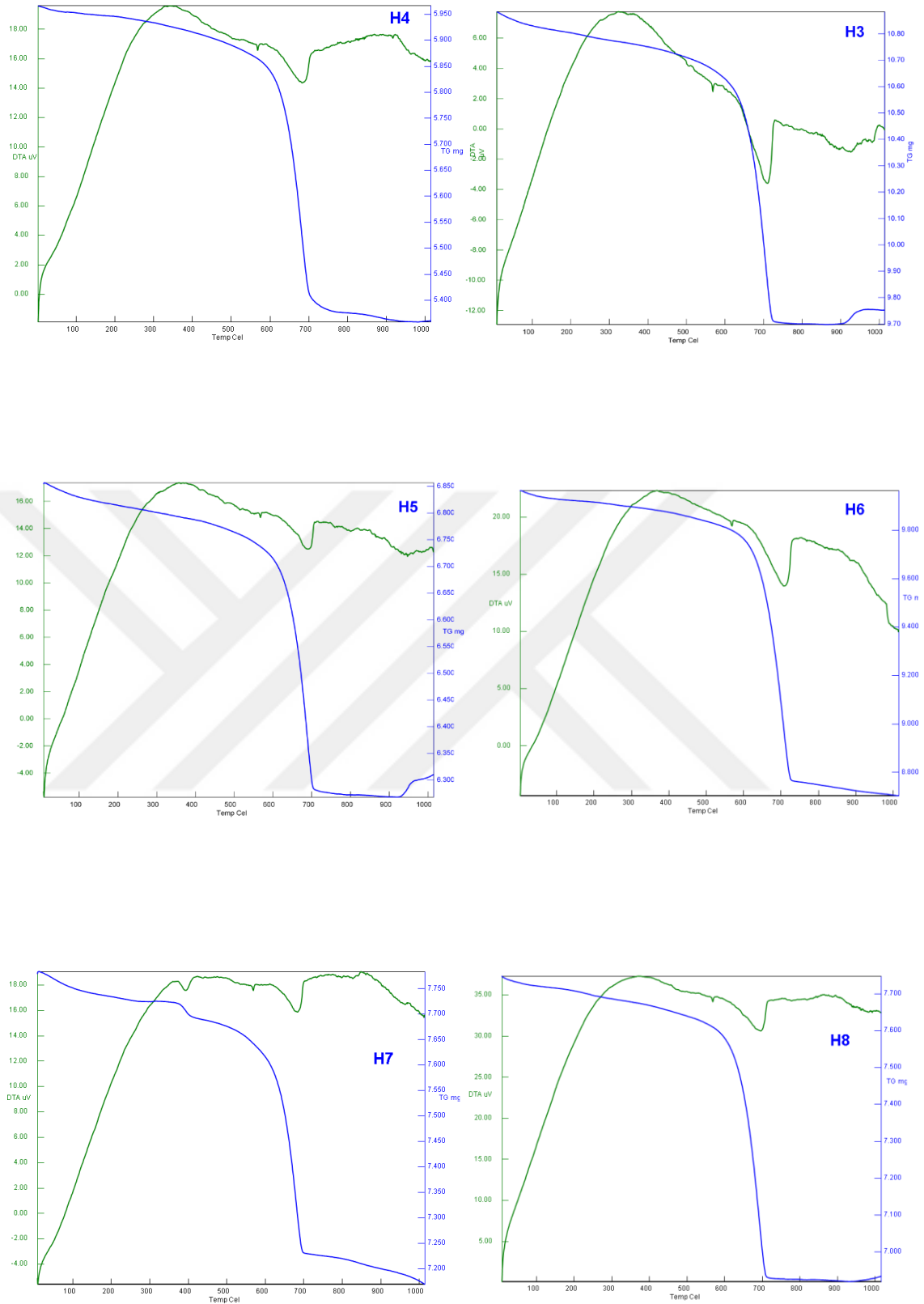
Tipik kireç harçlarında kimyasal su	< %3,	CO <sub>2</sub> %33-44 arası	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O > 10
Hidrolik kireç harçlarında kimyasal su	> %5,	CO <sub>2</sub> %27-34 arası	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O 6,5-9,5
Tuğla kırıklı harçlarda kimyasal su	%3-5,	CO <sub>2</sub> %20-30 arası	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O 3,5-7
Puzolanik harçlarda kimyasal su	> %5,	CO <sub>2</sub> % 8-20 arası	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O < 3,5

TGA grafiklerine bakıldığında (Figür 4.52) örneklerin genelinde 700°C de CaCO<sub>3</sub> ün yapısındaki CO<sub>2</sub> çıkışına bağlı kütle kayıpları görülmektedir. Bu nedenle Mozaikli Konut yapısında kullanılan bağlayıcının yüksek kalsiyumlu kireçten elde edilmiş olduğu sonucuna varılmıştır. Örneklerin kütle kaybı değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde Moropoulou'nun sınıflandırmasına göre örneklerin hiçbiri tipik kireç harçları sınıfında yer almamaktadır. H8 ve H14 örnekleri hidrolik, H1, H2, H3, H4, H5, H6, H8, H13 örnekleri tuğla kırıklı, H9, H10a-b, H12, H7 örnekleri puzolan katkıli harçlar olarak belirlenmiş ancak bu sonuç yapılan mineralojik-petrografik ve kimyasal analiz sonuçları ile desteklenmemektedir. Bu nedenle belirli örnekler üzerinde bağlayıcı kısmı ayrıldıktan sonra analiz yapılmış, elde edilen sonuçlara göre (Tablo 4.6) harç örneklerinin bu sınıflandırmayla değerlendirilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

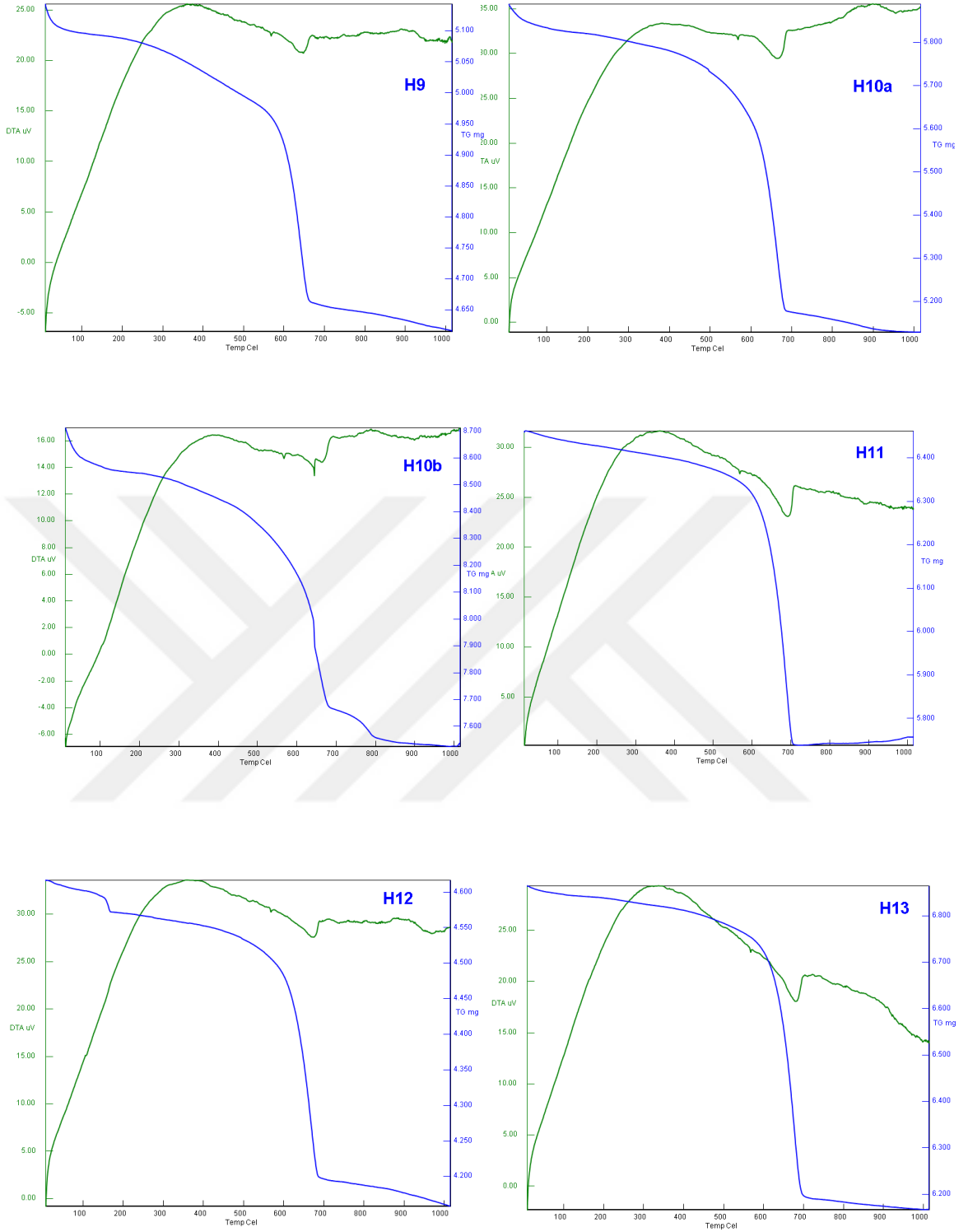


Figür 4.52 Harç örneklerinin TGA/DTA grafikleri

<sup>93</sup> Moropoulou et al. 2005, 295-300.



Figür 4.52 Harç örneklerinin TGA/DTA grafikleri



Figür 4.52 Harç örneklerinin TGA/DTA grafikleri

Tablo 4.5 DTA\TGA sonuçları

Örnek Numarası	Başlangıç	200 °C KAYIP%	600°C KAYIP%	900°C KAYIP %	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> \H <sub>2</sub> O
H1	9,288	0,37	1,67	8,92	1,29	7,26	5,62
H2	9,332	0,71	2,42	10,61	1,71	8,19	4,78
H3	10,88	0,71	2,31	10,84	1,61	8,52	5,29
H4	5,964	0,32	2,06	10,07	1,74	8,01	4,61
H5	6,851	0,54	2,00	8,51	1,46	6,51	4,46
H6	9,96	0,44	1,97	10,65	1,53	8,67	5,67
H7	7,775	0,52	2,04	7,39	1,52	5,35	3,52
H8	7,746	0,50	1,87	10,65	1,37	8,78	6,41
H9	5,143	1,06	4,39	9,92	3,32	5,52	1,66
H10a	5,889	1,17	4,57	12,77	3,40	8,20	2,41
H10b	8,713	1,95	6,25	13,53	4,30	7,28	1,69
H11	6,456	0,43	2,17	8,61	1,73	6,44	3,72
H12	4,614	0,95	2,86	9,47	1,91	6,61	3,46
H13	6,862	0,34	2,03	10,03	1,69	8,00	4,73
H14	8,200	0,47	2,06	6,61	1,59	4,55	2,86
Hkünk	8,274	1,74	5,72	42,26	3,98	36,55	9,18

Tablo 4.6 Örneklerin bağlayıcı kısmı ayrıldıktan sonra yapılan DTA\TGA sonuçları

Örnek Numarası	Başlangıç	200 °C KAYIP%	600°C KAYIP%	900°C KAYIP %	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> \H <sub>2</sub> O
H5	5,316	5,154	4,923	3,521	4,35	26,37	6,06
H6	4,961	4,891	4,694	3,303	3,97	28,03	7,06
H10a	3,921	3,81	3,638	2,617	4,39	26,04	5,93
H13	4,923	4,833	4,611	3,379	4,51	25,02	5,54

## 4.4. Fiziksel Özellikler

### 4.4.1. Ağırlıkça Su Emme Kapasitesi ve Özgül Ağırlık Değerleri

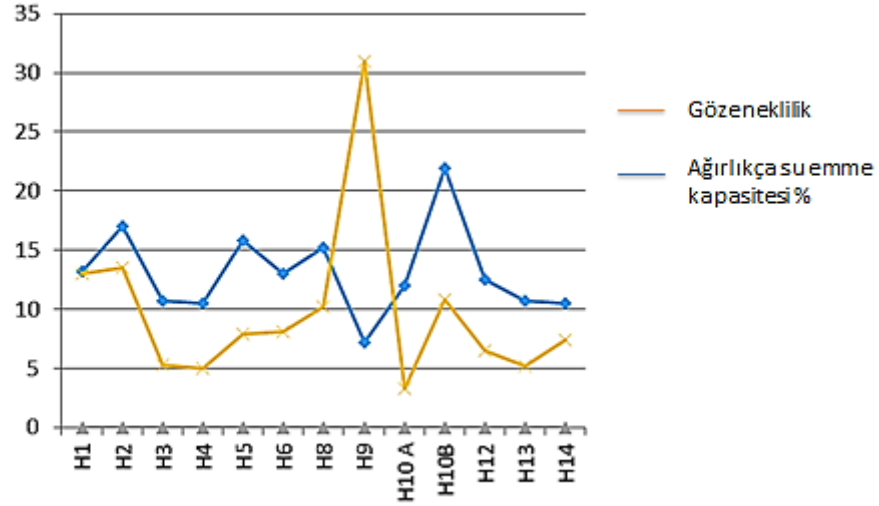
Bir cismin özgül ağırlığı, cismin yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranıdır. Örneklerin özgül ağırlık değerleri ve su emme kapasiteleri Tablo 4.7 de verilmiştir. Özgül ağırlık ölçümlerinde kullanılan Arşimet terazisinde düzgün şekle sahip olmayan örneklerin tartılmış olması ve içerilerine giren su miktarının fazla olması sebebiyle sonuçlarında farklılıklarda olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.7 Numunelerin özgül ağırlık ve ağırlıkça su emme kapasitesi değerleri

Numune No	Ağırlıkça su emme kap.%	özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
H1	13,20	1,329
H2	17,07	1,404
H3	10,71	1,742
H4	10,47	1,942
H5	15,82	1,994
H6	13,04	2,472
H8	15,23	1,209
H9	7,21	2,336
H10a	12,01	1,996
H10b	21,96	1,505
H11	17,39	1,130
H12	12,55	2,559
H13	10,71	1,742
H14	10,47	1,942

Ağırlıkça su emme oranları örneklerin kuru ağırlıklarının su içerisindeki bekledikleri ağırlıklarına oranı ile elde edilmiştir. Su emme kapasiteleri ile görüntü işleme analizi sonucunda elde edilen gözeneklilik değerleri ile karşılaştırılmıştır (Figür 4.66). Örneklerin ağırlıkça su emme kapasitesi ve gözeneklilik değerleri incelendiğinde gözenek yüzdesinin yükselmesiyle ağırlıkça su emme kapasitesinin de arttığı ortaya çıkmıştır. Fakat bu diyagramda örnek olarak H9 örneği çok yüksek gözeneklilik değeri

vermesine rağmen ağırlıkça su emme oranı o kadar yüksek değerler vermemiştir. Bunun sebebi örnek içerisinde tespit edilen gözenekliliğin birbiri ile bağlantısının olmaması şeklinde yorumlanmıştır.



Figür 4.53 Gözeneklilik ve ağırlıkça su emme kapasitesi ilişkisi

#### 4.4.2. Asidik Bağlayıcı/Agrega Analiz Sonuçları ve Agregada Granülometrisi

Asit kaybı analizi sonucunda asitte çözünen bağlayıcı miktarından ve çözünmeyen agregadan yola çıkılarak bağlayıcı\agrega oranı belirlenmiştir. Ancak harcın içinde bulunan karbonatlı agregaların da (mermer, traverten, kireçtaşı) çözülmüş olması sonuçlar değerlendirilirken yanıltıcı olacaktır. Bu nedenle bağlayıcı\agrega oranı belirlenirken mikrofotograflar üzerinde image j programı ile yapılan görsel analizler esas alınmıştır. Her ikisinin sonucu da Tablo 4.8'de verilmiştir.

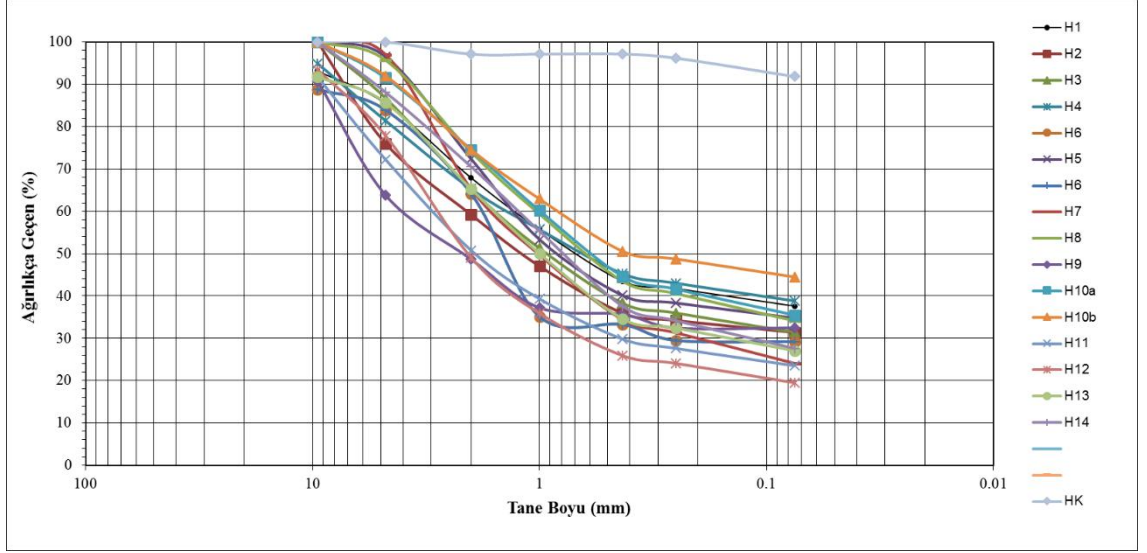
Tablo 4.8 Asit kaybı analiz sonuçları

NUMUNE NO	%KAYIP	ASİTTE ÇÖZÜNEN/ ÇÖZÜNMEYEN	
		ASİT KAYBI	İMAGE J
H1	%16	1/4	1/5
H2	%31	1/3	1/4
H3	%24	1/3	1/4,5
H4	%30	1/2	1/3
H5	%32	1/2	1/3
H6	%22	1/5	1/3
H7	%20	1/4	1/4,5
H8	%28	1/2,5	1/4
H9	%27	1/2	1/2,5
H10a	%30	1/2,5	1/5
H10b	%27	1/2,5	1/5
H12	%12	1/6	1/3,5
H13	%28	1/2,5	1/5
H14	%22	1/3	1/3,5
Hkünk	%88	7/1	7/1

Asitle tepkimeye girmeyen agregalar farklı boyutlardaki eleklerden geçirilmiştir. Harç örneklerini oluşturan agregaların tane boyu dağılım yüzdeleri Tablo 4.9'da granülometri grafikleri Figür 4.67'de verilmiştir.

Bu analiz sonucunda ortalama çakıl (%35), kum (%33) ve silt-kil (%31) yüzdelerinin yaklaşık birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Fakat bazı örneklerde (H9, H11, H12) çakıl agrega oranlarının diğerlerine göre fazlalık gösterdiği gözlenmektedir. H6 örneğinde ise çakıl oranı ve çakıla yakın oranda iri kum oranının yüksek olduğu gözlenmektedir. Tane boyutları açısından da değerlendirme yapıldığında tüm örneklerin tane derecelenmesinin birbirine yakın olduğu söylenebilir.





Figür 4.54 Örneklerin agrega granülometri eğrileri

Tablo 4.9 Agregaların tane boyu dağılımları (%)

Harçlar	>2mm	1-2mm	0.5-1mm	0.25-0.5mm	0.075-0.25mm	<0.075mm
	Çakıl	Kum				Silt-Kil
H1	32,11	12,13	12,28	1,73	4,15	37,59
H2	40,82	12,15	11,10	1,74	2,84	31,36
H3	34,80	13,95	12,98	2,32	4,58	31,38
H4	34,74	9,56	10,46	2,23	4,19	38,82
H5	27,64	19,03	13,20	1,80	3,57	34,75
H6	35,85	29,06	1,84	3,77	0,33	29,16
H7	34,73	15,60	15,29	3,11	7,21	24,06
H8	26,02	14,63	15,90	2,89	6,46	34,10
H9	51,34	11,45	1,56	3,22	0,00	32,43
H10a	25,44	14,40	15,55	3,02	6,12	35,47
H10b	25,47	11,61	12,37	1,82	4,25	44,48
H11	49,25	11,44	9,51	2,20	4,10	23,50
H12	50,94	13,17	9,99	1,85	4,56	19,48
H13	34,77	15,20	15,46	2,17	5,37	27,04
H14	29,49	15,18	17,77	3,40	6,57	27,59
HK	2,88	0,00	0,00	0,96	4,33	91,83

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada Tripolis antik kentinden alınan harç örnekleri mineralojik-petrografik, kimyasal ve fiziksel yöntemlerle incelenerek tanımlanmıştır.

Örnekler ince kesit ve SEM-EDS çalışmalarında bağlayıcı, agrega ve gözeneklilik başlıkları altında incelenmiştir. Bağlayıcı dokusunda görülen farklılıklar ve karbonat yumrularının oluşumları, uygulanan harcın kalınlığı, bağlayıcı\su oranı, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, kireçtaşının yanma ısı ve uygulamanın yapıldığı yapı taşlarının özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Agregaların kenar şekillerinden yola çıkılarak harcın içinde kırılarak ya da kırılmadan kullanıldığı ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Boşluk yapısının incelenmesiyle harcın geçirdiği bozulma ve yapım teknikleri ile ilgili çıkarımlar elde edilmiştir.

H1, H10a örneklerinde bağlayıcı dokusunun farklılığı yüzeye kadar çıkan açık gözenekler nedeniyle CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı olarak karbonatlaşmanın harcın her yerinde aynı olmaması ile ilişkilendirilmiştir.

H2 örneğinin bağlayıcı kısmında bölgesel olarak gözlemlenen açık koyu renk farklılıkları kullanılan yakıtla ilgili olmalıdır.

H1 ve H4 örneklerinde büzüşme çatlaklarının yoğun olarak görülmesi bağlayıcı\su oranının yüksek olması ile ilişkilendirilmiştir.

H3 ve H8 örneklerinde görülen gözenekli ve dışardan merkeze doğru farklı renklerdeki iri karbonat yumruları harcın söndürülmesi sırasında az miktarda su kullanılması ve iyi karıştırılmaması ile ilişkilendirilmiştir.

H4 örneği bol miktarda küçük karbonat yumrularının gözlemlenmesi kullanılan bağlayıcının söndürme sonrasında süzülmeden kullanılmış olması ile ilgili olmalıdır.

H5 örneğinin bağlayıcı kısmında karbonat yumruları nadiren görülmüştür ve buradan yola çıkarak uzun sürede söndürüldüğü ya da söndürüldükten sonra süzüldüğü sonucuna varılmıştır.

H6 örneğinde kireçtaşının yakıldığı fırının içinde ısı dağılımının eş olmaması nedeniyle oluştuğu düşünülen koyu renkli ve söndürme sırasında az su kullanımına bağlı ortaya çıkan karbonat yumruları gözlemlenmiştir.

H6 ve H9 örneklerinde donma çözülme döngüsü ile ilgili olduğu düşünülen iri boyutta boşluklar gözlemlenmiştir ancak bu boşlukların yüzeye açık birbirleriyle bağlı

olmaları nedeniyle içlerinde oluşabilecek yeniden kristallenme H6 ve H9 örneklerinde gözlemlenmemiştir. H6 ve H9 örneğinde görülen iri boyuttaki gözeneklerde yeniden kristallenen kalsitin gözlemlenmemesi donma-çözülme ve yeniden çökelme döngüsü ile harcın yüzeyinde gözeneklerin kapanmış olması ile ilişkilendirilmiştir.

H10a ve H10b örnekleri antik dönem harç kalıntısının kesit ve yüzeyinden alınmıştır. Örneklerin bağlayıcı dokusunda ve gözenekliliğinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak malzemelerin örnek alınan yerlerle ilgili değişen özelliklerinin ince kesit analizlerinde gözlemlendiği sonucuna varılmıştır.

XRD analiz sonuçlarına göre; örneklerin genelinde mineral olarak agregadan gelen kuvars, feldspat, plajiyoklaz ve mika ile bağlayıcıdan gelen kalsit mineralleri belirlenmiştir.

Mineralojik petrografik incelemelerle harç içinde kullanıldığı görülen kireçtaşı agregaların da asit kaybı analizinde çözülmesi nedeniyle belirlenen oranların yanıtıcı olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle kesitler üzerinde mikrofotografıama yöntemi ile belirlenen bağlayıcı\agrega oranlarının 1\5 ve 1\2,5 arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Yapıda belirli odalardan da geçtiği görülen künk sistemine ait harcın bağlayıcı\agrega oranı ise 7\1 olduğu tespit edilmiştir.

Suda çözünebilir tuz testi sonuçlarına göre örneklerin çoğunda topraktan gelen Cl<sup>-</sup> (klor) tespit edilmiştir. Sadece H9 örneğinde NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrat) tespit edilmiştir ve bu durumun örneğin alındığı mekanın kapalı olması ile ilgili canlı atıklardan kaynaklandığı düşünülmüştür. Harç örneklerin tamamında, organik katkılardan gelen protein az miktarda bulunmaktadır. Harç örneklerinin pH değerleri 7,98-7,19 arasındadır.

Örneklerin agrega boyut dağılımlarının benzer olduğu ancak 2mm den daha büyük agrega yüzdesi yüksek olan örneklerin, özgül ağırlıklarının da yüksek olduğu görülmüştür.

DTA/TGA analiz sonuçlarına göre örneklerin her birinin 700°C de CO<sub>2</sub> ayrışması nedeniyle kütle kaybına uğradığı ve buradan yola çıkarak kullanılan bağlayıcının yüksek kalsiyumlu kireçten elde edildiği sonucuna varılmıştır. Harçlar üzerinde CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O kayıplarından yola çıkılarak yapılan sınıflandırmanın literatürde

sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu çalışmada bahsi geçen sınıflandırmaya göre hidrolik, tuğla kırıklı veya puzolanik katkıli olarak belirlenen harçların bu özelliklerini destekleyecek mineralojik ve kimyasal sonuçların bulunamaması bu yöntemin geçerliliği konusunda şüphe duyulmasına neden olmuştur.

Örnek alma çalışmaları sırasında örneklerin dayanımlarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle mekanik testler uygulanamamıştır.

Yapılan çalışmalara göre yapının 3 farklı dönemde üst üste kullanım görmüş olması nedeniyle kullanılan harçların mikro özelliklerini dönemsel olarak değerlendirmenin zor olduğu, ancak kullanılan agrega türünün ve bazı yapım tekniklerinin farklılıklar gösterdiği ve bu farklılıkların mineralojik ve petrografik incelemelerde açıkça gözlemlenebildiği sonucuna varılmıştır. Kullanılan agrega türlerinde dönemsel olarak gözlemlenen değişim bölgenin jeolojik yapısı ile beraber değerlendirildiğinde erken dönemde Tripolis'in güneybatısındaki menderes masifine ait metamorfik kayaların bulunduğu bölge kullanılırken, yapının sonraki evrelerinde kentin kuzey doğusunda yer alan kireçtaşı kaynaklarından elde edilen agregaların daha çok kullanıldığı ortaya çıkmıştır.

Tripolis Antik Kenti Mozaikli Konut yapısı örneği üzerinden tarihi harçların incelendiği çalışmada, mineralojik-petrografik yöntemlerin harçların üretim aşamalarının değerlendirilmesinde ve yapım tekniklerinin belirlenmesinde oldukça kullanışlı olduğu görülmektedir. Bu yöntemlerin geliştirilmesi ile özgün malzemenin üretim aşamaları ve yapım teknikleri ile ilgili sorunlar tespit edilebilir ve bu doğrultuda çözüm üretilebilir. Yapım tekniklerinin belirlenmesi yapılacak olan deneysel çalışmalar için de yol gösterici olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Akman 2003 S. Akman, "Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426, 2003, 30-36.
- Alçıçek-Özkul 2007 H. Alçıçek - B. Varol - M.Özkul "Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey". *Sedimentary Geology*, 202, 2007, 596-637.
- Antonio 2015 P. Antonio "Evolution of mechanical properties and drying shrinkage in lime-based and lime cement-based mortars with pure limestone aggregate", *Construction and Building Materials*, 77, 2015, 472-478.
- Balen –Balen 1994 K. V. Balen - D.A.V.Balen, "Modelling Lime Mortar Carbonation" *Materials and Structures*, 27, 393-398, 1994.
- Borelli 1999 E. Borelli, Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials\Binder, Rome\Italy, 1999.
- Böke et al.2008 H. Böke - Ö. Çizer- B. İpekoğlu - E. Uğurlu Sayın - K. Şerifaki-G.Toprak "Characteristics of Lime Produced from Limestone Containing Diatoms" *Construction and Building Materials* 22, 866-874, 2008.
- Böke-Özkaya 2009 H. Böke- Ö. Özkaya "Properties of Roman Brick and Mortars Used in Serapis Temple in the City of Pergamon" *Materials Characterization*, 60, 995-1000, 2009.
- Callebaut et al.1999 K. Callebaut – J.Elsen –K.van Balen- W.Viaene "Historical and Scientific Study of Hydraulic Mortars from the 19<sup>th</sup> Century", *International RILEM Workshop on Historic Mortars. Characteristics and Tests, Paisley, Scotland*, 113-123, 1999.
- Cerny et al. R. Cerny - A. Kunca - V. Tydlit - J. Drchalova – P. Rovnanikova "Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal andhygric properties of lime plasters", *Construction and Building Materials*, 20, 849-857, 2006.
- Cultrone et.al G. Cultrone - E. Sebastian - M. Ortega Huertas, "Forced and natural carbonation of lime based mortars with and without additives:Mineralogical and textural changes" *Cement and Concrete Reserarch*, 35, 2004,2278-2289.

- Çizer 2000 Ö. Çizer, *Investigation of Lime Mortars Characteristics for the Conservation of the Ottoman Baths in Seferihisar-Urta Region*, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 2004.
- Çizer *et.al* Ö. Çizer - K. V. Balen- D. V. Gemert, "Competition between hydration and carbonation in hydraulic lime and lime-pozzolana mortars", *Advanced Materials Research* 133,2010, 241-247.
- Campell 1999 H.Campbell *Microscopical Examination and Interpretation of Portland Cement and Clinker* USA, 1999.
- Cazalla *et al.*2000 O. Cazalla - C. Rodriguez Navarro - E. Sebastian-G.Cutrone "Aging of Lime Putty: Effects on Traditional Lime Mortar Carbonation" *Journal of American Ceramic Society*, 83, 1070-1076, 2000.
- Duman 2013 B. Duman, "Son Arkeolojik Araştırmalar ve Yeni Bulgular Işığında Tripolis Ad Meandrum Cedrus Meandrum" *Cedrus I*, 2013, 179,200.
- Demirci vd. Ş. Demirci-A. M. Özer - E. N. Caner Saltık "Bazı Tarihi Yapı Sıvalarının Hammadde Ve Doku Analizleri", *3. Arkeometri Toplantısı Sonuçlar Toplantısı*, 67-71, 1987.
- Elsen 2006 J. Elsen "Microscopy of Mortars" *Cement and Concrete Research*, 36, 1416,1424, 2006.
- Eleni *et.al* 2014 D. Eleni - S. Thomas - S. Aurela - V. Frederik "Literature study on the rate and mechanism of carbonation of lime in mortars" 9. International Masonry Conferance in Guimaraes, International Masonry Society, 2014, 1-12.
- Ergenç-Fort 2018 D. Ergenç - R. Fort "Crystal development during carbonation of lime-based mortars in different environmental conditions" *Materials Characterization* 142, 276-288, 2018.
- Eroğlu vd. 2017 M. Eroğlu - A. Akın Akyol "Antik Yapı Malzemesi Olarak Tuğla ve Kiremit: Boğsak Adası Bizans Yerleşimi Örnekleme", *Sanat ve Tasarım*, 141-163, 2017.
- Fuwei *et.al* 2009 Y. Fuwei - Z .Bingjian - P. Chang Chu - Z. YuYao "Traditional mortar represented by sticky rice lime mortar-One of the great inventions in ancient China", *Sci China E-Tech Sci*, 52, 2009,1641-1647.
- Güney 2012 A. Güney "Development of Pozzolanic Lime Mortars for the Repair of Historic Masonry, ODTÜ, Ankara, 2012. (Yayınlanmış Doktora Tezi).

- Iucolano *et.al* 2013 F. Iucolano - B. Liguori - C. Colella, "Fibre-reinforced lime-based mortars: A possible resource for ancient masonry restoration", *Construction and Building Materials* 38, 2013, 785–789.
- Jasiczak-Zielinski 2006 J. Jasiczak- K. Zielinski, "Effect of protein additive on properties of mortar" *Cement&Concrete Composites*, 28, 2006, 451-457.
- Kahraman 2008 G. Kahraman *Erken Bizans Dönemi Horasan Harçlarının İncelenmesi* İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- Kemperl-Macek 2009 J. Kemperl -J.Macek "Precipitation of calcium carbonate from hydrated lime of variable reactivity, granulation and optical properties" *International Journal of Mineral Processing* 93(1),84-88, 2009.
- Kılıç 2017 İ.Kılıç, "Yapı Malzemesi Olarak Yenimuhacir Kumtaşının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri", *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6, 1-11, 2017.
- Koralay 2017 T. Koralay, "(Yenicekent-Buldan-Denizli) Yapılarında Kullanılan Kayaçların Minero-Petrografik Özellikleri" Ed. B.Duman, *Tripolis Araştırmaları I*, İstanbul, 2017,145-164.
- Kozlu 2010 H. Kozlu *Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Özelliklerinin İncelenmesi* İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- Köklü vd. Ü. Köklü - S. Akman- F. Çoban - Ş. Kuñç - A. Çukur "Ayasofya Müzesi Döşeme Taşları ve Harçlarının XRD İle Analizleri" *7.Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 77-80, 1991.
- Kuleli vd. A. E. Kuleli - E. Akyüz Levi E. N. Caner Saltık, Ş. Demirci - N. Kun "Efes Yamaçevler 2'de, Bazı Roma Dönemi Konutları Yapı Harçlarının İncelenmesi", *21. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 9-21, 2005.
- Lanas *et al.* 2003 J. Lanas - J. Alvarez Galindo "Masonry Repair Lime-Based Mortars: Factors Affecting the Mechanical Behavior" *Cement and Concrete Research*, 33, 1867-1876, 2003.
- Lanas *et al.* 2004 J. Lanas - J.L. Pe'rez Bernal - M.A. Bello- J.I. Alvarez Galindo "Mechanical properties of Natural Hydraulic Lime-Based Mortars" *Cement and Concrete Research* 34, 2191-2201, 2004.

- Lawrence 2007 R. M. Lawrence - T.J. Mays - S.P.Rigby - P. Walker-D.D' Ayala "Effects of Carbonation on the Pore Structure of Non-Hydraulic Lime Mortars" *Cement and Concrete Research*, 37 1059–1069, 2007.
- Mackenzie 1984 R.C. Mackenzie "Origin and development of differential thermal analysis" *Thermochimica Acta*, 73, 307-367, 1984.
- Margalha *et al.* 2011 G. Margalha - R. Veiga - A. Santos Silva - J. Brito "Traditional Methods of Mortars Preparation: Hot Lime Mix Method", *Cement and Concrete Composites*, 33, 796-804, 2011.
- Middendorf *et al.* 2005 B. Middendorf - J.J. Hugles - K. Callebaut - G. Baronio I. Papayianni "Investigative Methods for the Characterization of Historic Mortars-Part 1: Mineralogical Characterisation" *Materials and Structures* 38, 761-769, 2005.
- Moorehead 1986 D.R. Moorehead "Cementation by the Carbonation of Hydrated Lime" *Cement and Concrete Research* 16(5), 700-708, 1986.
- Moropoulou *et al.* 2000 A. Moropoulou-A. Bakolas - K. Bisbikou "Investigation of the Technology of Historic Mortars, *Journal of Cultural Heritage*, 1, 45-58, 2000.
- Moropoulou *et al.* 2002 A. Moropoulou - A. Çakmak - G. Biscontin - A. Bakolas - E. Zendri "Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia" *Construction and Building Materials*, 16, 543-552, 2002.
- Moropoulou *et al.* 2001 A. Moropoulou-E. Aggelakopoulou "The Effects of the Reactivity of Limestone Characteristics and Calcination Temperature to the Reactivity of the Quicklime", *Cement and Concrete Research*, 31, 633-639, 2001.
- Moropoulou *et al.* 2005 A. Moropoulou - A. Bakolas - S. Anagnostopoulou "Composite Materials in Ancient Structures. *Cement&Concrete Composites*, 27, 295-300, 2005.
- Navratilova *et al.* 2017 E. Navrátilová - E. Tihlaříková - V. Neděla - P. Rovnaníková -J. Pavlík, "Effect of the preparation of lime putties on their properties", [www.nature.com/articles](http://www.nature.com/articles), *Scientific Reports* 7, Article number: 17260, 1-9, 2017.
- Orsenigo 2013 C. Orsenigo "Thermal analysis and archaeological chronology: The ancient mortars of the site of Baradello (Como, Italy)", *Thermochimica Acta* 572, 71-84, 2013.
- Özyürek 1998 C. Özyürek, *Kireçtaşı Karakterizasyonundaki Kriterlerin İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,



Ankara, 1998. (Yüksek Lisans Tezi).

- Palomo *et al.* 2002 A. Palomo - S. Martínez Ramírez - M. T. Blanco Varela-F. Puertas "Historic Mortars: Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research", 2002, pdfs.semanticscholar.org (02.01.2019).
- Pavia *et al.* 2007 S. Pavia-S. Caro "An Investigation of Roman Mortar Technology Through the Petrographic Analysis of Archaeological Material", *Construction and Building Materials*, doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.05.003, 2007.
- Pavlik-Uzakova, 2015 V. Pavlik - M. Uzakova "Effect of Curing Conditions On the Properties of Lime, Lime-Metakaolin and Lime-Zeolit Mortars" *Constaction and Building Materials*, 102, 2015, 14-25.
- Pecchioni *et al.* 2014 E. Pecchioni - F. Fratini - E. Cantisani, Atlas of Ancient Mortars, Florance\Italy, 2014.
- Rodriquez *et al.* 2002 K. Elert - C. Rodriguez Navarro - E. Sebastian Pardo E. Hansen - O. Cazalla "Lime Mortars for the Conservation of Historic Buildings" *Studies in Conservation*, 47:1, 62-75, 2002.
- Rossel *et al.* 2014 J. R. Rosell - L. Haurie - A. Navarro, I. R. Cantalapiedr, "Influence of the traditional slaking process on the lime putty characteristics", *Construction and Building Materials*, 2014 55, 423-430.
- Semiz 2018 B. Semiz, "Analytical Study of Roman Red Slip Ware from Ancient Tripolis (Denizli, Turkey)", *Measurement* 129, 530-541, 2018.
- Silva *et.al* 2014 B.A. Silva-A.P. Ferreira Pinto-A.Gomes, "Influence of natural hydraulic lime content on the properties of aerial lime-based mortars" *Construction and Building Materials*, 72, 2014, 208-218.
- Grilo *et.al* 2014 J. Grilo-A. Santos Silva-P. Faria-R. Veiga - A. Velosa, "Mechanical and minerological properties and natural hydraulic lime- metakaolin mortars in different curing conditions" *Construction and Building Materials*, 51, 2014, 287-294.
- Schackow *et.al* 2015 A. Schackow - D. Stringari - L. Senff - S.L. Correia-A.M. Segadães, "Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars", *Cement & Concrete Composites* 62, 2015, 82-89.
- Stefanidou-Papayianni 2005 M. Stefanidou - I. Papayianni "The Role of Aggregates on the Structure and Properties of Lime Mortars" *Cement & Concrete Composites*, 27, 914-919, 2005.

- Stefanidou-Pavlidou 2018 M. Stefanidou - E. Pavlidou “Scanning Mortars to Understand the Past and Plan the Future for the Maintenance of Monuments” *Hindawi Scanning*, 2018, 1-8, 2018.
- Sun 1990 S. Sun “Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları” *General Directorate of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA)*, Ankara, Scientific Report No: 9985, 92, 1990.
- Teutonico 1988 J.M. Teutonico, *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*, ICCROM, Rome, 1988.
- Thomson *et al.* 2004 M.L. Thomson – J. ELindqvist - J. Elsen - C.J.W.P. Groot “*Porosity of Historic Mortars*” 13th International Brick and Block Masonry Conference Amsterdam, 1-10, 2004.
- Toprak 2007 G. Toprak, *Characterization of Limes Produced from Marbles and Limestones*, İzmir Yüksek Teknolojik Enstitüsü, İzmir, 2007. (Yüksek Lisans Tezi).
- Torraca 2009 G. Torraca, *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*, Los Angeles\U.S, 2009.
- Ventola *et al.* 2011 L. Ventolà – M. Vendrell – P. Giraldez - L. Merino “Traditional Organic Additives Improve Lime Mortars: New Old Materials for Restoration and Building Natural Stone Fabrics” *Construction and Building Materials*, 25, 2011,3313–3318.
- Zhao *et.al* 2015 P. Zhao - M. Jackson - Li G. Zhang Y- P.J.M. Monteiro- L. Yang, “Material characteristics of ancient Chinese lime binder and experimental reproductions with organic admixtures” *Construction and Building Materials*, 84 , 2015,477–488.

### **ANTİK KAYNAKLAR**

Vitruvius 1990

Vitruvius, *Mimarlık Üzerine On Kitap*, Çev. Suna Güven, İstanbul, 1990.

### **İNTERNET KAYNAKLARI**

<https://issuu.com>(12.05.2019) J. Ashurst - F. G. Dimes Conservation of Building & Decorative Stone

<http://www.mta.gov.tr/v3.0/muze/kayaclar> (23.05.2019)



## FIGÜRLER DİZİNİ

Figür 1.1. Tripolis Antik Kenti'nin Konumu.....	2
Figür 1.2. Kent planı.....	4
Figür 1.3. Tripolis ve yakın çevresinin jeolojik haritası.....	6
Figür 1.4. Mozaikli Konut planı.....	8
Figür 1.5. Mozaikli Konut.....	9
Figür 2.1. Karbonatlı kayaçların (Folk, 1979) sınıflaması.....	24
Figür 2.2. Fırın türleri .....	29
Figür 3.1. Mozaikli Villa örneklerin alındığı yerler.....	38
Figür 3.2. Analizlerde izlenen yöntem şeması.....	40
Figür 4.1. Mermer (TK1) örneğinin makro ve mikro görünümü.....	46
Figür 4.2. Bantlı Traverten (TK2) örneğinin makro ve mikro görünümü.....	46
Figür 4.3. Kumtaşı örneğinin (TK3) makro ve mikro görüntüsü.....	47
Figür 4.4. Kumtaşı (TK7) örneği mikro görüntüsü .....	47
Figür 4.5 Tuğla örneğinin (TK4) makro ve mikro görüntüsü.....	48
Figür 4.6 Yönlenme görülen tuğla örneği (TK 8).....	48
Figür 4.7 Katkı miktarı fazla olan tuğla örneği (TK13).....	49
Figür 4.8 Gözlü gnyas örneğinin makro ve mikro görüntüsü (TK6).....	49
Figür 4.9 Gnays örneği mikro görüntüsü (TK9).....	49
Figür 4.10 Gözlü gnays örneği mikro görüntüsü (TK12).....	50
Figür 4.11 Şist örneğinin makro ve mikro görüntüsü (TK10).....	50
Figür 4.12 Kireçtaşı örneğinin (TK11) makro ve mikro görüntüsü.....	51
Figür 4.13.H1 nolu örneğe ait ince kesit görüntüsü.....	53
Figür 4.14 H1 örneğinde agregaların genel görünümü .....	53
Figür 4.15 H1 örneğinde gözlenen plajiyoklaz minerali ve bağlayıcı\agrega arayüz	54
Figür 4.16 H1 örneğinin bağlayıcı kısmına ait SEM görüntüsü, çökelmiş $Ca(OH)_2$	54
Figür 4.17 H2 numaralı örneğe ait ince kesit görüntüsü.....	55
Figür 4.18 H3 örneğinin mikroskop görüntüsü (sağda karbonat yumrusu).....	56
Figür 4.19 H4 örneğinin ince kesit görüntüsü.....	57
Figür 4.20 H4 örneğine ait SEM görüntüsü ve EDX diyagramı.....	58
Figür 4.21 H4 örneğinde gözeneklerde gözlemlenen yeniden kalsit kristallenmesi..	58
Figür 4.22 H5 örneğinin ince kesit görüntüsü (biyotit bozulması).....	59
Figür 4.23 İkincil kalsit kristalleri.....	60
Figür 4.24 H6 örneğinin ince kesit görüntüsü.....	61
Figür 4.25 H6 örneğinin haritalama yapılan bölümü.....	62

Figür 4.26 H6 örneğinin haritalama çalışması sonucu element dağılımı.....	62
Figür 4.27 H6 örneğine ait haritalama yapılan bölge ve EDS diyagramları.....	63
Figür 4.28 H7 örneğinin ince kesit görüntüsü.....	64
Figür 4.29 H8 örneğinin ince kesit görüntüsü.....	65
Figür 4.30 H8 örneği içinde bulunan biyotit minerali SEM görüntüsü.....	66
Figür 4.31 H8 örneği bağlayıcı kısım.....	66
Figür 4.32 H9 örneğinin ince kesit fotoğrafı.....	67
Figür 4.33 H9 örneğine ait haritalama yapılan bölge ve element dağılımı.....	68
Figür 4.34 H9 örneğine ait bağlayıcı\agrega arayüzü .....	69
Figür 4.35 H10a örneğine ait ince kesit görüntüsü.....	70
Figür 4.36 H10a örneğine ait bağlayıcı kısım SEM görüntüsü ve EDSdiyagramları	70
Figür 4.37 H10a örneğine ait agrega SEM görüntüsü ve EDS diyagramları.....	71
Figür 4.38 H10b örneğinin ince kesit görüntüsü.....	71
Figür 4.39 H12 örneğinin ince kesit görüntüsü.....	72
Figür 4.40 H12 SEM görüntüleri ve EDS diyagramları.....	73
Figür 4.41 H13 örneğinin ince kesit görünümü.....	74
Figür 4.42 H14 örneğinin ince kesit görüntüsü.....	75
Figür 4.43 H14 örneği bağlayıcı\agrega arayüzü ve agreganın EDS diyagramı.....	75
Figür 4.44 H14 örneğinin bağlayıcı\agrega arayüzü ve EDS diyagramları.....	76
Figür 4.45 Künk örneğinin ince kesit görünümü.....	75
Figür 4.46 Harç örneklerinin XRD grafikleri.....	78
Figür 4.47 Harç örneklerinin XRD grafikleri.....	79
Figür 4.48 Harç örneklerinin $Al_2O_3-SiO_2$ ve $K_2O-Na_2O$ korelasyon diyagramı.....	80
Figür 4.49 Harç örneklerinin $Al_2O_3-CaO$ ile $CaO-SiO_2$ korelasyon diyagramları....	81
Figür 4.50 Harç örneklerinin iz element korelasyon diyagramları.....	82
Figür 4.51 Harç örneklerinin toplam majör element korelasyon diyagramları.....	83
Figür 4.52 Harç örneklerinin DTA/TGA grafikleri.....	87
Figür 4.53 Gözeneklilik ve ağırlıkça su emme kapasitesi ilişkisi.....	92
Figür 4.54 Örneklerin agrega granülometri eğrileri.....	94

## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1 Harç Örneklerinin İsimlendirilmesi.....	40
Tablo 4.1 XRF analiz sonuçları ana oksit yüzdeleri (ağırlıkça%).....	80
Tablo 4.2 XRF sonuçları iz element miktarları.....	82

Tablo 4.3 Kızdırma kaybı analiz sonuçları .....	84
Tablo 4.4 Spot test Sonuçları ( -:yok; +:az var; ++:var ).....	86
Tablo 4.5 DT\ TGA sonuçları .....	90
Tablo 4.5 Örneklerin bağlayıcı kısmı ayrıldıktan sonra yapılan DT\TGA sonuçları	90
Tablo 4.6 Numunelerin özgül ağırlık ve ağırlıkça su emme kapasitesi değerleri....	92
Tablo 4.7 Asit kaybı analiz sonuçları.....	93
Tablo 4.8 Agregaların tane boyu dağılımları (%).....	94



\*Metin içinde aksi belirtilmediği sürece tüm tablo ve figürler tarafıma aittir.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Gözde ASLAN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Antalya\Merkez 28.06.1989

**e-mail:** gozdeaslan.07@hotmail.com

**Yabancı Dil:** İngilizce



### **Eğitim Bilgileri**

- ❖ 2013- 2019 Pamukkale Üniversitesi, Arkeoloji Enstitüsü Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı Yüksek Lisans
- ❖ 2008-2013 Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Bölümü
- ❖ 2004-2008 Antalya Atatürk Anadolu Lisesi

### **Mesleki Tecrübeler**

- ❖ 2016-2018 Byz Mimarlık İstanbul Sarıyer Panayia Kilisesi Kazı Çalışmaları
- ❖ 2015 Denizli Büyükşehir Belediyesi İlbadı Mezarlığı Çevre Düzenleme, Kazı ve Onarım Çalışmaları.
- ❖ 2011 Prof. Dr. Nevzat Çevik başkanlığında yürütülen Myra-Andriake Kazıları, mimari çizim.
- ❖ 2010 Prof. Dr. Cell şimşek başkanlığında yürütülen Laodikeia Kazısı, mimari çizim.
- ❖ 2009 Prof. Dr. Ömer zyiğit başkanlığında yürütülen Phokaia Kazısı, seramik çizimi.