İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERKEN BİZANS DÖNEMİ HORASAN HARÇLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Gülçin KAHRAMAN

Anabilim Dalı: MİMARLIK

Programı: ÇEVRE KONTROLÜ VE YAPI TEKNOLOJİSİ

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Ülkemiz tarihi zenginliklerle dolu bir coğrafyaya sahiptir. Bu topraklarda yaşamış uygarlıkların izleri sahip olduğumuz değerleri daha da artırmaktadır. Tarihi mirasın öneminin günden güne arttığı bu dönemde sahip olduğumuz değerlere önem vermeli ve korumalıyız. Tarihi eserler, yaşam koşulları ve doğal etkenlerden zarar görmektedir, bunların konservasyon ve restorasyon çalışmalarında bilinçli olmak ve yapıya zarar vermeden onarımlar yapmak önemlidir. Bu amaçla tarihi eserlerin restorasyonunda özgün malzeme kullanılması ve orijinal malzemelerin özelliklerinin bilinmesi de önemli bir husustur. Bu çalışmada da belirli bir döneme izlerini bırakmış Bizans İmparatorluğu'nun erken dönemde inşa ettikleri yapıların horasan harçlarının incelenmesi ile bu yapıların harç kompozisyonları hakkında bilgi verilmekte ve ileride yapılabilecek restorasyon çalışmalarına yön vereceği düşünülmektedir.

Yüksek lisans çalışmamda değerli bilgileri, yardımları, çalışmama yön vermesi ve destekleri için sayın tez danışmanın Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a, yine bu çalışmamı desteklediği ve yardımlarını esirgemediği için eş danışmanım Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU'na, sabır ile beni dinleyen, her konuda yardım eden ve bir el gibi üzerimde güven yaratan Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER'e, çalışmama yön verdikleri için hocalarım sayın Prof. Dr. Fevziye AKÖZ, Prof. Dr. Ahmet ERSEN, Doç. Dr. Ahmet GÜLEÇ'e, bilgisi ve çalışmama desteği için Prof. Dr. Hasan BÖKE'ye, XRD analizlerimi yapan İTÜ Malzeme Bilimleri ve Üretim Teknolojileri Uyg-Ar Merkezi'nden Dr. M. Şeref SÖNMEZ'e, SEM- EDS analizlerimi yapmamda yardımcı olan İTÜ Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Gültekin GÖLLER'e, laboratuar çalışmalarımda bana yardım eden Araş. Gör. Serkan YATAĞAN'a, İrem VERDÖN'e ve teknisyen İbrahim ÖZTÜRK'e, kaynak araştırmamda bana yardımcı olan ve yol gösteren Arkeolog Mimar Leyla KADERLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bana arazi ve belgeleme çalışmalarımda yardım eden, sabır ve ilgiyle beni destekleyen eşim Mete ALTAŞ'a, her an yanımda yer alan ve bana şevk veren ailem, bana rahat çalışma ortamı hazırlayan fedakâr annem Münevver KAHRAMAN'a, babam Mak. Müh. İbrahim KAHRAMAN'a, okul yazışmalarımda bana katkısı olan kardeşim Serkan KAHRAMAN'a teşekkür ederim.

Ekim, 2008 **Gülçin KAHRAMAN**

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
SUMMARY **xii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Çalışmanın Amacı 2
1.2. Çalışmanın Önemi 3
1.3. Çalışmanın Yöntemi 3

2. İSTANBUL'DAKİ ERKEN BİZANS DÖNEMİ YAPILARI **4**

2.1. Saray Yapıları 7
2.1.1. Büyük Saray 7
2.1.2. Bukoleon Sarayı 10
2.1.3. Lausos Sarayı 11

2.2. Dini Yapılar 12
2.2.1. Ayasofya 12
2.2.2. Aya İrini 15
2.2.3. Acem Ağa Mescidi 17
2.2.4. Euphemia Kilisesi 18
2.2.5. Studios Manastırı (İmrahor Camii) 19
2.2.6. Karpos-Papylos Martyrionu 21
2.2.7. Hagios-Polyeuktos 22

2.3. Su Yapıları 23
2.3.1.Hagios Mokios Sarnıcı 23
2.3.2. Aspar Su Sarnıcı 24
2.3.3. Aetios Sarnıcı 25
2.3.4. Valens Su Kemeri 26

2.4. Savunma Yapıları 28
2.4.1. Kara Surları ve Kapılar 28
2.4.2. Marmara Surları 30
2.4.3. Haliç Surları 32

2.5. Diğer Yapılar 33
2.5.1. Sampson Hastanesi 34
2.5.2. Hippodrom 35

3. HORASAN HARCININ ÖZELLİKLERİ **37**
3.1. Horasan Harcının Tarihçesi ve Kullanım Teknikleri 37
3.2. Horasan Harcını Oluşturan Malzemeler 39
3.2.1. Kireç 39
3.2.2. Kum 42
3.2.3. Agrega 43
3.2.4. Puzolan 44
3.2.5. Katkı Maddeleri 45

4. ÖZGÜN HARÇ VE SIVALARIN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR **46**
4.1. Harç ve Sıva Örneklerini Alma Çalışmaları 47
4.2. Özgün Harç ve Sıvaların Özelliklerinin Belirlenmesi 47
4.2.1. Makroskopik Gözlemler 48
4.2.2. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi 48
4.2.2.1. Su Emme Oranı (Kütlece/Hacimce) 48
4.2.2.2. Birim Hacim Kütlesi 49
4.2.2.3. Özgül Kütle 49
4.2.2.4. Porozite Oranı 50
4.2.3. Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi 50
4.2.3.1. Asit Kaybı Analizi 50
4.2.3.2. Kızdırma Kaybı Analizi 53
4.2.3.3. Elek Analizi 54
4.2.3.4. Protein Analizi 55
4.2.3.5. Yağ Analizi 55
4.2.3.6. Tuz Analizleri 56
4.2.3.7. pH Analizi 60
4.2.3.8. Puzolanik Aktivite Analizi 60
4.2.4. Mikro Yapı Analizleri 61
4.2.4.1. İnce Kesit Görüntüleri (Petrografik Analiz) 61
4.2.4.2. X-Işını Analizi 62
4.2.4.3. SEM-EDS Analizleri 63
4.2.4.4. Termal Analizler 64
4.2.5. Mekanik Özelliklerin Tespiti (Nokta Yükleme Deneyi) 65

5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI **66**
5.1. Özgün Harç ve Sıvaların Özelliklerinin Belirlenmesi 66
5.1.1. Makroskobik Gözlemler 66
5.1.2. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi 80
5.1.3. Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi 82
5.1.4. Mikro Yapı Analizleri 92
5.1.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi 102

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ **104**

KAYNAKLAR **113**

EKLER **120**

EK A- TABLOLAR **121**

EK B- ŞEKİLLER **140**

ÖZGEÇMİŞ **156**

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 5.1	Yapı gruplarına göre ortalama fiziksel özelliklerin dağılımı…….	81
Tablo 5.2	A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı örneğinin agrega, hamur ve bağlayıcı agrega ara yüzeyinden alınan EDS sonuçları…….	98
Tablo 5.3	D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı örneğinin agrega, hamur ve bağlayıcı agrega ara yüzeyinden alınan EDS sonuçları……	101
Tablo 5.4	D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin agrega ve hamur kısmından alınan EDS sonuçları……	101
Tablo 5.5	Bazı örnekler üzerinde yapılan basınç dayanımı analiz sonuçları.	103
Tablo A.1	Harç örneklerinin fiziksel özellikleri…….....	122
Tablo A.2	Asit kaybı deneyi sonuçları ……...	125
Tablo A.3	Kızdırma kaybı analiz sonuçları…….....	128
Tablo A.4	Elekten geçen malzeme yüzdesi…….	131
Tablo A.5	Protein, yağ, pH ve puzolanik aktivite deney sonuçları…….	134
Tablo A.6	Tuz analizi sonuçları……..	137

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Planda D11 (Büyük Saray derz harcı) ve D12 (Büyük Saray dolgu harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler……... 9
Şekil 2.2 : D11 (Büyük Saray derz harcı) ve D12 (Büyük Saray dolgu harcı) numaralı harç örneği alınan yerler..... 9
Şekil 2.3 : D12 numaralı Büyük Saray dolgu harcı alınan nokta…….. 9
Şekil 2.4 : D19 (Bukoleon Sarayı derz harcı) ve D20 (Bukoleon Sarayı dolgu harcı) numaralı harç örneği alınan yerler……... 10
Şekil 2.5 : D14 (Lausos S.derz harcı), D15 (derz harcı) ve D16 (Lausos Sarayı dolgu harcı) numaralı harç örneği alınan yerler……. 11
Şekil 2.6 : D41 (Ayasofya derz harcı) ve D42 (Ayasofya sıva harcı) numaralı örneklerin alındığı yer…… 13
Şekil 2.7 : Planda ve fotoğrafta D41 (Ayasofya derz harcı) ve D42 (Ayasofya sıva harcı) numaralı örneklerin alındığı noktalar……. 14
Şekil 2.8 : Planda D10 numaralı Aya İrini derz harcı örneğinin alındığı yer 15
Şekil 2.9 : D10 (Aya İrini derz harcı) numaralı harç örneği alınan yer……. 16
Şekil 2.10 : Acem Ağa Mescidi D18 (dolgu harcı) ve D40 (derz harcı) numaralı harç örneği alınan yerler……. 17
Şekil 2.11 : D17 numaralı Euphemia Kilisesi derz harcı örneğinin alındığı yer…….. 18
Şekil 2.12 : Planda Studios Manastırı A3 (dolgu harcı) ve D13 (derz harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler…… 19
Şekil 2.13 : A3 (Studis Manastırı dolgu harcı) ve D13 (Studis Manastırı derz harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler…….. 20
Şekil 2.14 : Karpos Papylos Martyrionu D6 (derz harcı) ve D7 (dolgu harcı) numaralı harç örneği alınan yerler……. 21
Şekil 2.15 : D3 (dolgu), D4 (dolgu) ve D5 (derz) numaralı harç örneği alınan yerler…….. 22
Şekil 2.16 : Hagios Mokios Sarnıcı D8 (dolgu harcı) ve D9 (derz harcı) numaralı örneklerinin alındığı yerler……. 23
Şekil 2.17 : A8 (Aspar Su Sarnıcı derz harcı)ve A7 (Aspar Su Sarnıcı dolgu harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler……. 24
Şekil 2.18 : B9 (Aetios Su Sarnıcı dolgu harcı) ve B10 (Aetios Su Sarnıcı derz harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler…….. 25
Şekil 2.19 : Planda Valens Su Kemeri D1 (derz harcı) ve D2 (dolgu harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler…… 26
Şekil 2.20 : D1 (Valens Su Kemeri derz harcı) ve D2 (Valens Su Kemeri dolgu harcı) numaralı harç örneği alınan yerler…… 27

Şekil 2.21 : C1 (Mevlanakapı dolgu harcı), C2 (Mevlanakapı derz harcı, C3 (Belgradkapı derz harcı), C6 (Silivrikapı derz harcı) ve C7 (Silivrikapı dolgu harcı) örneklerinin alındığı yerler……. 29
Şekil 2.22 : Belgrad kapı C3ve C4numaralı harç örneği alınan yerler……. 29
Şekil 2.23 : (a).Silivri Kapı (Pege) C6 ve C7 (b).Mevlana Kapı C1 ve C2 numaralı harç örneği alınan yerler……. 30
Şekil 2.24 : Marmara Surları 37.kule civarı D24 (derz harcı) , D25 (dolgu harcı) ve Çatladı kapı D28 (derz harcı) ve D29 (dolgu harcı) örneklerinin alındığı yerler…… 30
Şekil 2.25 : Çatladıkapı D28 (derz) ve D29 (dolgu) harç örneği alınan yerler…….. 31
Şekil 2.26 : Marmara Surları 37. kule civarı D24 (derz harcı) ve D25 (dolgu harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler……. 31
Şekil 2.27 : Marmara Surları 97 ile 99. kuleler arası D26 (dolgu harcı) ve D27 (derz harcı) örneklerinin alındığı yerler……. 31
Şekil 2.28 : D31, D32,D33,D34,D35,D36 ve D37 numaralı harç örneği alınan yerler……... 32
Şekil 2.29 : Balat Kapı civarı D37 numaralı dolgu harcı örneği alınan yer…. 33
Şekil 2.30 : a).Fener civarı D33 ve D34 numaralı (b).Cibalikapı D31 ve D32 numaralı harç örneği alınan yerler……. 33
Şekil 2.31 : (a). Petri Kapı civarı D35 ve (b).D36 numaralı harç örneği alınan yerler……... 33
Şekil 2.32 : Sampson Hastanesi C10 (derz harcı) ,C11 (dolgu harcı) ve D23 (derz harcı) örneklerinin alındığı yerler…… 34
Şekil 2.33 : (a).Planda ve (b).fotoğraflarda A1 (hipodrom derz harcı) ve A2 (Hipodrom dolgu harcı) numaralı harç örneği alınan yerler……. 36
Şekil 3.1 : Kireçtaşı ve harç arasındaki kireç döngüsü…….. 41
Şekil 4.1 : Horasan harçlarında uygulanan deney yöntemleri şeması…… 46
Şekil 4.2 : Tuz analizlerinde izlenecek deney akış şeması……. 57
Şekil 5.1 : a) D11, b) D12, c) D19, d) D20, e) D14, f) D15 no.lu örnek fotoğrafları……. 67
Şekil 5.2 : a) D41, b) D42, c) D10, d) D17 no.lu örnek fotoğrafları…….. 68
Şekil 5.3 : a) D18, b) D40, c) A3, d) D13 no.lu örnek fotoğrafları…… 69
Şekil 5.4 : a) D6, b) D7, c) D3, d) D5 no.lu örnek fotoğrafları…….. 70
Şekil 5.5 : a) D8, b) D9, c) A7, d) A8 no.lu örnek fotoğrafları…….. 71
Şekil 5.6 : a) B9, b) B10, c) D1, d) D2 no.lu örnek fotoğrafları…… 72
Şekil 5.7 : a) B2, b) B3, c) B4, d) B5 no.lu örnek fotoğrafları…….. 73
Şekil 5.8 : a) B6, b) C1, c) C2, d) C3 no.lu örnek fotoğrafları……... 74
Şekil 5.9 : a) C6, b) C7, c) C8, d) C9 no.lu örnek fotoğrafları……... 75
Şekil 5.10 : a) D24, b) D25, c) D26, d) D27 no.lu örnek fotoğrafları…….. 76
Şekil 5.11 : a) D28, b) D29, c) D31, d) D32 no.lu örnek fotoğrafları…….. 77
Şekil 5.12 : a) D33, b) D34, c) D35, d) D36, e) D37 no.lu örnek fotoğrafları. 78
Şekil 5.13 : a) C10, b) C11, c) A1, d) A2 no.lu örnek fotoğrafları…….. 79
Şekil 5.14 : Harç içinde yer alan agrega tipi dağılım grafiği…… 80
Şekil 5.15 : Yapı gruplarına göre bağlayıcı/agrega dağılım yüzdeleri…….. 82
Şekil 5.16 : Tuğla agrega yüzeyindeki silikatlaşma…… 83
Şekil 5.17 : Kızdırma kaybı analizinin yapıdığı kül fırını ve örnekler……. 84
Şekil 5.18 : Harçların yüzde $CaCO_3$ miktarları…… 84
Şekil 5.19 : Harçların yüzde $CaCO_3$ miktarları ve CO_2/H_2O oranları…….. 85
Şekil 5.20 : Saray yapıları derz ve çekirdek harcı agrega granülometri eğrisi. 87

Şekil 5.21 : Dini yapılardan alınan derz harcı örneklerinin agrega granülometri eğrisi……. 87
Şekil 5.22 : Dini yapılardan alınan çekirdek harcı örneklerinin agrega granülometri eğrisi……. 88
Şekil 5.23 : Su yapıları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi…….. 88
Şekil 5.24 : Kara Surları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi……. 89
Şekil 5.25 : Harç numunesinin a) pH ve b) puzolanik aktivite analizinin yapılması..... 90
Şekil 5.26 : D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı a) Genel doku görüntüsü, b) Bağlayıcı matrisinin görüntüsü, c) Bağlayıcı-agrega ilişkisinin görüntüsü……... 92
Şekil 5.27 : D16 Lausos Sarayı derz harcı, a) Genel doku görüntüsü, b) Tuğla kırığı çevresindeki karbonatlaşmış matrisin görüntüsü.. 92
Şekil 5.28 : A8 Aspar Su Sarnıcı derz harcı, a) Tuğla kırığı çevresindeki karbonatlaşmış matrisin görüntüsü, b) Genel doku görüntüsü, c) Bağlayıcı matrisinin görüntüsü…….. 93
Şekil 5.29 : D18 Acem Ağa çekirdek harcı, a) Genel doku görüntüsü, b) Tuğla kırığı ve matrisin ilişkisi……. 93
Şekil 5.30 : D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği…… 94
Şekil 5.31 : D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı numunesinin X-Işını Grafiği……... 95
Şekil 5.32 : A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği…… 95
Şekil 5.33 : A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı numunesinin SEM görüntüleri…….. 96
Şekil 5.34 : A8 no.lu numunenin bağlayıcı kısmı EDS Diyagramı (3500x)… 97
Şekil 5.35 : A8 no.lu numunenin agrega kısmı EDS Diyagramı (250x)…….. 97
Şekil 5.36 : A8 no.lu numunenin bağlayıcı agrega ara yüzeyi EDS Diyagramı (5000x)……. 97
Şekil 5.37 : D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı numunesinin SEM görüntüleri…….. 99
Şekil 5.38 : D19 no.lu numunenin agrega kısmı EDS Diyagramı (2000x)….. 100
Şekil 5.39 : D19 no.lu numunenin hamur kısmı EDS Diyagramı (5000x)….. 100
Şekil 5.40 : D19 no.lu örneğin bağlayıcı agrega ara yüzeyi EDS Diyagramı (5000x)……... 100
Şekil 5.41 : a) Eksenel basınç yükleme makinesi b) Basınç yüklenen örnek... 101
Şekil 5.42 : Nokta yükleme test metodu (Point loading tester)…… 101
Şekil 6.1 : Yapıların yer aldıkları yerlere göre elekten geçen malzeme yüzde dağılım grafiği……. 106
Şekil 6.2 : Surların elekten geçen malzeme yüzde dağılım grafiği…… 107
Şekil 6.3 : Yapı gruplarına göre elekten geçen malzeme yüzde dağılım grafiği……. 108
Şekil 6.4 : a) Hagios Polyeuktos b) Aspar Su Sarnıcı derz harcının yapı tuğlası ve taşıyla olan ilişkisi…… 109
Şekil B.1 : Kara surları B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8 numaralı harç örneklerinin alındığı yerler…… 141

Şekil B.2 : Kara surları T95 no.lu kule B8 numaralı çekirdek harcı örneğinin alındığı yer..... 142
Şekil B.3 : Kara surları T93 no.lu kule B6 numaralı derz harcı ve B7 numaralı çekirdek harcı örneğinin alındığı yerler..... 142
Şekil B.4 : Kara surları T92 no.lu kule B4 numaralı çekirdek harcı ve B5 numaralı derz harcı örneklerinin alındığı yerler…… 143
Şekil B.5 : Kara surları T91 no.lu kule B2 numaralı derz harcı ve B3 numaralı çekirdek harcı örneklerinin alındığı yerler……. 143
Şekil B.6 : Kara surları T90 no.lu kule B1 numaralı derz harcı örneğinin alındığı yer……. 144
Şekil B.7 : Marmara Surları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi……. 144
Şekil B.8 : Haliç Surları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi……. 145
Şekil B.9 : Sampson Hastanesi ve Hipodrom derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi…….. 145
Şekil B.10 : D20 Bukoleon Sarayı çekirdek harcı, a) Genel doku görüntüsü, b) Bağlayıcı matrisinin görüntüsü……. 146
Şekil B.11 : D10 Aya İrini derz harcı, a) Genel doku görüntüsü, b) Tuğla kırığı ve matrisin ilişkisi…… 146
Şekil B.12 : D8 Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı, a) Genel doku görüntüsü, b) Tuğla agreganın görüntüsü…… 146
Şekil B.13 : A1 Hipodrom derz harcı, a) Bağlayıcı matrisi içindeki tuğla kırığının görüntüsü, b) Bağlayıcı-agrega ilişkisi……... 147
Şekil B.14 : D16 no.lu Lausos Sarayı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği 147
Şekil B.15 : D10 no.lu Aya İrini derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği 148
Şekil B.16 : D8 no.lu Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği…… 148
Şekil B.17 : A1 no.lu Hipodrom derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği…… 149
Şekil B.18 : a) Roma'da Albano Sarnıcı'ndan alınan horasan harcı XRD grafiği, b) Roma Colosseum'undan alınan horasan harcı XRD grafiği……. 150
Şekil B.19 : Aya Sofya'dan alınan 6. yy. ve 10. yy.a ait horasan harçlarının XRD grafikleri……... 151
Şekil B.20 : Aya Sofya'da yapılan başka bir çalışmadaki XRD analizi sonuçları……. 151
Şekil B.21 : Rodos Adasında yer alan farklı yüzyıllara ait yapılardaki analizde 8 no.lu Erken Bizans dönemi horasan harcının XRD analizi sonuçları……. 152
Şekil B.22 : A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı numunesinin SEM görüntüleri (100X ve 3000X)…… 153
Şekil B.23 : D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı örneğinin SEM görüntüleri…….. 153
Şekil B.24 : D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin SEM görüntüleri…….. 154
Şekil B.25 : D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin agrega kısmı EDS Diyagramı (2000X)…… 155
Şekil B.26 : D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin hamur kısmı EDS Diyagramı (5000X)…… 155

SEMBOL LİSTESİ

Δ	**:** Birim hacim kütlesi (g/cm^3)
δ	**:** Özgül kütle (g/cm^3)
Sk	**:** Kütlece su emme yüzdesi (%)
Sh	**:** Hacimce su emme yüzdesi (%)
p	**:** Porozite (Boşlukluluk oranı,%)
b/a	**:** Bağlayıcı/agrega oranı
k	**:** Kompasite (Doluluk oranı,%)
W	**:** Ağırlık (g)
WSd	**:** Suya doymuş ağırlık (g)
WSi	**:** Su içindeki ağırlık (g)
V	**:** Örnek hacmi (cm^3)
σ	**:** Basınç dayanımı (MPa)
d	**:** kalınlık (mm)
F	**:** Uygulanan kuvvet (N)

ERKEN BİZANS DÖNEMİ HORASAN HARÇLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez İstanbul'da yer alan bazı Erken Bizans Dönemi yapılarında kullanılan horasan harçlarının, yapılan deneysel çalışmalar ile karakterizasyonunun belirlenmesi ve bu harçların genel özelliklerinin tespit edilmesine yönelik bir çalışmadır. İstanbul'un 2010 Dünya Kültür Başkenti olabilmesi ve Dünya Kültürel Miras listesindeki yerini koruyabilmesi için projeler hazırlanmaktadır. Yapılacak restorasyon çalışmalarında yapıya müdahale etmeden önce yapının özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Her yapının yapı taşları farklı özellik taşımaktadır ve tarihi bir belge niteliğindedir, bu nedenle bir genelleme yapılıp her yapıda aynı malzemeler kullanılmamalıdır. Bu çalışma yapılacak restorasyon projelerine yön vermesiyle, aynı zamanda belirlenen Erken Bizans Dönemi yapılarının horasan harç özelliklerinin çeşitli deneylerle tayin edilerek her bir yapı için ayrı ayrı incelenmesiyle önemli bir veri özelliği taşımaktadır. Çalışma 5 aşamada sürdürülmüştür.

1. Adım: Çalışma kapsamında incelenen İstanbul'daki Erken Bizans Dönem Yapılarının Belirlenmesi; çeşitli kaynaklardan faydalanılarak çalışmada incelenecek erken dönem yapılarının belirlenmesi, yapı özelliklerinin kısaca incelenmesi ve yapılardan alınan horasan harcı örneklerinin çizim ve fotoğraflarla belgelenmesi aşamasıdır.

2. Adım: Horasan harcının tarihi ve teknik özelliklerinin incelenmesi, uygulanışı, horasan harcını meydana getiren malzemelerin ayrı ayrı incelenmesi. Bu malzemelerin teknik özellikleri ve oluşumları ile ilgili bilgilerin yer aldığı bölümdür.

3. Adım: Deneysel Çalışmalarla İlgili Literatür Araştırması; daha önce yapılmış uzman kişilerin çalışmalarını incelenerek bir yöntem geliştirilmesi.

4. Adım: Deneysel Çalışmalar; belirlenen 19 yapıdan 65 adet harç numunesi alınarak, bu numunelerde fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikro yapı analizleri yapılmıştır.

5. Adım: Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi; Erken dönem horasan harçları üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarına bakılarak belirli bir döneme ait yapıların horasan harçlarının benzer ve farklı özellikleri tablolar ve grafiklerle ifade edilerek karşılaştırılmaktadır. Bu çalışma Erken Bizans dönemi horasan harçları için bir tespit çalışması oluşturmaktadır.

STUDY OF KHORASAN MORTARS IN EARLY BYZANTINE PERIOD

SUMMARY

The present thesis is devoted to the determination of the characterization of khorasan mortars applied to structures of certain Early Byzantine Period located in Istanbul by conducting experimental works and fixation of general characteristics of such mortar. There are projects in development stage to allow Istanbul to become the World Capital of Culture for 2010 and safeguard its position among the list of World Cultural Heritage. The restoration requires finding out the original material characteristics of the structure in advance of making any interventions to the building. Building stones of each structure bear distinct characteristics and serve as historical documents; therefore every structure can not be generalized and applied with the same materials. This study is an eminent data including the designation of characteristics of khorasan mortar of Early Byzantine Period buildings in various experiments and examination thereof separately for each structure. The study was conducted in the following 5 stages:

Step 1: Locating the Early Byzantine Period Structures in Istanbul to be examined within the scope of this study; designation of early period buildings based on various resources, brief examination of building characteristics and documentation of khorasan mortar samples collected from such structures with illustrations and photographs.

Step 2: Studying historical and technical characteristics and application of khorasan mortar, individually analyze of ingredients of the khorasan mortar. This step includes elicited information on technical features and formations of such materials.

Step 3: Research of literature on experimental studies; conducting a study of previous expert studies to develop a method on this matter.

Step 4: Experimental Studies; 65 mortar samples are collected from the 19 structures upon which physical, chemical, mechanical and micro structure tests are conducted.

Step 5: Assessment of experiment results; Results of the experiments conducted on early period khorasan mortars are evaluated and similar and dissimilar characteristics of khorasan mortars pertaining to a certain period are compared by means of displaying the same in tables and graphics. This paper is a determination study for khorasan mortars of Early Byzantine period.

1. GİRİŞ

Tarihi harçları incelemek, eski anıt ve yapıların konservasyonunda harç karakterleri, harçların tarihi ve o dönemin yapım teknikleriyle ilgili önemli bilgiler vermektedir. Orijinal harçların detaylı incelenmesinin ve fonksiyonlarının yanında estetik, fiziksel, kimyasal özelliklerinin tanımlanmasıyla yeni onarım harçları aynı estetik ve teknik özellikler ile hazırlanırlar **(Candeias ve diğ.).**

Doğru bir restorasyon çalışması yapılabilmesi için yapının duvar örgü teknikleri, kullanılan yapı malzemesinin boyutları, harcın renk, doku ve karakter özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Aksi takdirde bilinçsiz çalışmalar yapıya zarar vermektedir. Venedik Tüzüğü'nde de geleneksel yapım teknikleri ve geleneksel malzemelerin kullanılmasının restorasyon için önemli olduğu belirtilmiştir. Yapıda kullanılan taş, tuğla ve harç gibi yapı malzemelerinin incelenmesi yapım tekniği ile ilgili bilgi veren tarihi bir belge niteliğindedir **(Gürdal ve Ersen, 2000).**

Geleneksel harçların sistematik olarak çalışılması hemen hemen yenidir. 1981 yılında ilk deneme (ICCROM'un onayıyla) eski harçların özelliklerini tespit edebilmek için araştırma stratejileri üzerinde yapılmıştır. İspanya'da bu çalışma 10 yıldan daha fazla bir zaman sonra açıklanmıştır. CSIC (Eduardo Torrajo Enstitüsü, Madrid, İspanya) kurumundan farklı araştırmacılar, İspanya Üniversitelerinden (Navara, Sevile… Üniversiteleri) araştırmacılarla yoğun çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara ek olarak CSIC'da "Kültürel Mirasta Tematik Network" ağı kurulmuştur. Bu network sistemiyle, tarihi harçlarda çok disiplinli bir çalışma olduğu ve İspanya'da bu malzemelere nasıl bir önem verildiği vurgulanmıştır. Çalışmalarda harçların bileşenleri, özellikleri, nicelik değerleri, zamanları, bozulma sebepleri incelenmiştir. Tarihi harçlarda koruma eğilimleri geliştirilmiştir. Onarım harçlarının tespit edilmiş değerlere göre hazırlanması, uygun ve mantıklı sonuçlar vermesi gerekmektedir **(Palomo ve diğ.).**

1.1 Çalışmanın Amacı

Horasan harçları tarihi yapılarda taş-tuğla gibi ana yapı malzemesini bağlayan bir bağlayıcı malzemedir. Yapının restorasyonu yapılırken özgün harç ve sıvaların korunması doğru bir konservasyon adına önemlidir. Yapıların malzeme bileşenleriyle ilgili doğru bir bilimsel çalışma yapabilmek için de özenli ve dikkatli analizler gerekmektedir.

1930'lu yıllardan sonra ülkemizde yapılan geleneksel yapıların restorasyon çalışmalarında horasan harcı yerine çimento, kum, tuğla kırığı kullanılarak ve horasan harcının rengini verebilmek için de kırmızı boya katılarak yapılan onarım harçları görülmüştür. Yanlış malzeme kullanılmasıyla yapının özgününe daha fazla zarar verilmiş ve çimentolu harçlar eski harçlarla birleşmediği için dökülen onarım harçları görülmüştür **(Gürdal ve Acun, 2005).**

Konservatörler, yapılan araştırmalarda portland çimentosunun zararlarından dolayı restorasyon çalışmalarında kullanılmasını tavsiye etmemektedirler. Portland çimentosu su ile reaksiyona girerek prizlenme süresini kısaltır. Çimento gözenekliliği az, yüksek mukavemetli, hızlı su emen ve geç kuruyan bir harçtır, ısıl iletkenlik katsayısı fazladır. Boşlukluluk oranının düşük olması ile suyun dolaşımını engeller. Yapıda sıva olarak kullanıldığında duvarın nefes almasını engelleyerek iç yoğuşmalara neden olur. Bununla birlikte çimento üretimi sırasında gelen sodyum, potasyum oksitler ile topraktan gelen kimyasal tuzlarla reaksiyona girerek suda çözünür karbonatlar oluşturarak yapıya zarar verir. Bu zararlarının yanında çimento renk ve estetik açıdan da tarihi yapılarda kullanılan geleneksel malzemelere uyum sağlamamaktadır **(Ersen, 1988; Ersen ve Güleç, 1991; Ashurst, 2007).**

Bu çalışmada da İstanbul'da bulunan Erken Bizans Dönemi yapılarının horasan harçlarının fiziksel, kimyasal, petrografik özellikleri ile hammadde kompozisyonları incelenmiştir. Böylece belirlenen tarihi yapılardaki harç kompozisyonları üzerine detaylı bir çalışma ve ilerideki projelere, araştırmalara yön verebilecek bir temel olması amaç edinilmiştir.

1.2 Çalışmanın Önemi

Bu çalışma ile İstanbul'da bulunan Erken Bizans Dönemi yapılarının horasan harçlarının fiziksel, kimyasal, petrografik ve mineralojik özellikleri incelenmiş ve genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bununla birlikte horasan harçlarının özelliklerinin belirlenmesinde uygulanacak deneysel yöntem metodolojisi oluşturması ve Erken dönem yapılarında bu denli geniş bir araştırma yapılmadığı için bu tezin o dönem hakkında önemli bir bilgi birikimi sağlayacağı düşünülmüştür.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Çalışma, çalışmanın amacı, yöntemi ve öneminin belirtildiği giriş bölümü; Erken Bizans Dönemi yapım teknikleri, tarihi, erken dönem yapılarının özelliklerinin incelendiği bölüm; horasan harçlarının tarihi ve teknik özellikleri, horasan harcını meydana getiren malzemelerin özelliklerinin incelendiği literatür bölümü; horasan harçlarının morfolojik özelliklerinin belirlenmesinde uygulanması gereken deneysel yöntemlerin ayrıntılı olarak incelendiği kaynak taraması bölümü; erken dönem yapılarından alınan horasan harçları numuneleri üzerinde yapılan karakter tespiti deneylerinin oluşturduğu deneysel çalışmalar ve sonuçları bölümü; elde edilen sonuçlarla ilgili genel değerlendirme olmak üzere 6 bölümden oluşmaktadır.

Horasan harcının karakterizasyonunda, bağlayıcının ve agreganın tipi, özellikleri karışım oranları, katkı maddeleri, agrega yoğunluğu gibi birçok faktör etki etmektedir. Son zamanlarda bu yöndeki çalışmalar gelişmekte ve eski eserlerin restorasyonunda yapının orijinal malzeme bilgisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada farklı kaynaklardan elde edilen araştırmalara ve yapılan çalışmalara göre, uygulanan teknikler incelenmiş ve deneysel metot şekline dönüştürülmüştür.

Erken dönem yapılarından alınan örnekler hazırlanan deneysel metoda göre incelenmiş, yapılar özelliklerine (dini yapılar, su yapıları, vs.) göre gruplandırılmış, harçlar üzerinde yapılan analiz sonuçları grafik ve tablolarla gösterilmişlerdir. Bu sonuçlar karşılaştırılmış ve bir değerlendirmeye gidilmiştir. Buna göre tarihi açıdan belirli bir dönemi yansıtan Erken Bizans dönemi yapılarında kullanılan horasan harçlarının gelişimi, yapılacak konservasyon çalışmaları ve akademik çalışmalar için de deneysel bir yöntem sağlaması amaç edinilmiştir.

2. İSTANBUL'DAKİ ERKEN BİZANS DÖNEMİ YAPILARI

Haliç ve Marmara'yla sınırlı olan üçgen biçimli tarihi yarımadadan oluşan Eski İstanbul zaman içerisinde birçok uygarlıklara ev sahibi olmuş ve değişmiştir **(Eyice, 2006).** Byzantion, M.Ö. 695 yılında önderleri Bizas ile Megara'dan gelen Yunanlılar tarafından kurulmuştur ve önderlerinden dolayı bu ismi almıştır **(Kuban, 2004).** İlk şehir yerleşkesi bugünkü Ayasofya'nın olduğu kısımda kurulmuş olup, surlarla çevrilidir **(Tezcan, 1991).** Roma İmparatoru Septimus Severus zamanında Byzantion, Romalıların yanındadır, Roma'nın rakibi Niger'e yardım etmesiyle Septimus Severus M.S. 96 yılında surları yıktırarak Byzantion'u cezalandırır **(Anabolu, 2001).** Septimus Severus şehri ele geçirdikten sonra kendi sur sistemini kurdurarak, Hipodrom ve Zeuksippos Hamamları'nın yapımını başlatmıştır **(Müller-Wiener, 1977).**

330 yılında İmparator Constantin'in Doğu Roma İmparatorunu yenmesiyle şehri Batı Roma İmparatorluğu'nun başkenti olarak ilan eder ve şehir Konstantinoupolis adını alır **(Ahunbay, 1998).** 7.yy.'a kadar Roma İmparatorluğu'nun gücü Konstantinoupolis'te kalmıştır. Constantin eski surları yenileyerek şehrin sınırlarını belirler, Hippodrom'un ve Zeuksippos Hamamları'nın yapımı tamamlanır, Havariyun Kilisesi, Büyük Saray, Aya İrini yapılır **(Millingen, 1899; Müller-Wiener, 1977).** 5.yy.da II. Theodosios (408–450) kentin büyümesiyle birlikte Constantin surlarından 1300–1400 m. daha batıda yeni sur sistemini inşa ettirir **(Tezcan, 1991).**

Roma'da şehrin toplanma yerleri olan meydanlara forum denirdi. Meydanlarda Ayasofya önündeki en önemli tören alanı olan Augousteon Meydanı'nda Million taşıyla başlayan bir yol güzergâhı yer alıyordu. Bu revaklı yol, Mese'den başlayıp kara surlarına ulaşmaktaydı **(Eyice, 2006; Ahunbay, 1998).** Mese'nin devamındaki Constantin Meydanı oval şekilli olup, Constantin'in heykelinin üzerinde bulunduğu porfir sütun bugün Çemberlitaş olarak anılmaktadır **(Ahunbay, 1998)**. Bu

meydandan sonraki meydan 1950'li yıllarda I. Theodosios Takı'nın kalıntılarının bulunduğu (Beyazıt) Forum Theodosios'tur. Arcadius Forumunda (Cerrahpaşa) ise 5.yy.'da bu adla yapılmış sütun yer almaktadır **(Eyice, 2006)**.

Konstantinoupolis'in başkent ve imparatorluk şehri olmasının yanında, konumuyla ve limanlarıyla da bir ekonomi merkezi olmuştur. Kentte inşa edilecek yapılarla ilgili katı sınırlamalar vardır, kat sayıları ve evlerin birbirleriyle olan mesafeleri belirlenmiştir. I.İustianos zamanındaki Nika ayaklanmalarıyla şehir çok zarar görür ve onarılır. Ayasofya'nın da yeniden yapımına başlanır. Kentte birçok kilise ve manastır yaptırılır. Konstantinoupolis savaşlarla ve depremlerle çok zarar görür. 7.-10. yy.'da birçok yapı yıkılır. 8.yy.da V.Constantin ile yeniden yapılaşmalar başlar, Büyük Saray genişletilir **(Müller-Wiener, 1977).** Revaklar Konstantinoupolis'in en önemli kentsel özelliğidir. Yakındoğu'da Hellenistik kentlerde görülen sütunlu yapı tipi Konstantinoupolis'te "stoa"lar ya da "embolos"lar olarak görülür **(Kuban, 2004).**

Doğu Roma'nın başkenti olan Konstantinoupolis, yeri ve stratejik önemi, her dönemde bir yaşam merkezi olmasıyla Roma'ya benzemektedir. İstanbul'da da yerleşim katlarının üzerine yeni yerleşkeler inşa edilip bir önceki yapı katmanına zarar verilmiştir. Her iki şehrin ilk yerleşme katlarıyla ilgili bilgilere ulaşmak zordur ve her iki şehir de hala önem taşımaktadır **(Anabolu, 2001).**

İstanbul Doğu Roma'nın başkenti olmasıyla geleneklerin merkezi olmuştur. Roma mimarları şehri daha modern yapabilmek için çok yoğun çalışmışlardır. Roma'nın mimarisinden faydalanılarak kent, surlar, su teşkilatı, sütunlu caddeleri, meydanları, saray kompleksi, hipodromu ile metropol olarak planlanmıştır. Konstantinoupolis'de roller değişmiştir, tarihi ve coğrafi koşulları ile doğal bir mirasa sahip olan şehir Roman-Hellenistik klasizmi ile Asya tarzının doğal bir merkezi olmuştur, şehir kendi kendine yerini alan, gelişen yapıda olup Roma'nın kırıldığı yerde sanki yeni Roma mimarlığının örneklerini vermiştir. Konstantinoupolis, yaratıcı sanatın merkezi olmasıyla Roma'yı silecek bir güç kazanmıştır. 4.yy.da şehir eski dünya merkezine yakındır ve mimari açıdan da kozmopolitan durumdadır. Bu kozmopolitanlık bir prensip olmuştur **(Mango, 1976; Ward-Perkins, 1974; Ahunbay, 2005).** Hristiyanlık şehre teokratik özellik katmıştır fakat Batı ve Doğu Roma'nın ayrılmasıyla Byzantium tarih açısından önemli farklı bir dünya yaratmıştır.

Erken Dönem Yapım Teknikleri:

Roma betonunun kullanıldığı erken dönemlerde mermerler, mozaikler ve süslemelerle şeritler yapılır ve bunlar yapının gücünü simgelerlerdi. Bunlar mühendislik yeteneğiyle ortaya çıkıyordu ve mimaride popüler olmuştu. Binaların bitim işlerinde bu şekilde dekoratif malzemelere önem verilirdi, özellikle de mermer kullanıldığı görülmüştür. Konstantinoupolis döneminde yapılar taş olarak giydirilmişti, tuğla ise hem duvar malzemesi hem de tonoz malzemesi olarak kullanılmıştır. 1.yy.ın ortalarında sütunlar büyük boyutta ve dikkat çekiciydi **(Ward-Perkins, 1970).**

Puzolanik maddelerin özelliklerinin anlaşılmasıyla geniş açıklıklı tonozlu, kubbeli yapılar yapılmaya başlandı. Plan tipi olarak da kubbeli bazilika tipi görülüyordu **(Mutlu, 2001).** Harcın kalitesi tonoz yapım işçiliğini geliştirmişti. Puzolanik harcın en önemli özelliği su altında sertleşmesidir, bu ilk olarak Campania'da Puteoli limanındaki bir bina inşasında fark edilmiştir. Augustus zamanındaki harcın kalitesi, içine atılan puzolandan kaynaklanıyordu. Harç bir an önce hazırlandıktan hemen sonra bekletilmeden kullanılması gerekir. Bunun yanında, Bizans'ta yapılan uygulamalarda yatay derzlerin düzenli olduğu görülmektedir **(Ward-Perkins, 1970; Lamprecht, 1984).**

İlk yıllarda, puzolanın harçtaki aktivitesi anlaşıldıktan sonra düzenli ya da düzensiz taşlardan taşıyıcı nitelikte moloz taş duvar tekniği olarak *opus incertum* uygulanıyordu. İlk olarak M.Ö. 55 yıllarında düzgün dörtgen taşların yatay ya da çapraz bir desen oluşturacak şekilde kaplama malzemesi olarak örülen duvarlara *opus reticulatum*, bu tekniğin tuğla hatıl ile birlikte yapılmasına *opus mixtum* deniliyordu. M.S. 21–23 yıllarında yalnız tuğla kaplamanın uygulandığı teknik *opus testaceum*, teraslar, sarnıçlar, hamamlarda kullanılıyordu **(Ward-Perkins, 1974; Mac Donald, 1982; Lamprecht, 1984, Kretzschmer, 2000).**

Klasik dönem ve Hellenistik dönemde harçsız kesme taşlarla yapı tekniği uygulanmaktaydı. Bu teknik hem pahalı hem de zaman kaybettiricidir. Bu nedenle Romalılar harçlı inşaat tekniğine ağırlık vermişler, yapıya göre istedikleri yerlerde de harçsız kesme taş tekniği kullanmışlardır. Harçlı imalatlarla daha çok sayıda, daha çabuk, sağlam ve kalıcı yapıtlar ortaya çıkmıştır **(Anabolu, 2001).**

Eski çağlardan, taş döneminden başlamak üzere tuğla kullanılmaktaydı. Tuğla ve kireçten yapılan harçlarla duvarlar örülüyordu. Tuğla pahalı bir malzeme olduğu için kırılmış taş ve harç karıştırılarak duvar örülmekteydi, fakat tuğla pahalı olmasının yanında yapıda daha dayanıklıydı. İlk dönemde kullanılan sadece kireçten yapılan harçlar çok sağlam olmuyordu, daha sonra Napoli, Eifel gibi yerlerde bulunan volkanik külün katılmasının yanında tuğla kırığı, tuğla tozu gibi maddelerin eklenmesi de puzolan gibi sağlamlık vermekteydi. Bu harçlar dalgakıranlar, limanlar, döşeme yapımı, hamamlar, barajlar, su yapılarında kullanılıyordu ve bugünkü betona eş değer nitelikteydi, dayanımı santimetrekareye (cm^2) 400 kg.dı **(Lamprecht, 1984; Kretzschmer, 2000).**

2.1 Saray Yapıları

Tarihi yarımadada şehrin merkezine yerleşmiş konumdaki imparatorluk sarayları Bizans için önem taşımaktaydı. Büyük Saray Hippodrom'a açılan kapıları, büyük pavyonları, Bukoleon Sarayı ise imparatorların İstanbul'un en güzel yeri seçtiği sahilde yer alması ve kuşkusuz bu bölgenin onlar için önemli olduğu, Lausos Sarayı'nın ise Mese'nin devamında aynı bölgede yer alması dikkat çekmektedir. Bu yapılardan günümüze ancak kalıntıları ulaşabilmiştir.

Saray yapıları içinde Bukoleon Sarayı'nın ancak büyük bir bölümü ayakta durmaktadır. Büyük Saray'ın kalıntıları ise evlerin altında ve Sultan Ahmet Camii'nin arastasında yer almaktadır. Lausos Sarayı ise Adliye Sarayı inşaatı ve yol çalışması ile ortaya çıkartılmış bugün Adliye Sarayı'nın bahçesinin arka kısmında yaya yolunun ortasında kalıntı şeklinde görülmektedir.

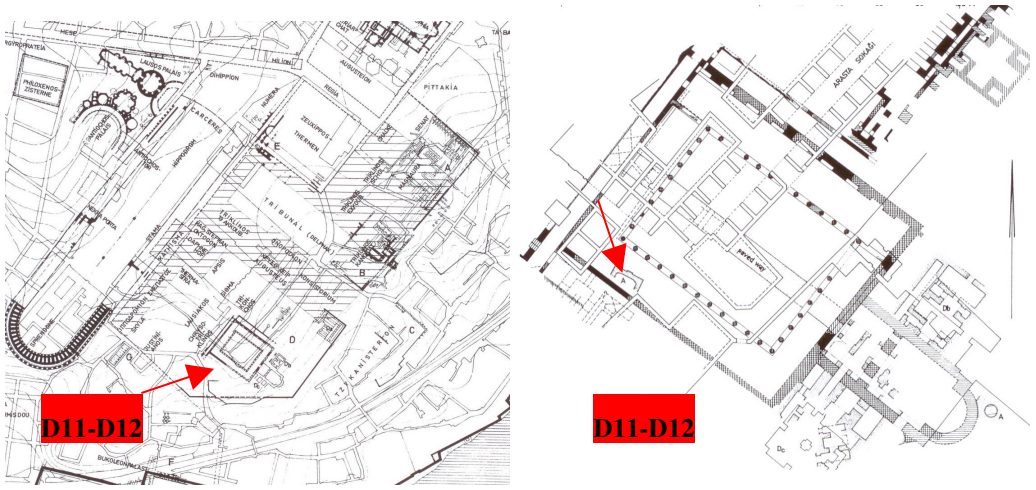
2.1.1 Büyük Saray

İmparatorluk sarayı olan Büyük Saray Hipodrom'dan başlayıp Marmara Denizi'ne kadar uzanan geniş bir alanda, birçok pavyon, memurlar ve muhafızlar için bölmeler, bahçeler ve oyun alanlarından oluşuyordu **(Eyice, 2006).** Ana hatları Costantinus tarafından belirlenen saray, 4.-5. yy'da genişletilmiştir. 11. yy'a kadar imparatorluk burada ikamet etmiştir.

Saray çevresinde 409 yılında özel binaların yapılması, kireç ocaklarının çalışması yasaklanmıştır **(Müller-Wiener, 2007).** Saray'ın ana kapısı "Khalke" Ayasofya yakınındadır ve saray; Magnaura, Porphyra, Trikonkhos, Komilas, Sigma, Daphne, Musikos, Kenurgion, Khrysotriklinos, Mahturas vs. gibi büyük pavyonlardan oluşmaktaydı **(Eyice, 2006).** Daphne Sarayı, Büyük Saray'ın çekirdeği konumundaydı. Sarayın diğer bölümleri eğlenceler, gösteriler, hükümdarlık işleri, toplantılar ve çalışanlar içinken Daphne Sarayı hükümdarların ikamet ettikleri yerdi. Hükümdar, halka açık olan alanları geçtikten sonra "Golden Hand" Altın El olarak adlandırılan dar bir koridordan Daphne Sarayı'na geçerdi **(Matthews, 1995).** Büyük salonlar Daphne Sarayı'nın bir avlu etrafındaki odalarıyla bağlantılıydılar.

532 yılındaki Nika İsyanı'ndan zarar görünce 6. yy'da onarım geçirir ve 9. yy'da sarayın etrafı genişletilir. 11. yy'da saray kullanılmayacak durumda olunca yapı malzemeleri başka binaların yapımında kullanılır. Daha sonra yapılan kazılara göre burası çöplük alanı olarak kullanılmıştır. Sultan I. Ahmed 17. yy'da saraydan pavyonlar satın alıp bunun üzerine Sultan Ahmed Camisi'ni yaptırır. Saraydan günümüze kalan kısımlar evlerin altındaki mahzen kalıntıları iki katı birbirine bağlayan Akbıyık caddesindeki merdiven kulesi ve Ayasofya'nın apsis tarafının karşısında kalan kalıntılardır **(Müller-Wiener, 1977; Eyice, 2006).**

Sultan Ahmed Camii arastasındaki mozaik döşemeler Daphne Sarayı'na aittir. Büyük Saray denize dik bir yamaçta kurulduğu için üç ana teras olarak yapılmıştır. Birinci terasta ana yerleşim mekânları, ikinci terasta büyük bahçeler, pavyonlar, oyun sahaları; üçüncü terasta ise III. Teodosios'un yaptırdığı Bukoleon Sarayı ve limanlar yer almaktadır **(Kuban, 2004).** Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'de bu çalışmada incelenecek örneklerin alındığı yerler gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Planda D11 (Büyük Saray derz harcı) ve D12 (Büyük Saray çekirdek harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler, **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**



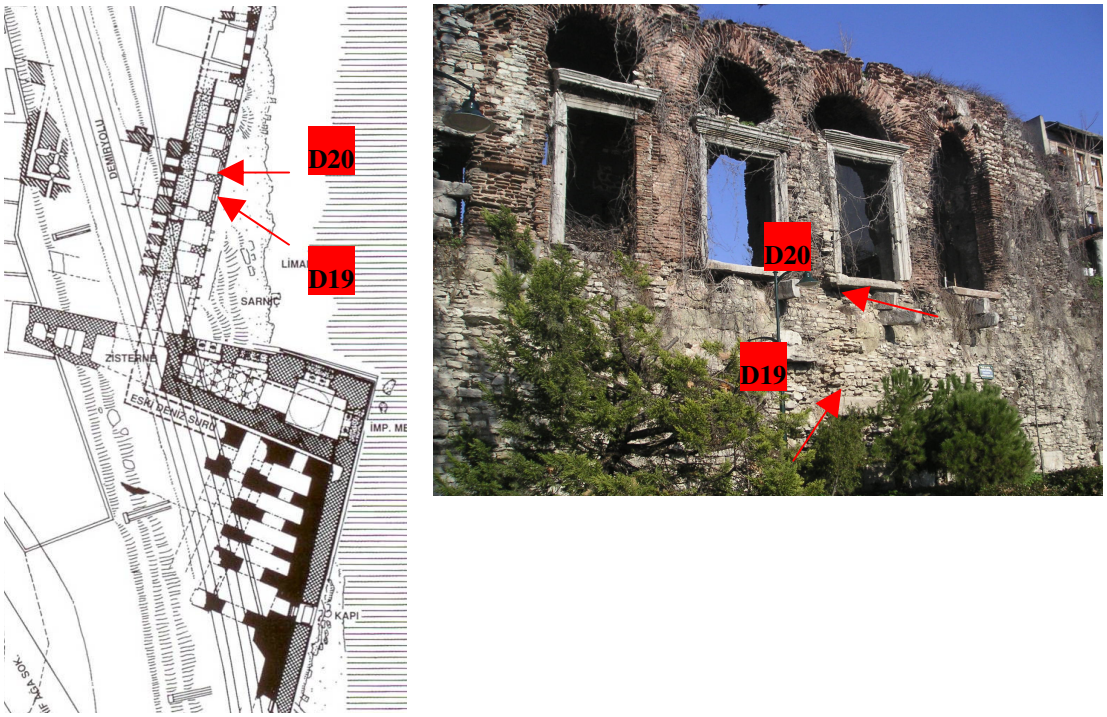
Şekil 2.2: D11 (Büyük Saray derz harcı) ve D12 (Büyük Saray çekirdek harcı) numaralı harç örneği alınan yerler



Şekil 2.3: D12 numaralı Büyük Saray çekirdek harcı alınan nokta

2.1.2 Bukoleon Sarayı

Bukoleon Sarayı, Büyük Saray'ın üçüncü terasında, deniz kenarında yer almaktaydı. Adını, Büyük Saray'ın doğusunda bir boğanın aslanı parçaladığı heykelden alır; aynı zamanda Hormisdas Sarayı olarak anılır **(Millingen, 1899; Eyice, 2006).** Justinian'ın tahta çıkmasından sonra, 527 yılında Hormisdas Sarayı'nın karakteri tümüyle değişti, hükümdarların konakladıkları asil ve özel bir yer haline getirilmiştir. Saray tekrar tasarlandıktan sonra Büyük Saray'a bağlandı **(Mathews, 1995; Procopius, 1961).** Bukoleon Sarayı, ikili bir saraydı; merdivenlerle çıkılan Faros terası, Altın Salon önünde, deniz feneri de bugünkü Çatladı Kapı civarında sarayın güneydoğu ucundaydı **(Kuban, 2004).** Yapı, kemerli ve tonozlu mekânlardan oluşmaktaydı. Mermer pencere söveli olan bu yapının kalıntıları bugün deniz kenarında, Marmara Surları üzerindedir **(Eyice, 2006).** Latin işgalinden sonra, Latinler burayı konut olarak kullanırlar. Palailogos'lar döneminde burası da terk edilir, 1453 yılında yerleşim alanı olur. 1870 demiryolu yapımında zarar görür, 1912 yılında güçlendirme çalışmaları başlar fakat henüz bir onarım yapılmamış haldedir **(Müller-Wiener, 1977).** Şekil 2.4'te incelen D19 ve D20 numaralı örneklerin alındığı yerler gösterilmiştir.



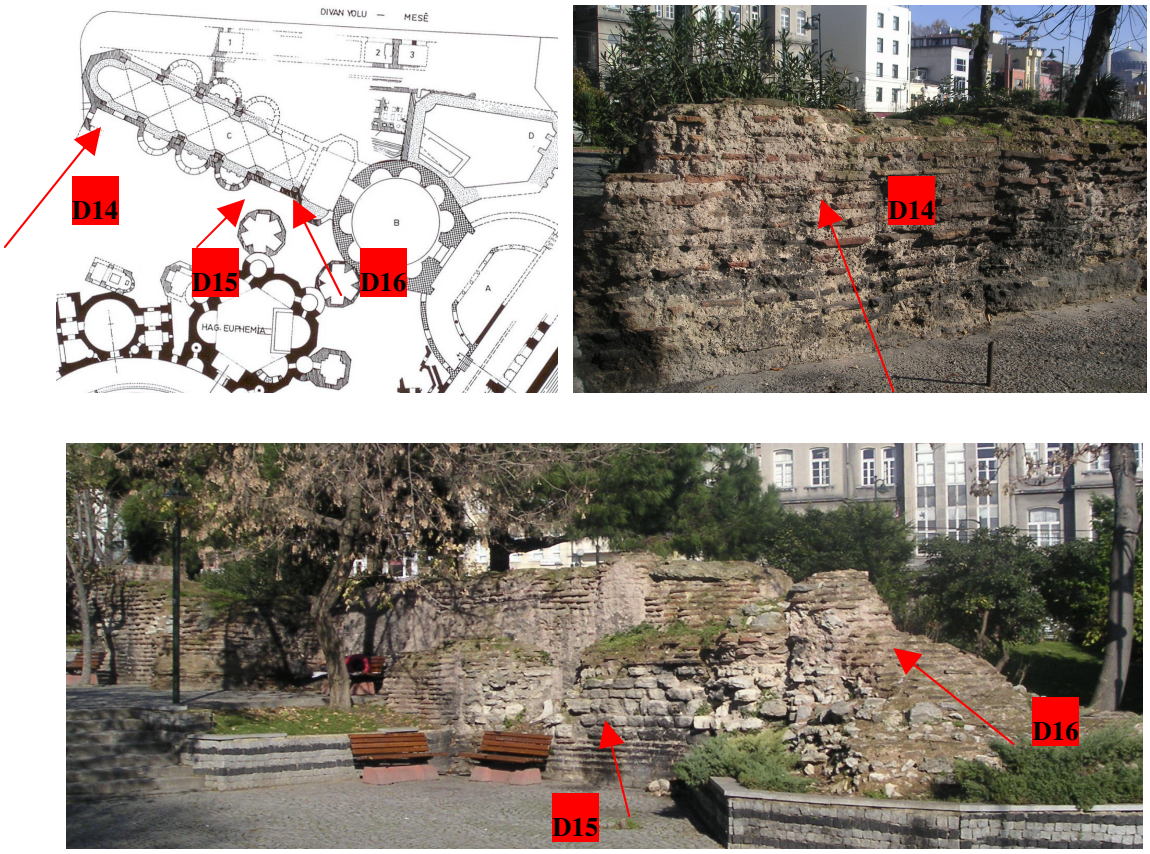
Şekil 2.4: D19 (Bukoleon Sarayı derz harcı) ve D20 (Bukoleon Sarayı çekirdek harcı) numaralı harç örneği alınan yerler, **(Plan, Müller-Wiener, 1977).**

2.1.3 Lausos Sarayı

Saray Mese'de Hipodrom ve Euphemia Kilisesi'nin yakınında yer alır. Yapı, o dönemde dairesel formlara olan düşkünlükle yarım daire formunda kolonadlı bir giriş ve yarım daire nişleri olan uzun bir koridor şeklinde inşa edilmiştir. On köşeli, nişli büyük salon daha sonra eklenmiştir **(Kuban, 2004).**

Yapım tekniği kesme taşlı ve beş sıralı tuğla bantlardan oluşmaktadır. İkinci yapım aşamasında apsisler, tuğla ve kesme taşlardan oluşmuştur. 5.-6. yy'da çıkan yangından zarar görüp 476 yılında yıkılıp yeniden inşaa edilir ve konut olarak kullanılır. 7. yy'da zarar gören yuvarlak yapının kalıntıları sağlam tuğla duvarlarla sarnıca çevrilir ve 18. yy.'a kadar kullanılır **(Müller-Wiener, 1977).**

Antiochus ve Lausos Sarayı kalıntıları 1952 Adliye Sarayı yapımı ve 1963 yılındaki yol çalışmalarıyla ortaya çıkartılır **(Eyice, 2006).** Şekil 2.5'de yapının günümüze ulaşan kalıntılarından alınan örnekler işaret edilmektedir.



Şekil 2.5: D14 (Lausos S. derz harcı), D15 (derz harcı) ve D16 (Lausos S. çekirdek harcı) numaralı harç örneği alınan yerler, **(Plan, Müller-Wiener, 1977).**

2.2 Dini Yapılar

Constantinus, İstanbul'u bir Hristiyanlık başkenti yapmak istiyordu. Bunun sonucunda 337 yılında kilise ve imparatorluk gücü birbiriyle ilişkili hale gelmiştir. Kenti hristiyanlaştırmak için en uygun mekân biçimi Roma bazilikasıydı. Kilisenin, kitleleri etkileyebilmesi için din adamlarının şehit olması ve Hz. İsa'yla ilgili bilgilerin anlatıldığı ikinci bir dinsel yapı grubu olan "martyrion"lar da yapılmıştır **(Kuban, 2004).**

2.2.1 Ayasofya

Şu anki Ayasofya'nın bulunduğu yerde ilk olarak I.Constantinus tarafından yapımı başlanan, II. Constantinus tarafından tamamlanan yapı yangınlar ve isyanlar dolayısıyla yıkılır. Nika İsyanı'nda (6.yy) tamamen yıkılan kilisenin kalıntıları tesviye olarak kullanılıp, I.İustinianus'un Anthemios ve İsidoras'a hazırlattığı merkezi plan tipi ve bazilika planının birleşimi olan kubbeli bazilika planlar sistemiyle yapılır **(Müller-Wiener, 1977).** Yapı; 32 metre çapında, dört büyük payenin taşıdığı ana kubbe, kubbeyi destekleyen yarım kubbeler, yarım kubbelerin dışındaki kenarlarda da basık kemerler ve köşelerde pandantiflerle desteklenmiştir. Kubbenin çevresinde iki katlı yan nefler, dış narteks, iç narteks ve narteksteki galeri vardır.

Yapının malzemelerini; yerel taşlar, tuğlalar, Marmara mermeri ve Zeus Tapınağı'ndan, Mısır'dan getirilmiş sütunlar oluşturmuştur. Yapı 5 yılda tamamlanmıştır **(Müller-Wiener, 1977).** 557 yılındaki depremden sonra kubbesi basık olması ve kemerlerle desteklenmiş yan neflerin de yan kubbeyle desteklenmemesi nedeniyle çöker. Bu depremden sonra eskisine oranla 6 – 7 metre daha yüksek, pandantifler üzerinde yeni kemerlerle desteklenerek yeni kubbe yapılır **(Eyice, 2006; Ahunbay, 2005).** Yapı farklı dönemlerde mozaiklerle süslenmiştir. Bezemeler, oymalar, kaplamalar, altın, gümüş kullanımı yapıyı zenginleştirmiştir. Bezemeler her dönemde üstünün badana yapılıp kapatılması, sonra tekrar temizlenmesi gibi evreler geçirmiştir **(Eyice, 2006).**

989 yılındaki depremden sonra batıdaki kubbe kemeri ve kubbenin bir parçası düşer. Yapılan onarımda batı yarım kubbesi ve kemeri yeniden yapılır. Yapı 1203 yangınında zarar gördükten hemen sonra 1204 yılında Latinlerin eline geçmesiyle

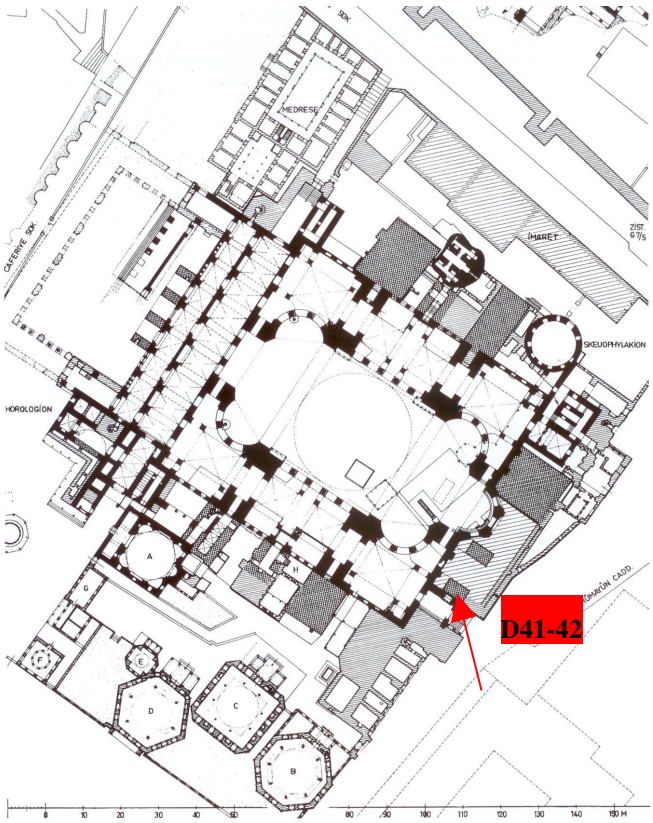
yağmalanır ve değişiklikler geçirir, 1261 yılında tekrar Bizanslıların eline geçer. 13. yy. sonu ile 14. yy. başında II. Andronikos yapıya uzun yönde payandalar yaptırır. 1343 yılındaki depremde yapıda çatlaklar oluşur, 1346'da kubbenin üçte biri ve doğudaki yarım kubbe çöker. Yapı 1353 yılına kadar yine restorasyon çalışması geçirir **(Müller-Wiener, 1977).**

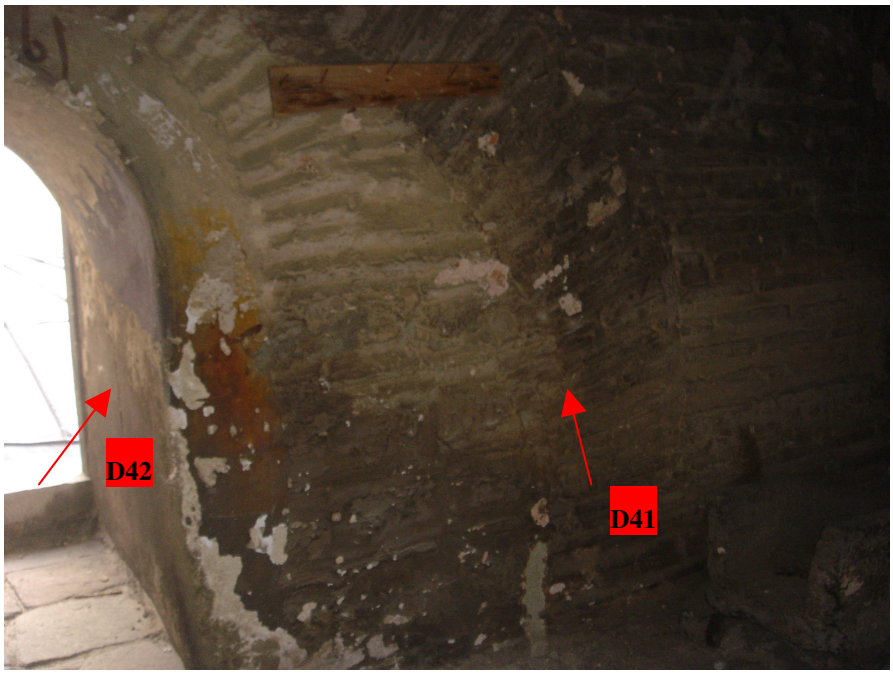
1453 yılında burası dualarla kentin ana camisi olarak kabul edilir. Çeşitli onarımlar geçiren yapı, Osmanlıların eline geçmesiyle mozaiklerin üstü kapatılır. Güneybatı tarafına bir minare eklenir. II. Beyazıt zamanında kuzeydoğu köşesine ikinci minare eklenir. 16. yy'ın ikinci yarısında Mimar Sinan yapıyı onarır, eski minareler II. Selim tarafından yıktırılıp, yenileri yapılır. Yapı 17. yy.da onarımlar geçirirken 1802 yılı depreminden zarar görüp 1809–1846 yıllarında da onarımlar geçirir. Sultan Abdülmecid zamanında yapının içindeki çatlakların fazla olması sebebiyle İsviçre'li mimarlar Guspare ve Fossati tarafından yine onarım geçirir. Kubbedeki yarıklar ve payandalar onarılır. Kubbe demir kuşaklarla takviye edilir, sütunlar düzeltilir. Osmanlılar yapıya şadırvan, sıbyan mektebi gibi birçok ekler yaparlar. 1935 yılında caminin müzeye devredilmesiyle yine onarım çalışmaları yapılır **(Müller-Wiener, 1977).**

Ayasofya'da uygulanan yapım teknikleri, surlarda ve büyük bazilikalarda da görülen Roma yapım tekniğidir. Ayasofya'da o güne kadar ilk defa büyük bir orta nefin kubbeyle örtülmesi görülmüştür, diğer yapılarda böyle bir uygulama yapılmamıştır. Pandantif kullanılması da ilk defa Aya Sofya'da görülmüştür ve 6. yy.dan sonra kare mekândan dairesel forma geçmenin klasik bir yöntemi olarak uygulanmıştır **(Ahunbay; 2005).** Ayasofya'dan alınan örnek yerleri ve numaraları Şekil 2.6 ve 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6: D41 (Ayasofya derz harcı) ve D42 (Ayasofya sıva harcı) numaralı örneklerin alındığı yer





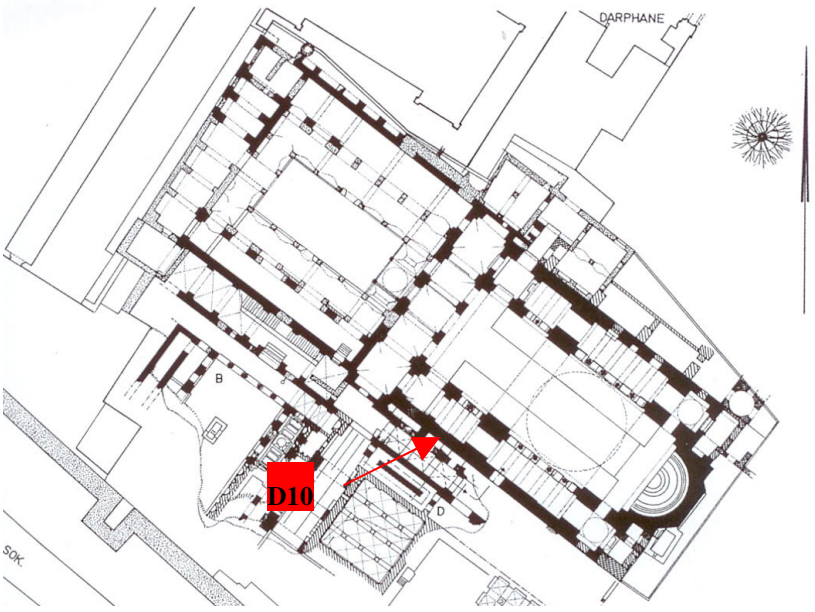
Şekil 2.7: Planda ve fotoğrafta D41 (Ayasofya derz harcı) ve D42 (Ayasofya sıva harcı) numaralı örneklerin alındığı noktalar, **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**

2.2.2 Aya İrini

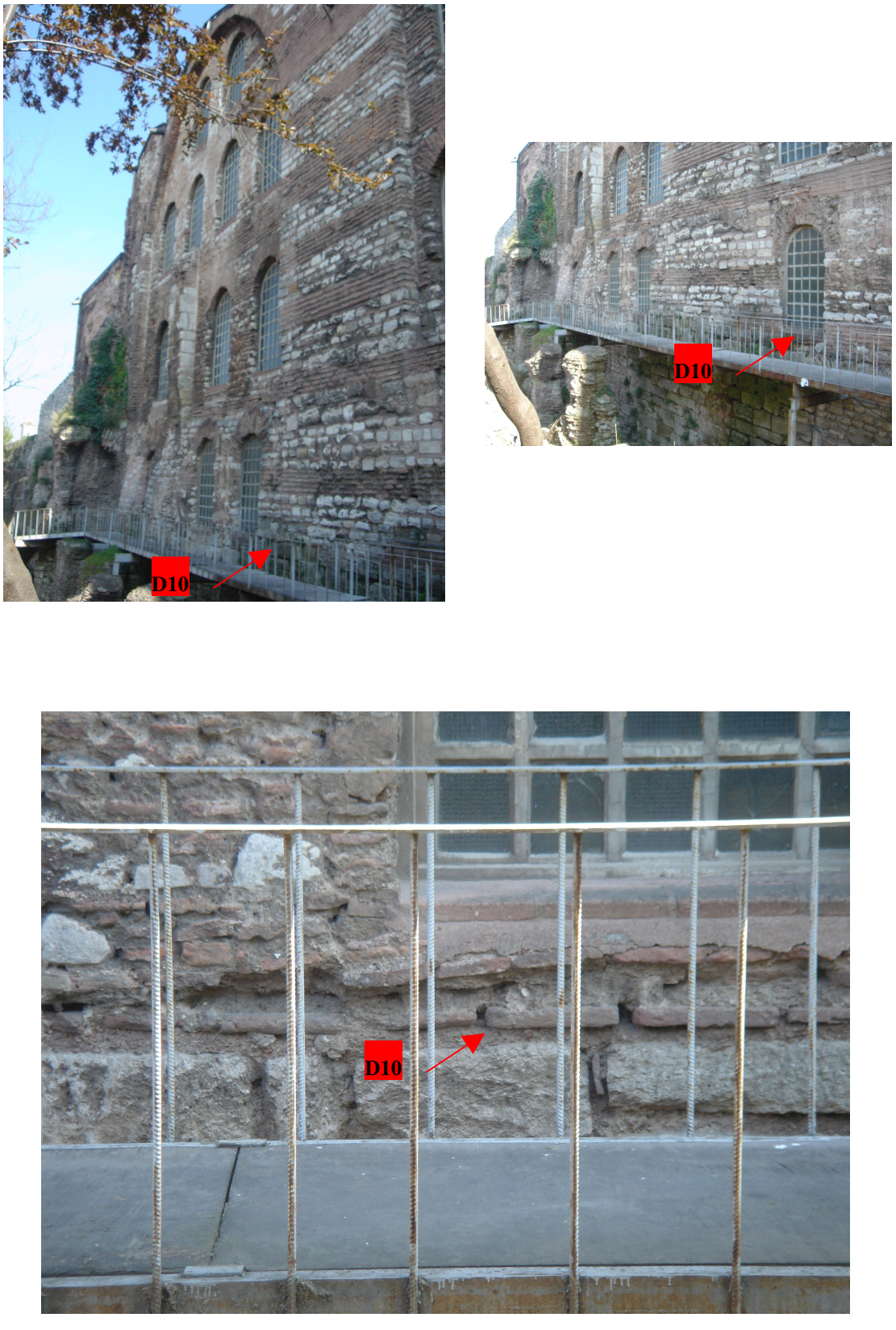
Ayasofya'nın yapımından önce şimdiki Aya İrini'nin bulunduğu kısımda yapım şeması bilinmeyen, kentin en önemli kilisesi ve Byzantion'daki ilk Hristiyan kilisesi olan yapı Nika İsyanında zarar görür. İustinianus tarafından 532 yılında iki katlı narteks, iki katlı atriumlu, 3 nefli kubbeli bazilika olarak daha büyükçe inşaa edilir. Yapım tekniği olarak kesme taş ve tuğla düzen uygulanmıştır. 563 yılındaki yangında ve 740 yılı depreminde zarar görüp, V. Constantin tarafından restore edilir. 11–12. yy.larda yapının yan kısımlarına ekler yapılır.

1464 yılında Topkapı Sarayı avlusuna dâhil edilir ve silahhane olarak kullanılır. 1800 yılında tekrar onarım geçirir ve 1839–1861 yıllarında müze olur. 1973–1974 yıllarında kilisede sağlamlaştırma çalışmaları başlar **(Millingen, 1912; Müller-Wiener, 1977).**

Yapım şeması olarak 32 x 57 metre dikdörtgen planlı, iki kubbeli, apsis tarafındaki kubbesi dört paye ile taşınan bir yapıdır. Yan neflerin üzeri tonozlarla örtülüdür. Birinci kubbe kemerlerle taşınan bir kasnağa otururken, diğeri kasnaksız ve basıktır. Apsisin üstü yarım kubbeyle örtülüdür. Şekil 2.8 ve 2.9'da D10 numaralı derz harcı örneğinin alındığı yerler plan ve fotoğraflarla gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Planda D10 numaralı Aya İrini derz harcı örneğinin alındığı yer, **(Plan, Müller-Wiener, 1977).**

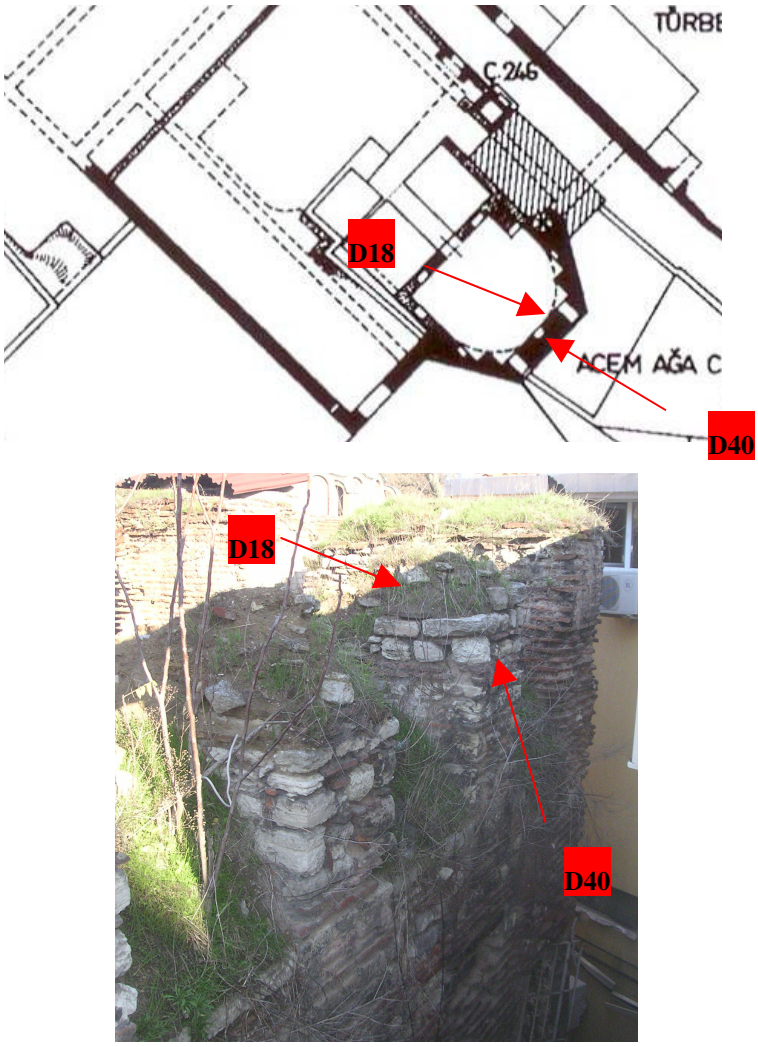


Şekil 2.9: D10 (Aya İrini derz harcı) numaralı harç örneği alınan yer

2.2.3 Acem Ağa Mescidi (Theotokos Khalkoprateia Kilisesi)

Ayasofya'nın batısında 5. yy.ın ortasında II. Teodosios'un kız kardeşi ve Markianos'un eşi tarafından yapılan yapı yıkılır, I.Leon'un eşi tarafından yenilenir. Yapı tuğla örgülü, çok köşeli apsisi, narteksi ve atriumuyla galerili bazilikadır. Aya İrini ve Ayasofya yapılırken patrikhane kilisesi olarak kullanılır ve 6.yy.da tekrar onarılır.

13.yy.ın sonu–14.yy. başında kilise tekrar onarımdan geçer. 1484 yılında Lala Hayreddin tarafından camiye çevrilir. 1755'teki yangında ve 1808–1826 yeniçeri ayaklanmasından zarar görür. 1912 yılındaki kazılarda yapı öğeleri, narteks, tavan kirişleri, kubbeye ait parçalar bulunur **(Müller-Wiener, 1977).** Şekil 2.10'da yapıdan alınan örneklerin yerleri gösterilmiştir.

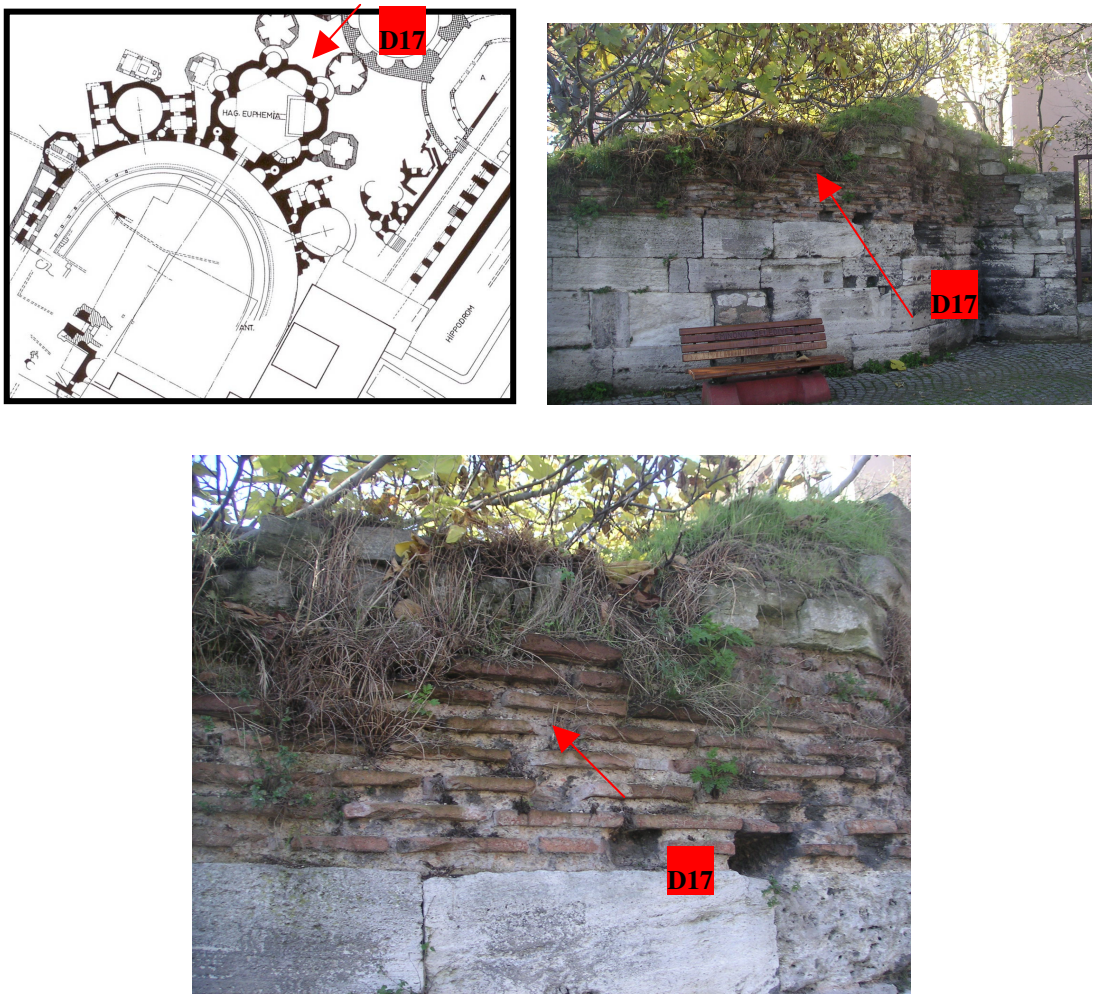


Şekil 2.10: Acem Ağa Mescidi D18 (çekirdek harcı) ve D40 (derz harcı) numaralı harç örneği alınan yerler **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**

2.2.4 Euphemia Kilisesi

416–418 yıllarında Hipodrom'un batısında yarı yuvarlak sütunlu giriş ve dört farklı büyüklükte bölümleriyle merkezi planlı olarak yapılır. 515–528 yıllarında I. İustinous tarafından Azize Euphemia Kilisesi'ne dönüştürülür. Bir dönem silah deposu ve ahır olarak kullanılır. 8.yy.ın ikinci yarısında kiliseye bir templon eklenip boyanır. 1203 yılındaki yangından zarar görür, aynı dönem bir mezar nişi de yapılır.

1522 yılında İbrahim Paşa kendisine saray yaptırırken kilisenin kalıntıları yıkılır. 19.-20 yy.da çevreye yapılan evler ve hapishane çökme tehlikesinde olunca bu yapılar yıkılır böylece kilisenin kalıntıları ortaya çıkar **(Müller-Wiener, 1977).** 1941 yılındaki kazılarda bugünkü Adliye Sarayı'nın duvar dibinde bulunmuştur **(Eyice, 2006).** Yapıdan alınan örnek yeri Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11: D17 numaralı Euphemia Kilisesi derz harcı örneğinin alındığı yer **(Plan, Müller-Wiener, 1977).**

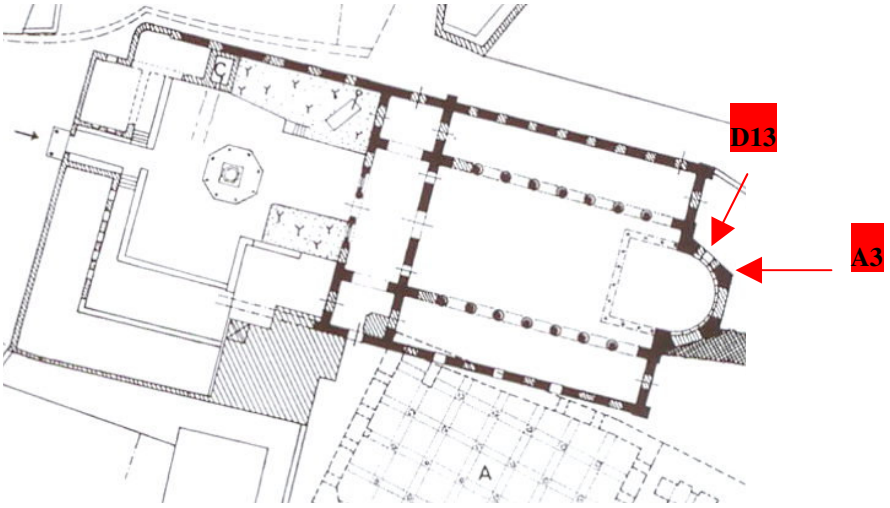
2.2.5 Studios Manastırı (İmrahor Camii)

Yapı, 453–454 yıllarında üç nefli, galerili, çok kenarlı, apsisli bazilika olarak yapılır. Orta nef 12,7 metre, yan nefler 4,6 metre genişliğindedir ve narteksi üç kısımlıdır. 798–826 yıllarında baş rahip Theodor Studites tarafından önem kazanır. I. İsaaikos Komnenos ve Mikhail VII. Dukas tahttan inince buraya çekilirler ve kiliseyi güzelleştirirler, 1200'lü yıllarda yapı çökme durumuna gelince terk edilir ve çevresi otlağa dönüşür.

1293 yılında Paloiologoslar tarafından üst örtü onarılır ve manastır kalın duvarlarla çevrelenir. İstanbul'un fethinden sonra kapatılıp, taş ocağı olarak kullanılır **(Müller-Wiener, 1977).** II. Beyazıt döneminde İmrahor İlyas Bey tarafından camiye çevrilir **(Eyice, 2006).**

1820 yangınında zarar görünce sütunları ahşap desteklerle değiştirilir. 1908-1909 yıllarında çatısı çöker ve tekrar onarılmaz. 1920 yangınında tümüyle harap olur **(Eyice, 2006; Müller-Wiener, 1977).**

Yapı kesme taşlarla ve tuğla hatıllarla yapılmıştır. Apsisi iç mekândan yarım daire, dışarıdan ise çokgen biçimlidir. Narteksin orta bölümü üçlü kolonadlarla apsise açılır. Tabanları hayvan figürlü mozaiklerle kaplıdır. Anıtsal sütunları, kapı söveleri, bezemeleriyle çok zengindir **(Kuban, 2004).** Şekil 2.12 ve 2.13'te yapıdan alınan örnek yerleri görülmektedir.



Şekil 2.12: Planda Studios Manastırı A3 (çekirdek harcı) ve D13 (derz harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler **(Plan, Müller-Wiener, 1977).**

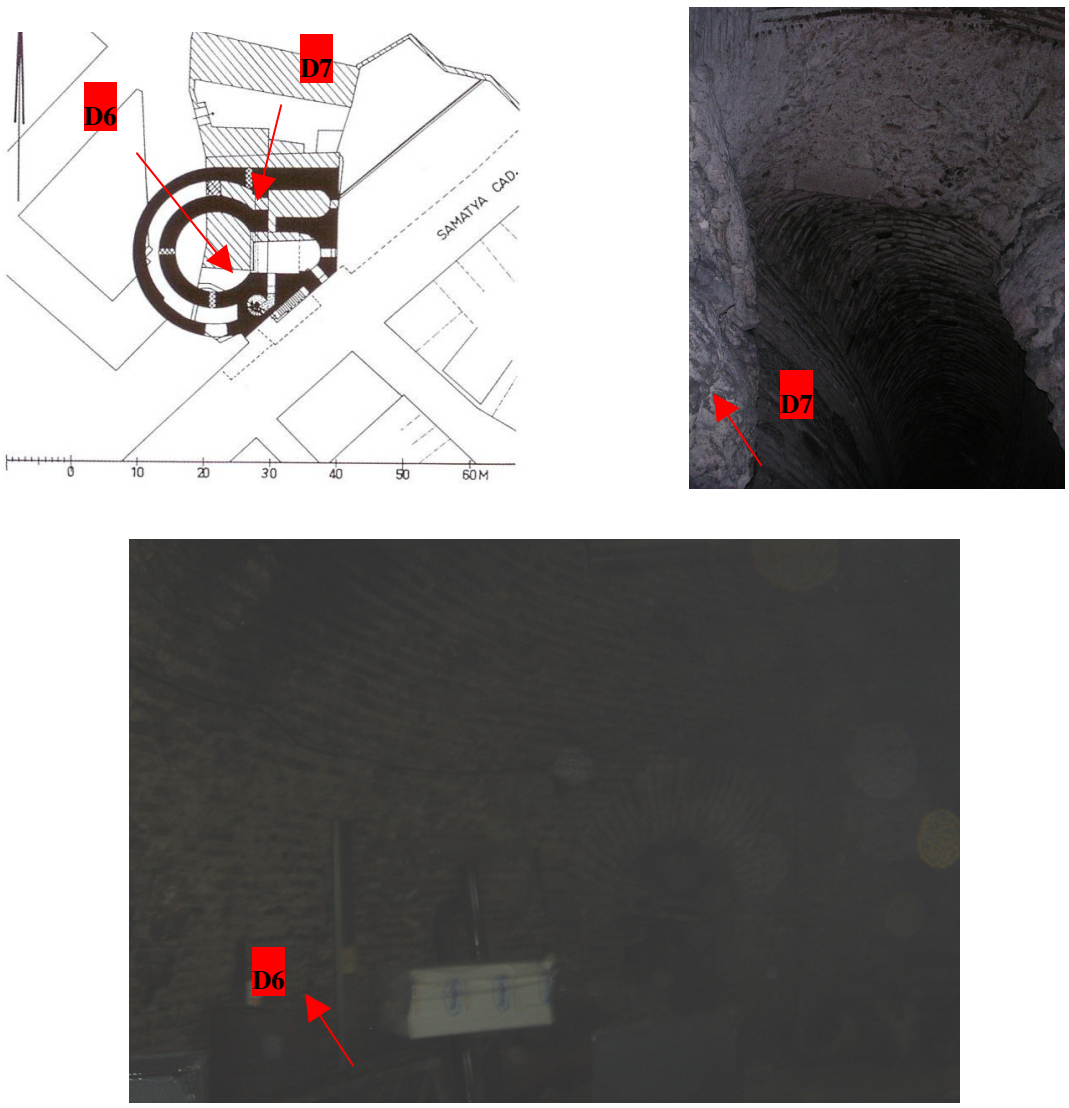


Şekil 2.13: A3 (Studios Manastırı çekirdek harcı)ve D13 (Studios Manastırı derz harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler

2.2.6 Karpos-Papylos Martyrionu

4–5. yy'da İmparatoriçe Helena tarafından kilise biçimli manastır olarak Karpos ve Papylos'a adanarak yapılmıştır. Manastır şekil bakımından doğuda apsisli, 12 metre çapında ana kubbe ile kaplı galerileri beşik tonozlu olan bir yapıdır. Yapı bugüne ulaşan merkezi planlı tek manastırdır **(Mango, 1976; Eyice, 2006).**

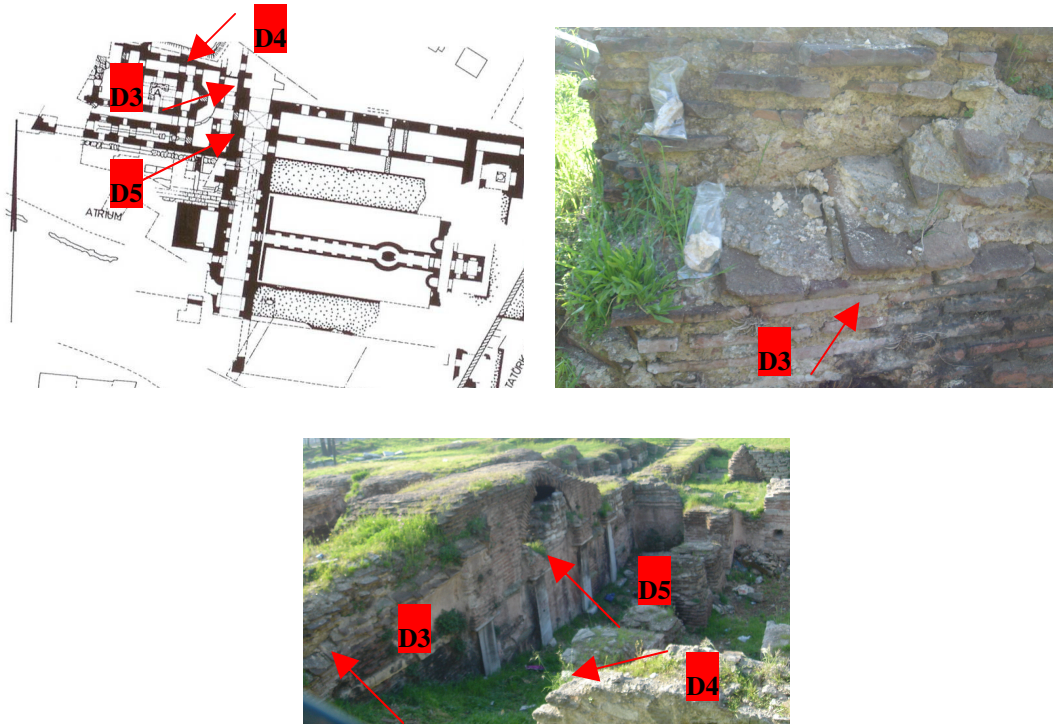
1782 yılında Samatya yangınından, 1955 yılında da çeşitli nedenlerle zararlar görür ve onarılır **(Eyice, 2006).** 19. yy'da Martyrion'un üzerine Hagios Menas kilisesi yapılır. Aşağıdaki şekillerde çalışmada incelenen yapıya ait örnek yerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Karpos Papylos Martyrionu D6 (derz harcı) ve D7 (çekirdek harcı) numaralı harç örneği alınan yerler **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**

2.2.7 Hagios Polyeuktos

524–527 yıllarında Forum Tauris'den Havariyyun kilisesine giden ana caddede Aziz Polyeuktos'a adanan kilise III. Valentinianus'un yeğeni Anicia Juliana tarafından yaptırılır. Tüm yapı ortalama 26 x 52 m. boyutlarındaki batıdaki atrium, daha yüksek kottaki giriş, kuzeyde küçük apsisli yapı (vaftizhane, martyrion) ve dışardan 52 x 58 m. büyüklüğündeki asıl mekândan oluşur. Bu mekânın narteksi atrium seviyesinden 5 m. daha yüksektir ve merdivenle ulaşılır. Yapı Marmara Adası'ndan getirilmiş ve işlenmiş mermerler, kabartmalar, mozaik ve taş kakmalarla çok zengindir. Günümüze ise temelleri ve kubbeli mahzenleri kalabilmiştir. Bu mahzenler 7.yy.da molozla doldurulmuştur.10.yy. ve 11.yy.da kilise harap durumdadır. 12.yy.da ise atrium yağma edilir, kuzeydeki yapı sarnıca dönüştürülür. 13.yy.da Latin işgalinde yapı tümüyle yağmalanıp parçaları Venedik'te San Marco katedralinin inşasında kullanılır. Diğer yapı parçaları da İstanbul'da yapılan yeni yapılarda devşirme olarak kullanılır **(Müller-Wiener, 1977).** 1912 yılında yapının sütun başlıkları, 1960 yılındaki yol çalışmalarında bezemeli yapı elemanları, 1964–71 yıllarındaki kazılarda ise yapı kalıntıları ortaya çıkmıştır **(Ahunbay, 1998).** Şekil 2.15'de yapıdan alınan örnek yerleri görülmektedir.



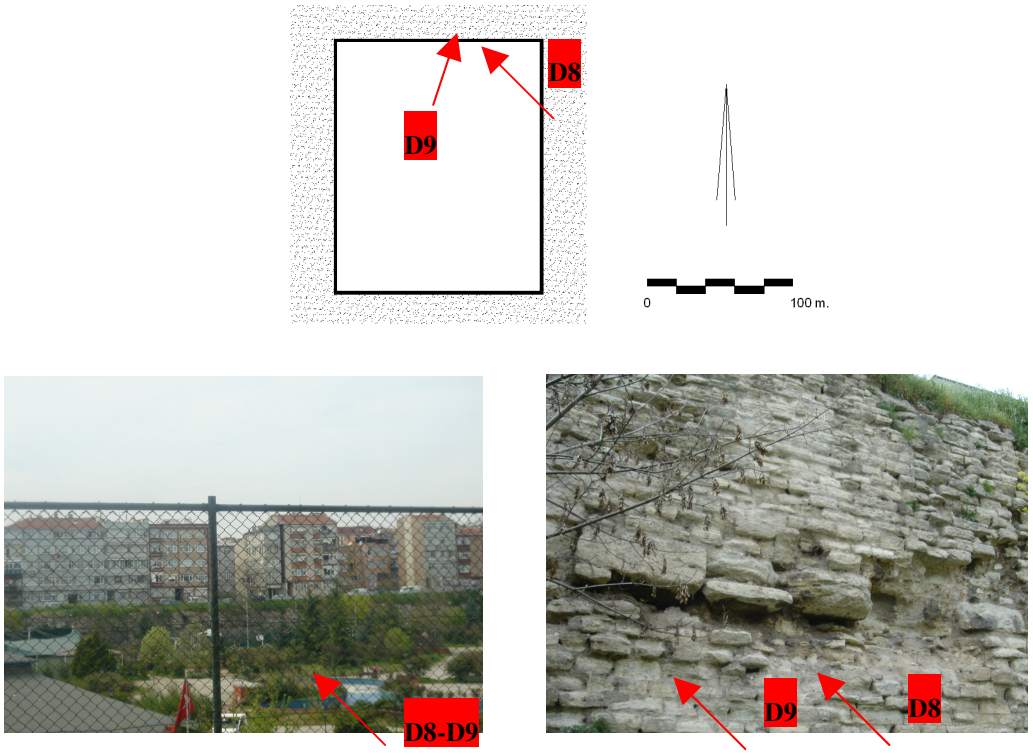
Şekil 2.15: D3 (çekirdek), D4 (çekirdek) ve D5 (derz) numaralı harç örneği alınan yerler **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**

2.3 Su Yapıları

Roma şehirlerinde akarsu yoktu ve su kısıtlıydı, fakat kemer ve tonoz işçiliğinde başarılı olan Romalılar şehirlere su getirmeyi ve depolamayı başarmışlardır **(Anabolu, 2001).** İstanbul'daki Erken Bizans Dönemi su yapılarından olan Yerebatan ve Binbirdirek Sarnıcı'ndan örnek alınamadığı için bu çalışma kapsamında incelenememiştir.

2.3.1 Hagios Mokios Sarnıcı

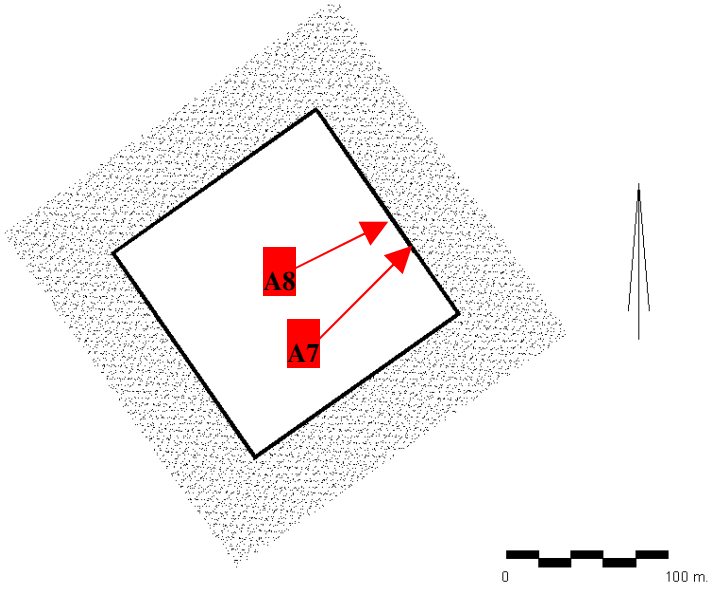
İmparator I. Anastasios tarafından yapılmış olan sarnıç adını da yakınındaki Ayios Mokios Klisesi'nden almıştır **(Kuban, 2004).** Bugün Altımermer Çukurbostanı olarak bilinen sarnıç 140 x 170 x 15 m ölçülerine sahiptir **(Eyice, 2006).** Herakleios, suda boğulacağı kehanetinden korkarak şehirdeki bazı sarnıçları doldurtmuş, fakat I.Basileios tarafından temizlenip tekrar kullanılmıştır **(Kuban, 2004).** Sarnıcı kuşatan tuğla hatıllı taş duvarlarda iki kalın silme yer almaktadır. Bir dönem bostan olarak kullanılan bu sarnıçta bugün bir kuyu yer almaktadır. Hagios Mokios sarnıcından alınan örnek yerleri Şekil 2.16'da gösterilmiştir.

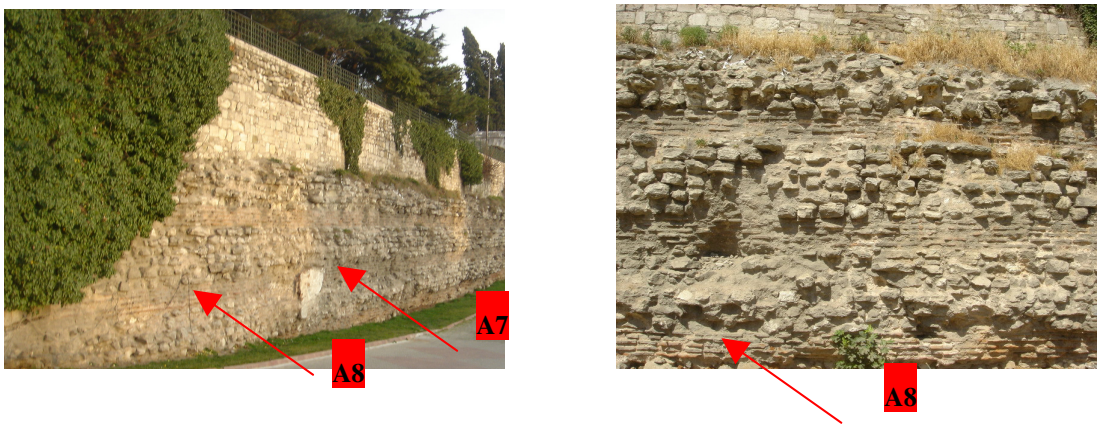


Şekil 2.16: Hagios Mokios Sarnıcı D8 (çekirdek harcı) ve D9 (derz harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler

2.3.2 Aspar Su Sarnıcı

Ünlü bir komutan olan Flavius Ardaburius Aspar ve oğulları tarafından 459 yılında yapılan sarnıç 152 x 152 x 11 metre boyutlarında tuğla hatıllı kesme taş örgü tekniğiyle yapılmıştır. Sarnıç 230-250 bin metreküp su almaktadır **(Kuban, 2004; Müller-Wiener, 1977).** 16. yy'da Sultan Selim Camii'si yapılırken bu sarnıç kuru durumdadır **(Müller-Wiener, 1977).** Şu an park olarak kullanılan sarnıçtan alınan A8 ve A7 numaralı örneklerin alındığı yerler Şekil 2.17'de verilmiştir.

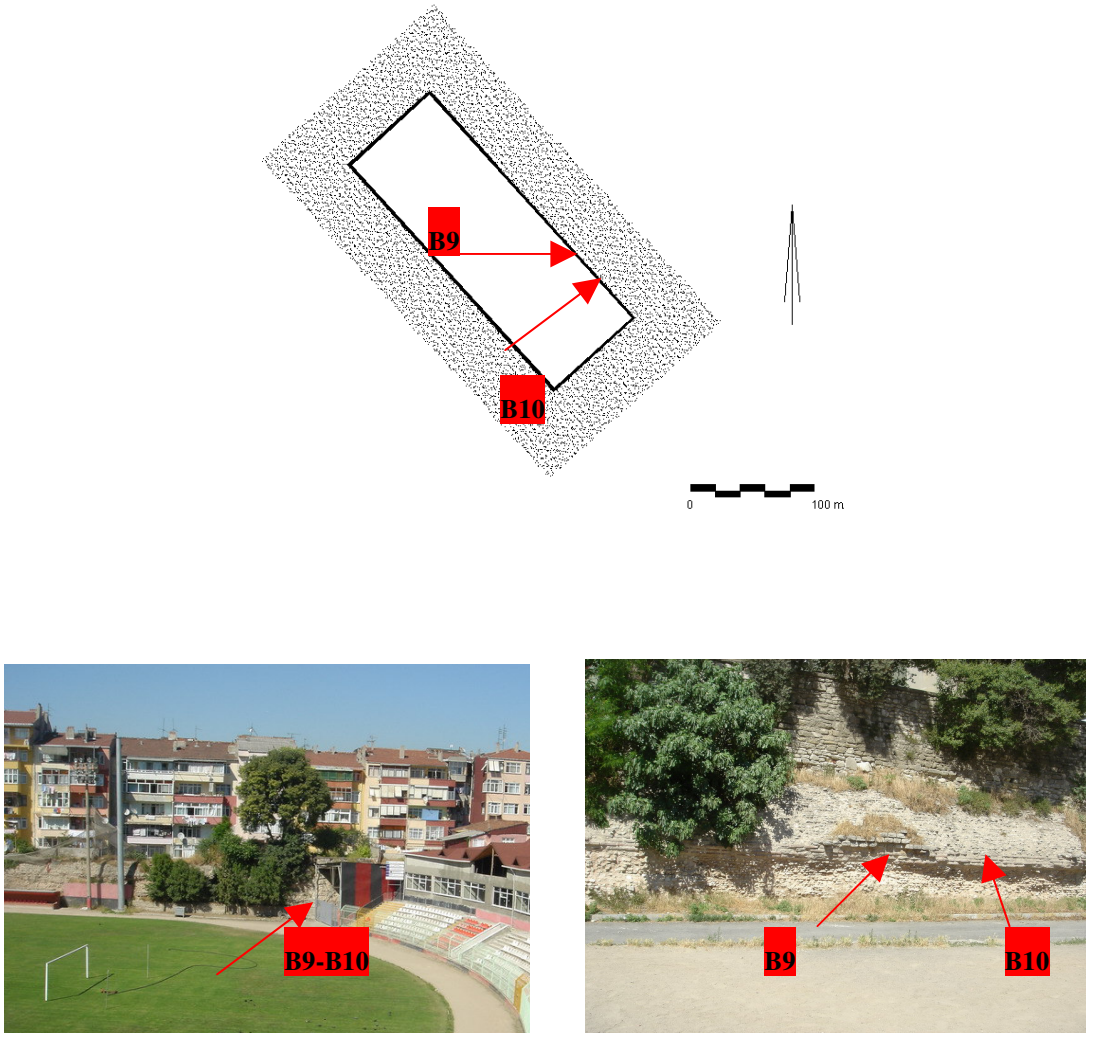




Şekil 2.17: A8 (Aspar Su Sarnıcı derz harcı) ve A7 (Aspar Su Sarnıcı çekirdek harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler

2.3.3 Aetios Su Sarnıcı

421 yılında Valentiniaus dönemi komutanlarından Aetius tarafından yapılmıştır **(Kuban, 2004).** Sarnıcın ölçüleri 244 x 85 x 15 metredir. Su kapasitesi 250-300 bin metreküptür ve suyu Valens Su Kemeri'nden sağlanır. Edirnekapı'ya (Kharsios Kapısı) 300 metre uzaklıkta olan ve şehre su sağlayan sarnıç 16. yy'da kullanılmayıp bostan olarak işlev görmüştür. 1962 yılında da genişletilip futbol sahasına dönüştürülmüştür **(Müller-Wiener, 1977).** Bugünkü Vefa Stadyumu olan sarnıçtan alınan örnek yerleri Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



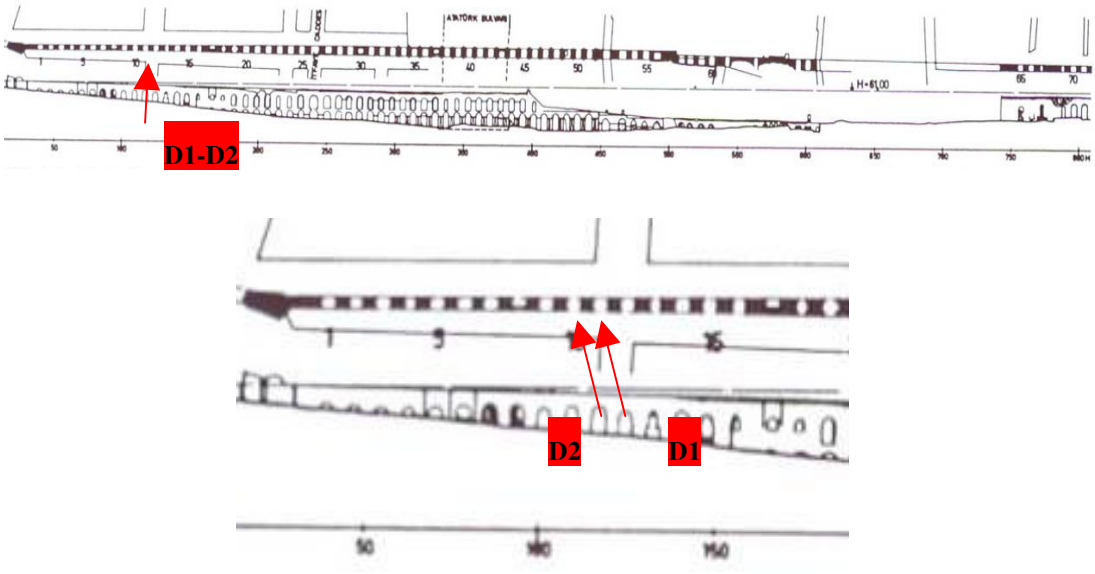
Şekil 2.18: B9 (Aetios Su Sarnıcı çekirdek harcı) ve B10 (Aetios Su Sarnıcı derz harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler

2.3.4 Valens Su Kemeri

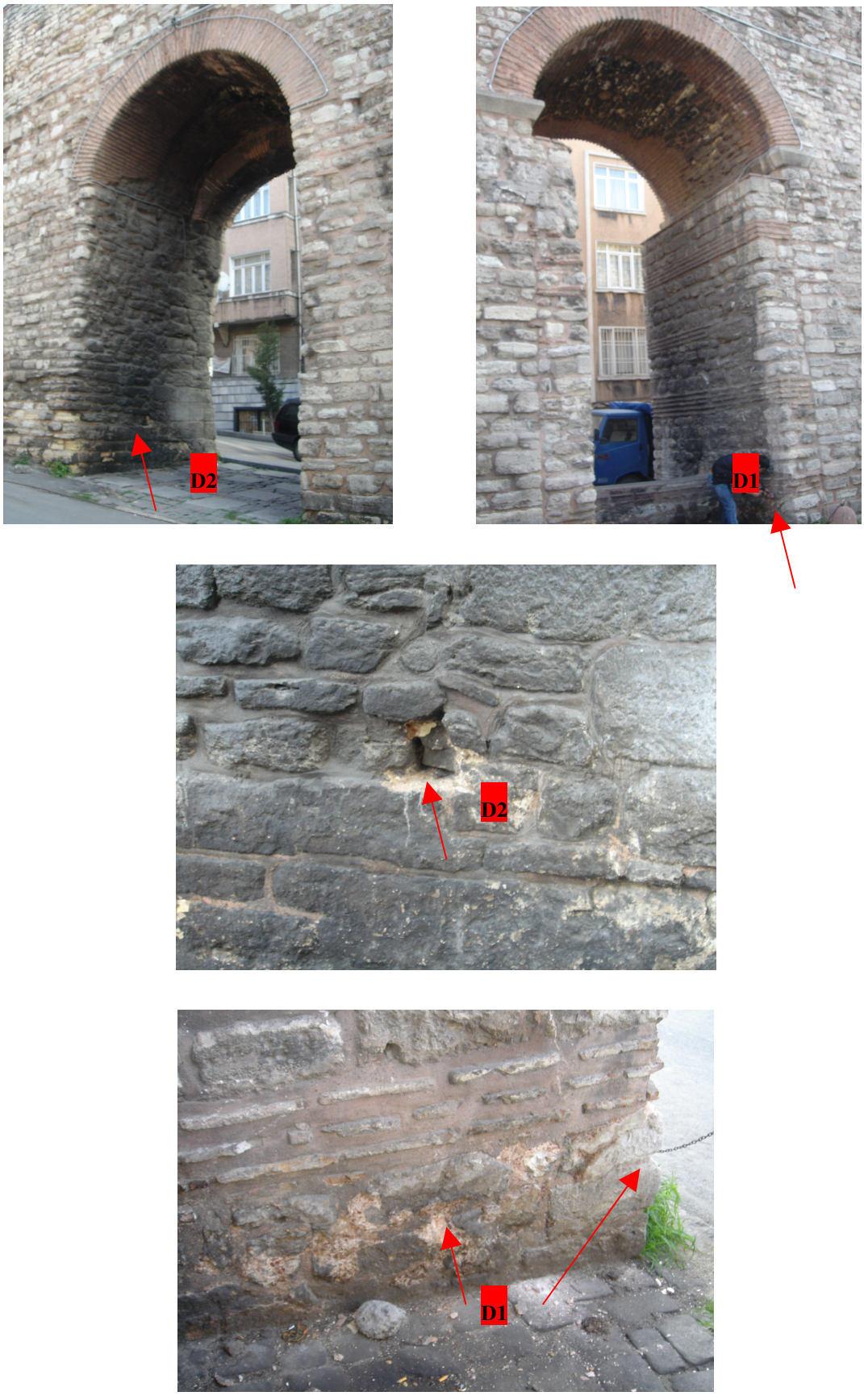
368–373 yılında Valentiniaus yönetimiyle kaba kesme taşlardan, kemerli örme tekniğiyle yapılmıştır. Su kemeri 971 metre uzunluğunda 28–29 metre yüksekliğinde, tek katlı ve iki katlı olarak denizden 63,5 metre yükseklikte yapılmıştır. Su yolu Büyük Saray ve Topkapı Sarayı'nın su ihtiyacını karşılar. 1453 yılında su şebekesi onarılır. Valens su kemerinin 47. ve 51. kemerleri arasında eğik olarak örülmüş olan kısmının 16.yy. ortalarında yapıldığı düşünülür **(Müller-Wiener, 1977)**

Valens'te kemer açıklıkları 4,30–5,65 m. arasındadır, arazinin alçaldığı yerde iki katlı, başlangıç ve bitiminde bir katlıdır. Alttaki kemerler büyük taşlardan, üsttekiler ise küçük taşlar ve tuğlalardan yapılmıştır **(Ahunbay, 1998).** Deprem ve yangınlardan zarar gören yapı çok defa onarılmıştır. Yapının bugünkü zemin kotu orijinal değildir, temeli 4,5 metre aşağıdadır. Temel genişliği 5.56 m. olan yapının zemin kotu üzerindeki duvar genişliği 3.40 m.ye iner. 6.yy'da Avarların saldırısıyla su yolu tahrip edilmiştir, V. Constantin 767 yılında su kemerini onartmıştır.

Sinan zamanındaki yeni ana su kaynağı Belgrad Ormanı'ndan ana kapılarla kente, oradan Eğrikapı'dan Yedikule'ye geçerek Valens su kemerine gelmekte oradan da Topkapı Sarayı çevresindeki mahallelere dağıtılmaktaydı **(Kuban, 2004).** Şekil 2.19 ve 20'de yapıdan örnek alınan yerler gösterilmiştir.



Şekil 2.19: Planda Valens Su Kemeri D1 (derz harcı) ve D2 (çekirdek harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler **(Plan ve kesit, Müller-Wiener, 1977).**



Şekil 2.20: D1 (Valens Su Kemeri derz harcı) ve D2 (Valens Su Kemeri çekirdek harcı) numaralı harç örneği alınan yerler

2.4 Savunma Yapıları

Avrupa'nın korunmuş en uzun antik dönem savunma yapısı, İstanbul Kara Surlarıdır ve hendek, ön sur, beden duvarları olmak üzere üçlü savunma sistemli mimarisiyle yeni bir anlayış getirmiştir **(Ahunbay, 1998).** Bununla birlikte Marmara ve Haliç surları Kara surlarıyla birleşip şehri tehlikelere karşı kapatmıştır.

2.4.1 Kara Surları ve Kapılar

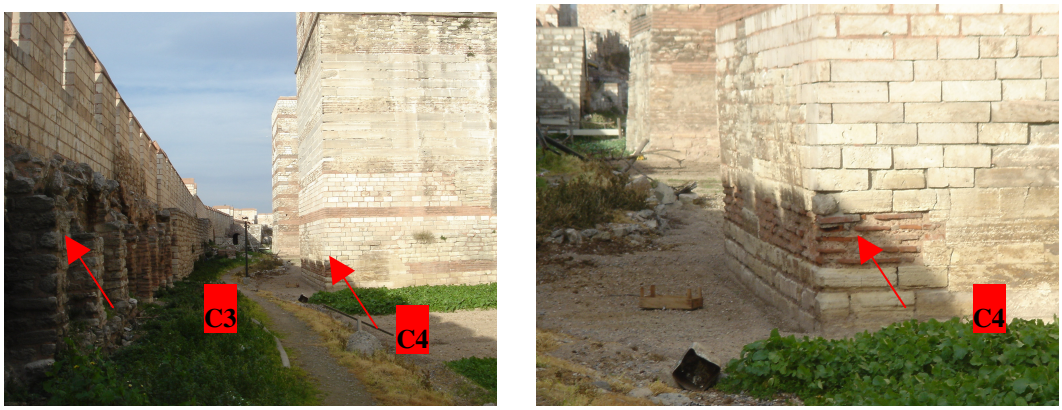
Marmara kıyısından başlayıp, Tekfur Sarayı'nda sona eren 19 km. uzunluğunda 1400 hektarlık alanı kaplayan surlar 410–442 yıllarında yapılmıştır **(Kuban, 2004).** Şehrin kalabalıklaşması ve Gotların isyanı nedeniyle II. Theodosius, Constantin surlarından 1300–1400 m. daha açığa alarak yeni surları inşa ettirmiştir **(Tezcan, 1991).** Surların uzunluğu 5,7 km., genişliği 4,8 m., yüksekliği 11 m.dir. 70–75 m. aralıklarla dikdörtgen ve çokgen planlı 96 kuleden oluşmaktadır. Ana surların 14,5 m. önünde 8 m. yüksekliğinde burçlu ön surlar ve 18 m. genişliğinde hendekler (1000'li yıllarda yapıldığı tahmin edilen) yer alır. Surlar beş sıralı tuğla bantlı olarak yapılmıştır. Ön surun duvar kalınlığı (0,5–1,5 m.dir). 7 adet kapısı ile giriş-çıkışlar sağlanır. Bu kapılar Marmara kıyısından başlayarak; Altın Kapı (Porta Aurea), Belgrad Kapı (Ksylıkerpos), Silivri Kapı (Pege), Mevlevihane Kapısı (Polyandrion), Topkapı (Romanos), Örülü Kapı (Pempton; Sulukule), Edirnekapı'dır (Kharsios; şehrin en yüksek yerindedir).

Porta Aurea 3 geniş geçidin iki yanında kesme taşlardan yapılmış kuleden oluşur. Geçitlerin içi kesme mermer taştır ve yapı 66 m. genişliğindedir. 425 yılında İoannes zaferinden sonra altın kapı kanatları takılmasıyla bu adı alır. Surlar kente yapılan saldırılarla ve depremlerle birçok defa zarar görür **(Millingen, 1899; Müller-Wiener, 1977).**

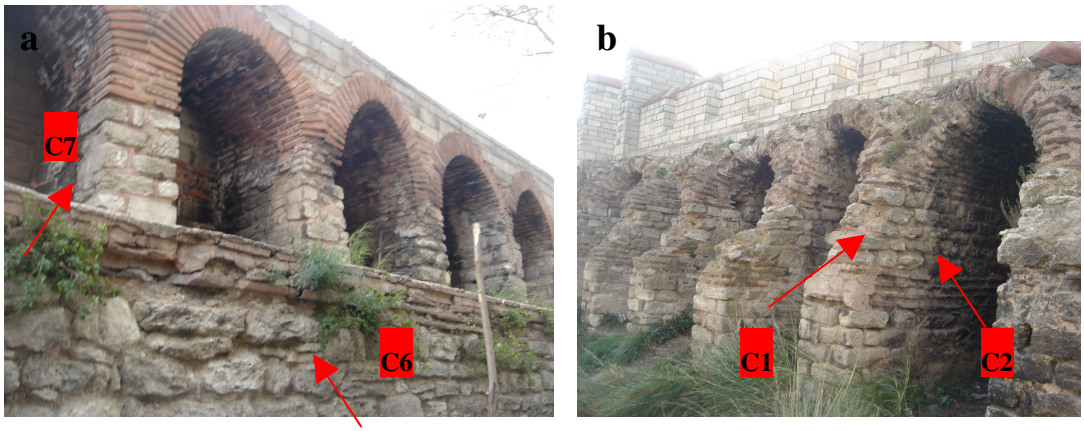
Kara surlarında 5 sıra şeklinde görülen tuğla dizileri 5 m. kalınlığındaki duvarda yatay bir katman olarak yer alıp hatıl özelliği taşımaktadır. Bu hatıllar arasında çift cidarlı taş örgü yer almaktadır. Dış cidar taşlarında 0,5 cm. genişlikte yatay ve yanak derzleri görülürken, derzlerin 5 cm. gerisinde taşlar arkaya doğru daraltılarak harç yardımıyla iç cidara bağlanmıştır **(Ahunbay, 2005).** Şekil 2.21, 22 ve 23'te yapıdan alınan örnek yerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.21: C1 (Mevlanakapı çekirdek harcı), C2 (Mevlanakapı derz harcı), C3 (Belgradkapı derz harcı), C6 (Silivrikapı derz harcı) ve C7 (Silivrikapı çekirdek harcı) örneklerinin alındığı yerler **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**



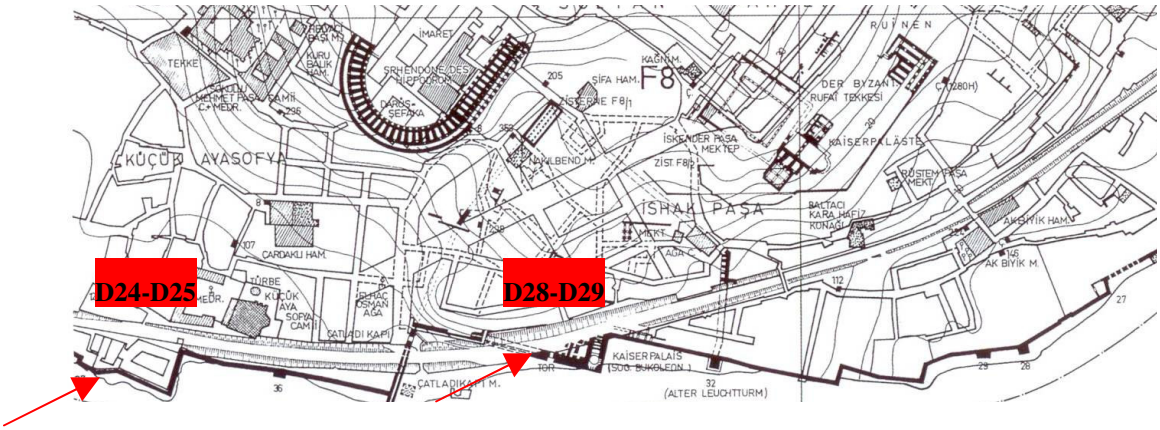
Şekil 2.22: Belgrad kapı C3ve C4 numaralı harç örneği alınan yerler



Şekil 2.23: (a). Silivri Kapı (Pege) C6 ve C7 **(b).**Mevlana Kapı C1 ve C2 numaralı harç örneği alınan yerler

2.4.2 Marmara Surları

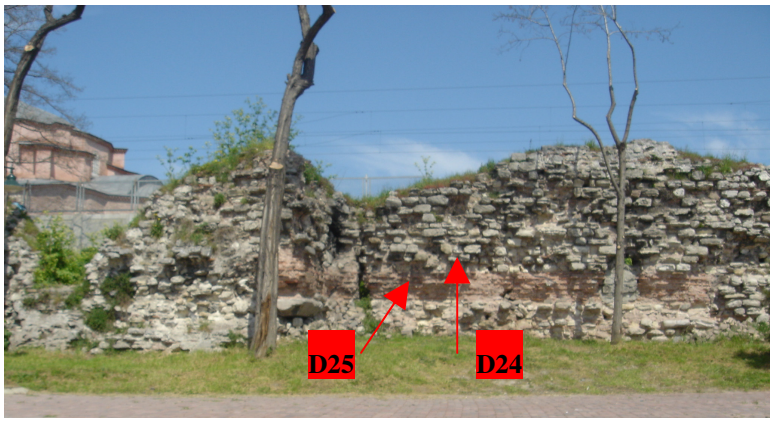
439 yılında Vandal istilasına karşı şehrin güneyinde Sarayburnu'ndan kara surlarına kadar 8,5 km. uzunluğundaki deniz surları II. Theodosius tarafından yaptırılır. Üzerinde 36 kapı ve 101 kule, 27 burç yer almaktaydı. Çeşitli saldırılar ve depremlerden zarar gördüğü için çok farklı duvar örgü teknikleri görülmektedir. 18-19. yy.larda Yalı Köşkü ve Narlı Kapı arasındaki surlar Damat İbrahim Paşa tarafından yaptırılır. Çatladıkapı- Ahırkapı sonradan yapılır ve surlar birçok onarım geçirir. Bu surlar çok yüksek olmayıp önlerindeki dalgakıranlarla korunmuştur **(Millingen, 1899; Müller-Wiener, 1977).** Bu çalışmada incelenen Marmara surlarından alınan örnek yerleri Şekil 24, 25, 26 ve 27'de verilmiştir.



Şekil 2.24: Marmara Surları 37.kule civarı D24 (derz harcı), D25 (çekirdek harcı) ve Çatladı kapı D28 (derz harcı), D29 (çekirdek harcı) örneklerinin alındığı yerler



Şekil 2.25: Çatladı kapı D28 (derz) ve D29 (çekirdek) harç örneği alınan yerler



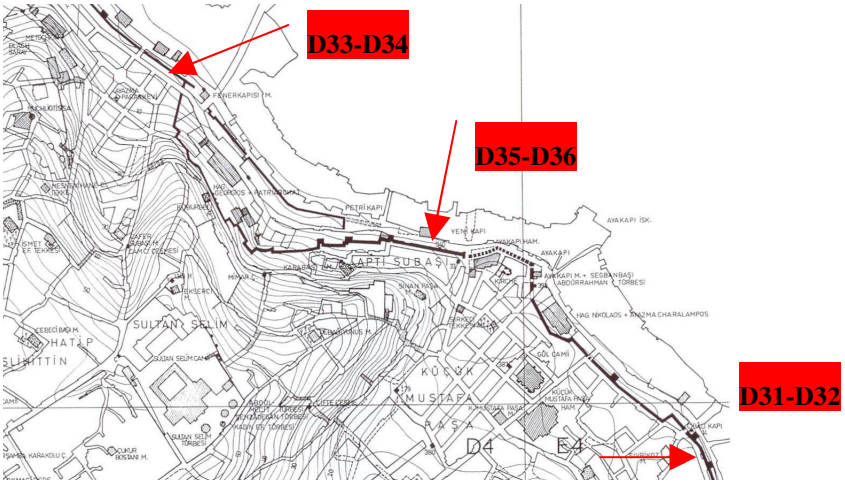
Şekil 2.26: Marmara Surları 37. kule civarı D24 (derz harcı) ve D25 (çekirdek harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler



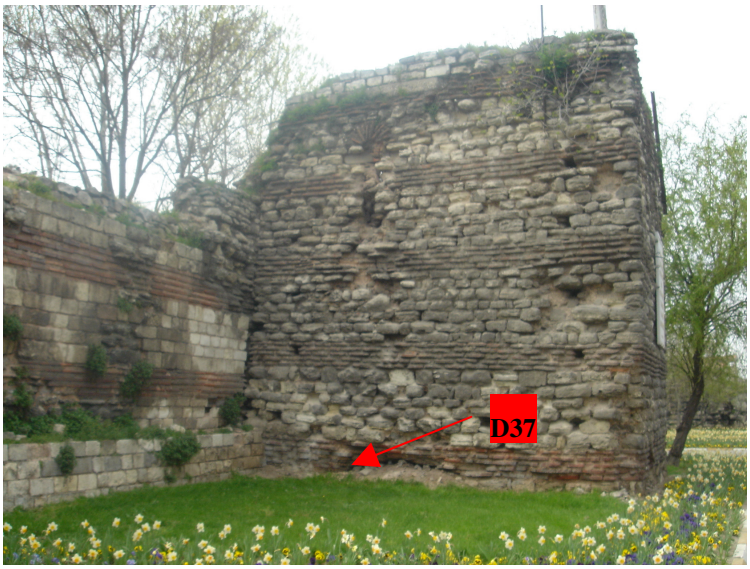
Şekil 2.27: Marmara Surları 97 ile 99. kuleler arası D26 (çekirdek harcı) ve D27 (derz harcı) örneklerinin alındığı yerler

2.4.3 Haliç Surları

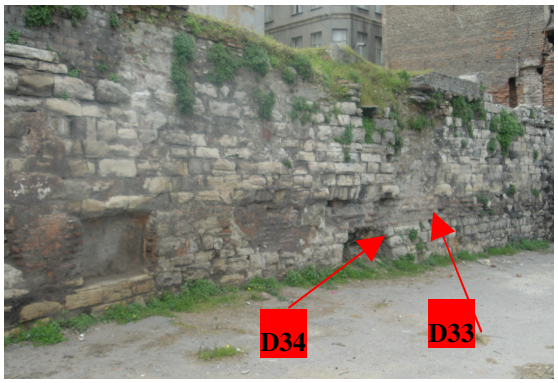
439 yılında II. Theodosius tarafından yapımı başlatılan Haliç Surları Ksiloporta (Ayvansaray) Kapısı'ndan başlayıp Sarayburnu'ndaki Eugenius (Yalı Köşkü) Kapısı'nda sona erer. Bu surlarla deniz arasında yer alan yola "Drungaria Yolu" denir. Surlar 2-3 m. genişliğinde, 5,2 km. uzunluğunda olup üzerinde 20 adet kapı ve 172 adet kule bulunmaktadır **(Müller-Wiener, 1977).** Bugün Haliç Surları'ndan çok azı kalmıştır, kalıntılar ya evlerin temelleri olmakta veya evlerin arasında kalmaktadır. Yapım tekniği olarak 6–7 sıralı tuğla hatıllı olarak yapılmıştır. Petrion kısmında (bugünkü Patrikhane'nin olduğu kısım) bir iç kale oluşturmaktadır, (Eyice, 2006). Başlıca kapıları: Koilimene Kapısı (Küçük Ayvansaray Kapısı), İoannes Prodromos Kapısı (Balat Kapısı), Porta Fenari (Fener Kapısı), Eufemia Kilisesiyle ünlü Petri Kapısı (Petrion), Yenikapı, Ayia Teodosia Kapısı (Aya Kapısı), Porta Puteas (Cibalikapı), Unkapanı Kapısı, Ayazma kapısı (16.yy.da açılmış olabilir), Vigla- Drungari Kapısı, Zindan Kapı, Balıkpazarı Kapısı, Yeni Camii Kapısı, Bahçekapı, Yalıköşkü Kapısı, Oğrun (Odun Kapı), Topkapı ve Değirmen Kapıdır **(Millingen, 1899).**Balat Kapısı ve Yalı Köşkü Kapısı Blachernai Sarayı'nda oturan imparatorun Ayasofya'ya gelmek için kullandıkları kapılardır. 713- 715'de Araplara karşı sağlamlaştırılmış; 9. ve 13. yy.larda onarılmış, 14. yy.da Ceneviz çatışmasında önüne hendek açılmıştır. Topkapı- Bahçekapı demiryolu inşaatıyla Haliç Surları zarar görmüştür **(Müller-Wiener, 1977; Eyice, 2006).** Aşağıdaki şekillerde Haliç surlarından alınan örnek yerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.28: D31, D32,D33,D34,D35,D36 ve D37 numaralı harç örneği alınan yerler **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**



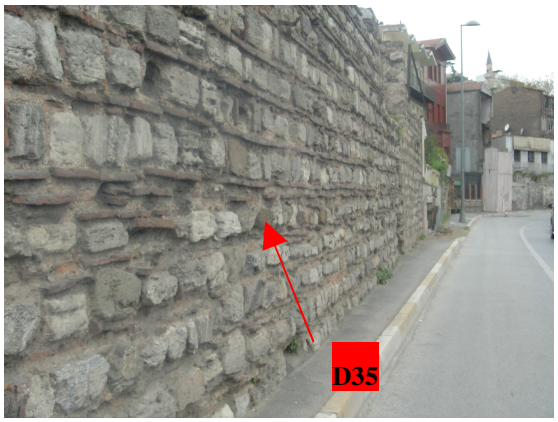
Şekil 2.29: Balat Kapı civarı D37 numaralı çekirdek harcı örneği alınan yer

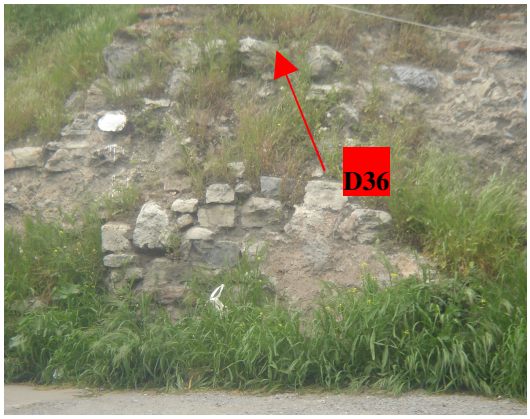




(a) **(b)**

Şekil 2.30: (a). Fener civarı D33 ve D34 numaralı **(b).** Cibalikapı D31 ve D32 numaralı harç örneği alınan yerler





(a) **(b)**

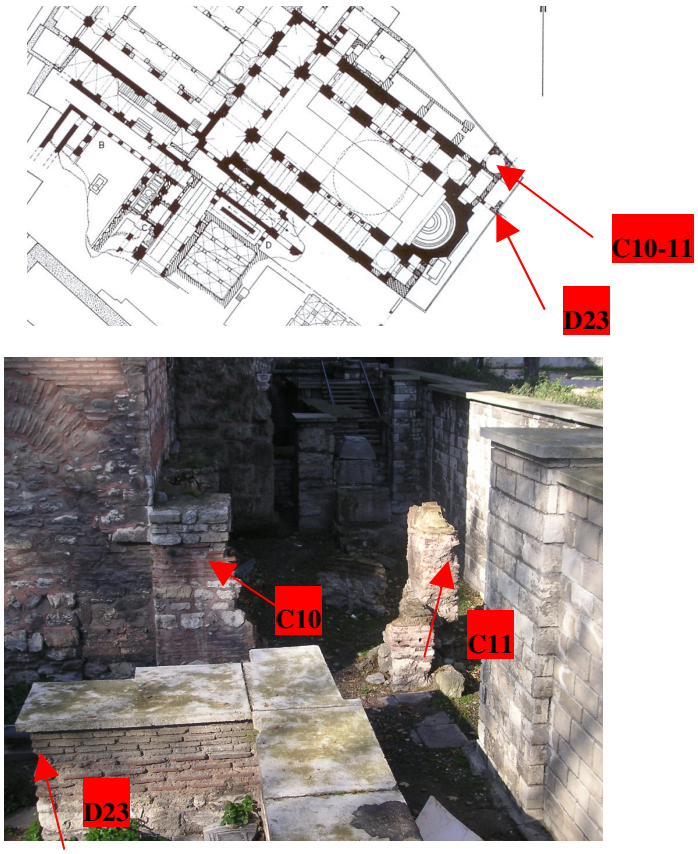
Şekil 2.31: (a). Petri Kapı civarı D35 ve **(b).**D36 numaralı harç örneği alınan yerler

2.5 Diğer Yapılar

İstanbul'daki erken dönem yapılarının birçoğu iyi korunamamış olmasından dolayı günümüze ancak yapı kalıntıları gelebilmiştir. Mimari açıdan farklı ve büyük önem taşıyan bu yapılardan Hipodrom ve Sampson Hastanesi kalıntıları günümüze ulaşan parçalarından alınan numunelerle bu çalışmada incelenmiştir.

2.5.1 Sampson Hastanesi

Aya İrini'nin hemen yanındaki Erken Bizans kalıntılarının Sampson Hastanesi olduğu düşünülür **(Müller-Wiener, 1977).** Sütun kaide ve başlıkları, kesme taş-tuğla örgülü yapı kalıntıları bulunmaktadır. Sampson Ksenodohion (misafirhanesi) Nika İsyanı'nda zarar gören yapılardandır ve I. İustinianos tarafından onarılmıştır. Bu misafirhanede konaklayıp, ücretsiz yemek ikram ediliyordu; misafirhane, 6 adet hastane ve ahırdan oluşuyordu **(Kuban, 2004).** Şekil 2.32'te yapıdan alınan örnek yerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.32: Sampson Hastanesi C10 (derz harcı) ,C11 (çekirdek harcı) ve D23 (derz harcı) örneklerinin alındığı yerler **(Plan, Müller-Wiener, 1977).**

2.5.2 Hippodrom

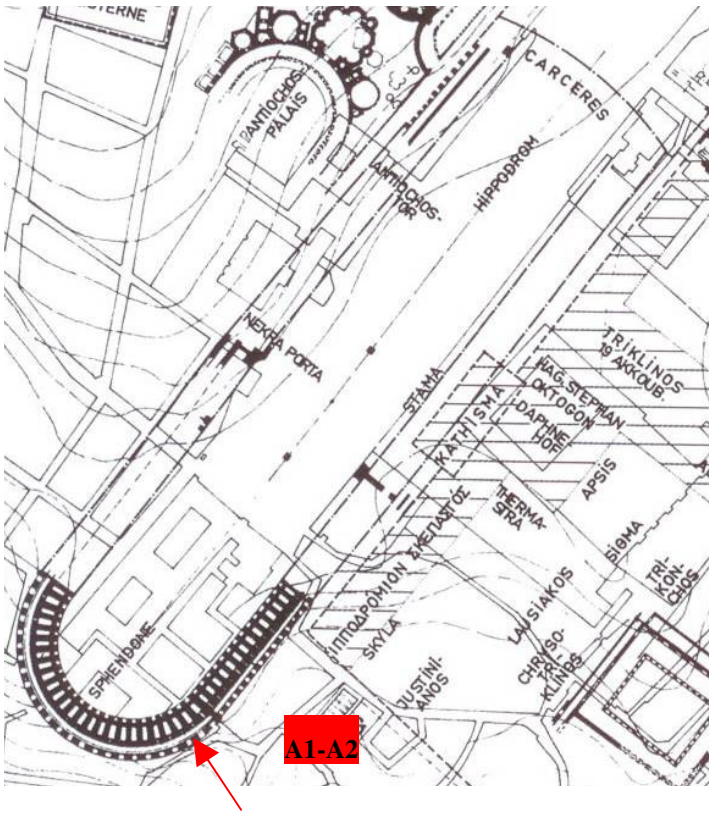
193 yılında Septimus Severus tarafından yapımına başlanıp, Constantinus tarafından Roma'daki Circus Maximus modeline göre tamamlanır.

Hipodrom 420–440 m. uzunluğunda, 117–225 m. genişliğinde, güneybatısında sphendone, ortasında bir eksenin (spina) geçtiği dikdörtgen planlı bir yapıdır. Kuzey kenarı ise hafif eğrisel planlı (carcares) yapılmıştır. Arenası 80 m. genişliğinde olup 30.000 kişi kapasiteliydi. Hippodrom'un Lausos Sarayı'na açılan Lausos Kapısı, Büyük Saray'a ait Kathisma (imparatorluk locası)'ya açılan kapıları bulunuyordu **(Müller-Wiener, 1977).**

Sphendone deniz tarafındaki arazinin eğiminden kaynaklanarak tonozlu, galerili bir altyapıya sahiptir. Orjinalinde ahşap oturma yerlerine sahip olan yapı Nika ayaklanmasından sonra I. İustianos tarafından mermer olarak yaptırılmıştır. Hipodromun spinasında bugün hala ayakta olan altın bir çanağı taşıyan yılan başlarıyla oluşmuş Yılanlı Sütun vardır **(Kuban, 2004).** Bu sütun Delphi'deki Apollon Tapınağından getirilmiş ve M.Ö. Plataiai Savaşlarında Yunanlılardan kazanılan silahların eritilmesiyle yapılmıştır. Obelisk ise Mısır firavunu Tutmassi III (M.Ö. 1500-1488) tarafından Karnak'taki Amon-Ra tapınağına diktirilmiş 2 obeliskten biridir. I. Constantinus bunu yerinden söktürüp İskendiriye'de tuttuktan sonra Konstantinopolis'e getirmiş. I. Theodosius tarafından yerine diktirilmiştir **(Anabolu, 2001).**

Hipodrom Bizans'ta bir merkez ve toplanma yeri gibiydi. Saraydan teraslarla buraya ulaşılması, her zaman açık olması, politika, oyun, eğlence, toplantı, davalara açık mekân olması ve çevresindeki yapılarla yaşamın merkeziydi **(Millingen, 1899)**.

Hippodrom'un 507 yılında taşıyıcı kemerleri çöker, 1203– 1204 yıllarındaki Latin ayaklanmasında tribünlerin birçoğu yıkılır ve Hipodrom için bu en büyük yıkımdır. Büyük yapıdan 30–40 kişilik oturma yeri, Sphendone'nin 37 sütunundan 24'ü geriye kalır. 17. yy.da Sultan Ahmet Camii yapılırken burası toprakla doldurulur, Calcares'in (at ve arabaların olduğu ahırlar) yerine Alman Çeşmesi yapılır. Bugün sadece sphendonesinden bir kısım kalmıştır **(Müller-Wiener, 1977).** Hipodromdan alınan örnek yerleri Şekil 2.33'te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.33: (a).Planda ve (b).fotoğraflarda A1 (Hipodrom derz harcı) ve A2 (Hipodrom çekirdek harcı) numaralı harç örneği alınan yerler **(Plan**, **Müller-Wiener, 1977).**

3. HORASAN HARCININ ÖZELLİKLERİ

Erken Bizans Dönemi horasan harçlarını incelenmeden önce bağlayıcı, doğal ve yapay puzolan, agrega ve katkılardan oluşan kompozit bir malzeme olan horasan harçlarının ilk kullanımları, horasan harçlarını oluşturan malzemelerin tarihi ve teknik özelliklerine bu bölümde yer verilmiştir.

3.1 Horasan Harcının Tarihçesi ve Kullanım Teknikleri

Horasan; tuğla, kiremit gibi pişmiş toprak malzemelerin kırılmış öğütülmüş halidir. Horasan harcı ise horasan ile kirecin karışımından oluşan harçtır. Bu harca kum da karıştırılır **(Akman ve diğ., 1986; Ersen ve diğ., 1995).** Horasan adı İran'ın doğusundaki Horasan bölgesinden gelmektedir. Horasan'a Hindistan'da "surkhi", Arap ülkelerinde "homra", Roma döneminde "cocciopesto", Yunanistan'da "korassani", Suudi Arabistan'da "horasan" denilmektedir **(Uğurlu ve Böke, 2006; Akman ve diğ., 1986).**

Tarih öncesi yıllarda İtalya'da harç yerine taşların arası kil ve çamurla dolduruluyorken, Roma İmparatorluğu'nda daha iyi bir teknik olarak kireç ve kumun karıştırılmasıyla harç (mortar) denilen yapı malzemesi elde edilmiştir **(Ward-Perkins, 1974).**

Kireç, Latince'de "calx", İngilizce'de "lime" olarak adlandırılır. Kireç sıvaların kullanımı M.Ö.1700'lerde Mycenean ve Minoic yerleşkelerinde, Knossos Sarayı'nın yapımında görülmüştür. Mısır'da kullanımı ise M.Ö. 300'lerde Ptolemae zamanındadır. İlk kullanılan harçlar kireç, alçı ve çeşitli minerallerin karışımından elde edilmekteydi **(Torraca, 1982; Borelli, 1999).**

İlk kireç ve kum kullanımı ise M.Ö. 106 yılında Puteoli'de görülmüştür. Kireç harcının kullanımı Roma'dan Yunanistan ve Güney İtalya'ya yayılmıştır **(Ward-**

Perkins, 1974). Mısır'daki Gize Piramitlerinde, Anadolu Uygarlıklarında, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı'da görülmüştür **(Akman ve diğ., 1986).**

Opus Caementicium, bağlayıcı ve agreganın (caementa) karışımından oluşan bir Roma betonudur **(Ward-Perkins, 1970; Lamprecht, 1984).** Opus Caementicium'a başlangıçta cement (çimento) denmiş daha sonra mortar (harç) deyimi yaygınlaşmıştır **(Adam, 1994).**

Agrega harcın yoğunluğunu arttırıp, sönmüş kireç oranının azalmasına neden olur, rötre ve çatlakları önleyip, basınç dayanımını artırır. Roma betonunun esası kırılmış tüf, tüf tozu ve sönmüş kireçtir. Agrega olarak Romalılar farklı tipte taşlar ile kırılmış tuğla ve kiremit kullanmışlardır, bu agregalar düzensiz şekillerde kırılıp harca eklenmekteydi. Roma'da temel betonu olarak kullanılan horasan betonları daha büyük agregalı harçlarla yapılırdı **(Akman ve diğ., 1986; Baronio ve diğ, 1997).**

Yunan harçları kaliteleri ve dayanıklılıklarıyla ünlüdür. Özellikle M.S. 2.yy.da harcın özellikleri daha iyi anlaşılıp içine pişmiş tuğla eklenmesi ve puzolanın düzenli olarak kullanılmasıyla sağlamlılık ve bağlılık kazanan horasan harcı önemli bir malzeme olmuştur. Eski zamanlarda harcın iki görevi vardı birincisi taş-tuğla yapı elemanlarını bağlamak, ikincisi ise yüzeyleri kaplamak ve korumaktır. Bununla birlikte horasan harçları sarnıçlarda ve su yolu kemerlerinde, limanlarda izolasyon malzemesi olarak, mozaiklerin uygulanmasında ve döşeme yapımında da kullanılmaktaydı. Kullanıldıkları yerlere göre çekirdek harcı, derz harcı, sıva harcı farklı özelliklere sahiptir **(Palomo ve diğ.; Moropoulou ve diğ, 1999).**

Horasan harcının özelliği, kireçtaşının ve buna bağlı olarak kirecin özelliğine; agrega tipine, boyutuna, agreganın kil içeriğine, boşlukluluk oranına, karışım oranlarına, kullanılan katkı maddelerine, su oranına göre farklılık gösterir **(Candeias ve diğ.).**

Horasan harcının avantajı, kireç, su ve puzolanik malzemenin reaksiyona girmesi ve yavaş sertleşmesiyle duvarla homojen bir yapı oluşturarak, kemerlerin, tonozların dayanıklı ve iyi bir basınç dağılımı sağlamasıdır **(Ward-Perkins, 1970).**

3.2 Horasan Harcını Oluşturan Malzemeler

Horasan harçları bağlayıcı olarak kireç ve puzolanik madde, dolgu malzemesi olarak da agreganın karıştırılmasıyla elde edilir **(Böke ve diğ.,2004**). Horasan harcını meydana getiren ana elemanlardan kireç kuvvetli bir bazdır; agrega ise pişmiş kil, yani kimyasal özellik kazanmış silis (SiO_2), zayıf bir asittir. Bu iki malzemenin bir araya gelmesi ile yavaş bir kimyasal reaksiyon görülür ve sonuçta kalsiyum silikat tuzu oluşur **(Akman ve diğ., 1986).**

3.2.1 Kireç

Harç yapımında kullanılan kireç, kireç taşının kalsinasyonu (kızdırılması) ile elde edilir. Kirecin bağlayıcı olarak ilk kullanımı Babil, Finikeliler, Hitit ve Persler'de görülmüş (**Eriç, 2002).** Taşların kızdırılmasıyla ürün elde edilmesi ilk yerleşimlerden olan Çatal Höyük'te M.Ö. 6000'lerde görülmüştür. Mısır'da kireç ve alçı ile hazırlanan harç M.Ö. 300'lü yıllarda görülmüştür. Kirecin kaynağı olan kireç taşları, kalsiyum karbonattan oluşur, bazıları ise silika, alümina, magnesia, kuvarslı tanecikler, demir oksit, manganez, bitüm ya da sülfatlı tuzlar içerebilirler. Bunların farklı oranlarda bulunması kireçtaşlarının da farklı olmasını sağlar **(Margalha ve diğ).**

Kireç ocakları silisli kum taşından yapılır, kil ve seramik parçalarıyla kaplanır, boşluklar yine kille doldurulur. Kireç ocakları bulunduğu yerin iklimine göre açık veya kapalı olabilirler. Kapalı ocaklarda ocağın alt kısmında yanmayı görebilmek için 1,5–2,5 m. arasında açıklıklar bırakılabilir. Kireçtaşının kızdırılması yaklaşık 3 hafta sürer **(Adam, 1994).**

M.Ö. 90–20 yıllar arasında yaşamış Vitruvius'un bilgilerine göre, kireçtaşının ocağa atılmasından sonra sıcaklığın etkisiyle katı özelliğini kaybedip, gözenekleri açılır ve içindeki CO_2 buharlaşır, ocaktan çıkarıldıktan sonra hacmi değişmediği halde içindeki CO_2'nin kaybolmasıyla ağırlığı 1/3 oranında azalır. Kalsinasyon işleminin ardından suya atıldığında açılmış gözeneklere nem dolmasıyla sıcaklık kireçten atılmış olur ve sönme işlemi tamamlanır. Kireç, sert-sağlam bir yapı oluşturur, CO_2 ile katılaşır. Bizans'ta kireç ocaklarının inşaatın hemen yanına yapıldığı

bilinmektedir. İstanbul'da tarihi yarımadada yer alan birçok kireç ocağı Büyük Saray'ın bulunduğu bölgede, tüm yapılara yakın olarak yer almıştır **(Eyice, 2006).**

Kirecin kızdırılması ve sönmesi bir kimyasal reaksiyonlar dizisidir. Kireçtaşının özelliği, kalsit büyüklüğü, fiziksel özellikleri, gözeneklilik dağılımı, söndürme işlemindeki suyun saflığı, fırın sıcaklığı, ısıtma süresi kirecin özelliğini değiştirir **(Özkaya ve diğ., 2006; Böke ve diğ.,2004).** Farklı ülkelerdeki değişik kireç ocaklarındaki farklı uygulamalar ve kireçtaşının kalsinasyonu sırasında çeşitli kalitelerde kireç oluşmaktadır. Roma zamanında da farklı ocaklardan gelen kireçlerden dolayı çeşitlilik vardır **(Adam, 1994).**

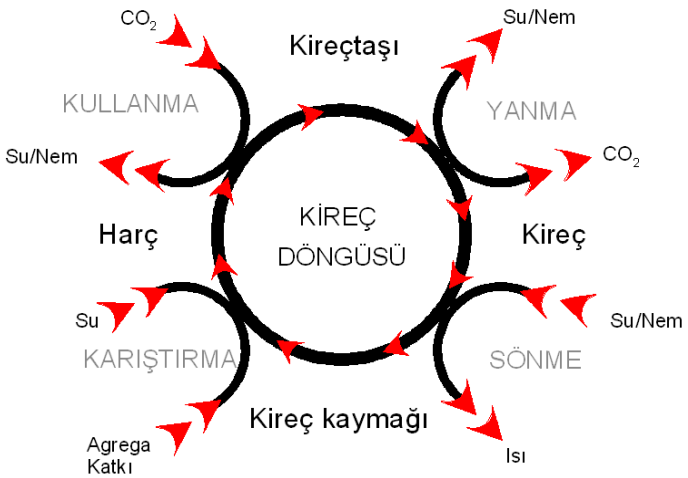
Romalılar kireç taşının düşük sıcaklıkta ve kısa zamanda kalsine edilmesiyle, yüksek reaktiflikte, düşük çekme dayanımında, düşük yoğunluk ve yüksek porozitede kireç elde ediyorlar ve buna yavaş kızdırılmış (soft-burned) kireç diyorlardı. Kirecin yüksek kızdırma derecesinde ve uzun süre kalsinasyonunda ise yüksek yoğunlukta, düşük porozitede ve düşük reaktiflikte kireç elde ediliyordu, bu da hızlı kızdırılmış (hard-burned) kireç olarak adlandırılmaktaydı. Romalılar soft-burned ve uzun süre sönme işlemi geçirmiş (long-slaking) kireç kullanılmasını tavsiye etmişlerdi (**Hooper ve Cato, 1939).**

Sönmüş kireç, büyük sıcaklık çıkışıyla sönme işlemi sonunda plastik yapılı, su tutma kapasitesi fazla olan kaymak kıvamlı kireç olur. Kireç kaymağını en iyi muhafaza etmenin yolu onu sönmüş olarak depolamaktır. Romalılar sönmüş kireci 3 yıl beklettikten sonra kullanılmasını tavsiye etmelerine karşı Augustuen zamanında çok fazla yapı yapıldığına bakılırsa bu tavsiyenin göz ardı edildiği görülür. Kirecin priz almasında, kristallenmesinde ve sönme evresinde kireçtaşının içindeki puzolanik katkılar, kirlilikler farklılık yaratır **(Adam, 1994; Böke ve diğ., 2004).**

Sönme işleminde suyun azar azar eklenmesi ile soğuyarak kabarması beklenir, aksi takdirde kireç tümüyle sönmez. Kirece birden su eklenmesiyle yüzeyi hidrate olup, su ve hava geçirmez duruma gelip kireç topakları oluşmaktadır. Sönmesini harç içinde tamamladığında da kabarmalar görülerek harç ve sıvayı bozar. Az miktarda su ile yapılan bu işleme kuru sönme denir **(Ersen, 1988; Elsen ve diğ, 2004; Hughes J.J. ve diğ, 2001; Pavía ve Caro, 2008; Silva ve diğ, 2004).**

Kireç, hidrolik ve hidrolik olmayan kireç olmak üzere ikiye ayrılır. Hidrolik olmayan kireç, kirecin saf formudur, bunlara hava kireci ya da yüksek kalsiyumlu kireç de denir **(Akman ve diğ., 1986).** %95 kalsiyum karbonat içeren taşların kızdırılması ve karbondioksit açığa çıkması ile kalsiyum oksit oluşur. Kızdırma-sönme işlemlerinden sonra karbonatlaşma meydana gelir. Kireç kaymağının üzerinde bir kısım su bırakılmasının sebebi karbonatlaşma olmaması içindir. Sönmüş kirecin su içerisinde bekleme süresinde portlandit ($Ca(OH)_2$) kristalleri şekil değiştirirler, daha küçük olurlar böylece işlenebilirliği, çalışılabilirliği kolaylaşır **(Ellis, 2002**). Sönme zamanı daha uzun olan kireçlerle hazırlanan harçlarda kirecin plastik özelliği ve su tutma kapasitesi arttığı için daha iyi tanecik boyutları ve agregayla iyi birleşimi görülür. Bu durum kirecin olgunlaşmasında, bağlayıcı/agrega adezyonunda pozitif bir etki taşır **(Margalha ve diğ.; Böke ve diğ., 2007**). Bu kirecin priz alması yavaştır. Kireç kaymağı kurumaya başladığında ağırlığında da bir azalma görülür **(Margalha ve diğ.).**

Gelişmiş analizler gösteriyor ki, Romalılar sadece hidrolik olmayan kireç kullanmışlardır. Hidrolik olmayan kireçlerle hazırlanan harçlar CO_2'nin harç tarafından emilmesiyle sertleşirler. Bu uzun bir süreçtir, 1000 yıllık yapılarda dahi karbonatlaşma olmamış olabilir **(Akman ve diğ., 1986).** Kireçtaşından $CaCO_3$ oluşması, sönmüş kireç haline gelmesi ve harç oluşumundan sonra havadan CO_2 emilimiyle oluşan kireç döngüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Kireçtaşı ve harç arasındaki kireç döngüsü **(Ashurst J. ve N., 1990; Borelli, 1999; Virginia Lime Works, Traditional Lime Mortars).**

Kireç taşının kalsinasyon sıcaklığı, 760 mm. civa basıncında %100 CO_2 ortamında 900 °C'dir.

kalsinasyon

$CaCO_3$ + Sıcaklık (900 °C) ➔ CaO + CO_2

(kalsiyum karbonat) (kalsiyumoksit + karbondioksit)

sönme

CaO + H_2O ➔ $Ca(OH)_2$

(kalsiyumoksit + su) (kalsiyum hidroksit) (sönmüş kireç)

havadan CO_2 emilimi

$Ca(OH)_2$ + CO_2 ➔ $CaCO_3$ + H_2O

(kalsiyum hidroksit + karbondioksit) (kalsiyum karbonat + su)

Kireç harçları yapıda kullanıldıktan sonra havanın karbondioksitiyle birleşip, sertleşirler. Su altında sertleşen, priz alan ve su ile reaksiyona giren kireçlere hidrolik kireç denir, Hidrolik olma özelliği kireçtaşının kızdırılması sırasında içindeki killerden (silika, alümina ve demiroksit) kaynaklanır. Hidrolik kireç oluşumunda kireçtaşı yanarken, 400–600 °C'de kil ayrışıp, 950–1250 °C'de kireç ile birleşerek kalsiyumlu silikat ve alüminat oksitleri oluşturur, özellikle trikalsiyum silikat ve dikalsiyum alüminat oluşur **(Ashurst, 1997).**

Hidrolik kirece puzolanik olmayan agrega katılmasıyla, hidrolik kireç içindeki reaktif olmayan silikat ve alüminatlar su ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidrat (C-A-H) oluşturarak sertleşirler **(Çizer ve diğ., 2004).** Hidrolik kireç, suyun katılmasıyla reaksiyona girer ve sertleşirken, hidrolik olmayan kireç havanın CO_2'si ile karbonatlaşarak sertleşir **(Palomo ve diğ.).**

3.2.2 Kum

Kuru olan ocak kumunun harçta kullanılması uygundur. Ocak kumu, tuzlardan, kil ve organik maddelerden arındırılmak için yıkanılarak kullanılır **(Torraca, 1982).** Ocak kumu yerine dere kumu da kullanılmaktadır. Deniz kumu tuz taşıdığı ve yapıya zarar verdiği için kullanılmamaktadır. Bu kumlar tuzlarda arındırıldıktan sonra kullanılmalıdır. Harç içinde kum hangi amaçla kullanıldığına göre farklılık gösterir.

3.2.3 Agrega

Harç, kireç ve farklı oranlarda agreganın eklenmesiyle elde edilir. Roma döneminin geç zamanlarında ve özellikle Bizans İmparatorluğu'nda, tuğla kırığıyla hazırlanmış kireç harcı çok popüler olmuştu ve taşıyıcı özellikli duvarlarda kullanılmaktaydı. Bazı durumlarda harca pembe rengini veren tuğla tozu yerine sadece tuğla kırığı kullanılmaktaydı. Tuğla kırığı sadece duvarlarda değil döşemede, kemerlerde, temellerde, sulu mekânlarda da kullanılmaktaydı. Tuğla tozu ise daha çok sıvalarda kullanılıyordu.

Geç Roma dönemine doğru tuğla kırığı kullanılması çok yaygınlaştı, yatay derzlerdeki kalınlık 1–1,5 cm.den 6–7 cm.e çıktı, bu özellik Bizans döneminde de kullanıldı ve Aya Sofya'da 7 cm.lik derz kalınlığı uygulandığı görülmektedir. Derz aralıkları 5 cm.den fazla olduğunda, tuğla kırıklarının boyutu 2,5 cm.i bulmaktaydı. Tuğla kırığının kullanılması imparatorluk zamanında devam ettiği görülürken ortaçağa doğru azalmıştır. Bu durum ekonominin zayıf olmasına ya da tuğla inşaatının az olduğu yapı inşaatlarının yapılmasına bağlı olabilir **(Baronio ve diğ, 1997; Stefanidou ve Papayianni, 2005; Mango, 1976).**

Köşeli agrega kullanılması ile harçta sürtünme artacağından harç daha dayanıklı olur, çatlakların oluşmasını engeller, güçlü kompakt yapı oluşur, boşluklu yapı sağlaması ile harcın tuza, donma ve çözünmeye karşı direncini artırır **(Güleç, 1992; Ashurst, 2007; Stefanidou ve Papayianni, 2005; Velosa ve diğ., 2007).** Agreganın eklenmesi, harcın stabilitesini, strüktürel performansının iyi olmasını ve sağlamlığını sağlar. Agrega tipinin yanında mineralojisi, karışımdaki miktarı, maksimum tane boyutu dağılımı ve bağlayıcı/agrega oranı da harcın performansını etkilemektedir **(Stefanidou ve Papayianni, 2005).**

Tuğlaların harçta kullanılmasının yapısal faydalarının yanında harca verdiği renkle de yapıda kullanılan malzemelere uyumlu oluşu estetik açıdan da önem taşır **(Akman ve diğ., 1986).**

Tuğlalar kil, kuvars, feldspat gibi hammaddelerin su ile karıştırılarak şekillendirilmesi, kurutulması, 850–900 °C arasındaki sıcaklıkta pişirilmesi ile üretilir. Bu pişirilme sırasında kristal yapıları bozularak puzolanik özellikleri olan silikat ve alüminatlar oluşur. Eğer tuğla 1000 °C'nin üzerinde pişirilirse puzolanik

özelliğini kaybederek müllit ve kristobalit mineralleri oluşur **(Budak ve diğ., 2004; Böke ve diğ.,2007).**

Tuğlaların hammaddesi olan kaolin pişme sırasında 600 °C'de puzolanik özellikli metakaoline dönüşür.

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \xrightarrow{\text{Isı}} Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O$$

(Kaolin) (Metakaolin)

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 7Ca(OH)_2 + 19\,H_2O \rightarrow 4Ca \cdot Al_2O_3 \cdot 19\,H_2O + 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 7H_2O$$

(Metakaolin + Kireç) (Kalsiyum silikat ve alüminat hidratlar)

Bu reaksiyondan da görüleceği gibi, hidrolik olmayan kireç hidrolik özellik kazanır. Horasan harcında kullanılan tuğlalar yüksek miktarda silis, alüminyum oksit, demir oksit içerirler **(Böke ve diğ.,2007).** Tuğla agregaların yoğunlukları diğer agregalardan daha düşük olduğu için horasan harçları hafif olup ve yüksek çekme dayanımına sahiptirler **(Böke ve diğ., 2004).**

3.2.4 Puzolan

Puzolanın (Puzzolananın) Latincedeki karşılığı "pulvis puteolanus" (Puteoli powder) Puteoli çevresindeki volkanik tüflerden gelmektedir. M.S. 2.yy.da puzolanın kireçle reaksiyona girerek harca hidrolik özellik verdiği fark edilmiştir. M.S. 235'lerde Roma betonu volkanik tüf olan puzolan ve kirecin karışımı ile yapılmıştır. Sur duvarlarında, tonozlarda hatta birçok sivil mimari yapılarda da kullanılmıştır **(Ward-Perkins, 1970; Lamprecht, 1984; Moropoulou ve diğ., 2005).** İtalya'nın batısında Latium ve Campania Cumhuriyetlerinde volkanik kum olarak "puzolana" kullanılınca bunun daha dayanıklı olduğunu saptamışlardır **(Ward-Perkins, 1974).**

Puzolan, alümina ve silikalarca zengin bir maddedir, kireçle birleştiğinde alümina ve silikalar reaksiyona girerek, kumla yapılmış harçtan 8-10 kat daha güçlü harç elde edilmiş olur. Puzolan ve kireçle hazırlanan harç, su altında sertleşir. Puzolanlar su ile karşılaştıklarında kendi kendine reaksiyona girmezler. Puzolanın ince elenmiş olması

aktifliği ile orantılıdır. İnceliğinin ortalama 3000 cm2/ g. ve 7200 cm2/g. arasında olması tavsiye edilir **(Koçu, 1997).**

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal puzolanlar, tüf ve ponza taşından oluşurlar, yapay puzolanlar ise tuğla, kiremit gibi pişmiş keramik malzemeler ve uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü gibi malzemelerdir **(Özkaya ve diğ., 2006; Şimşek, 2003).**

Puzolan ana bileşen olarak reaktif SiO_2 (silisyumdioksit), $Al_2 O_3$ (alüminyum oksit), FeO_3 (demir oksit), MgO (magnezyum oksit) ve diğer oksitlerden oluşur **(Allen ve diğ., 2003; Velosa ve diğ.2002).** Puzolanın esas maddesi olan silis %40- %90 arasında bulunur **(Şimşek, 2003).** Puzolanın kireçle reaksiyonundan oluşan kalsiyum silikatlar, genellikle bikalsik silika alüminat olarak ($2CaO.Al_2O_3.\ SiO_2.8H_2O$) görülen hidrate silikat ve alüminatlardır **(Torraca, 1982; Velosa ve diğ., 2002; Moropoulou ve diğ., 2004).**

$Ca(OH)_2$ + H_2O + puzolan ➔ CSH + CAH

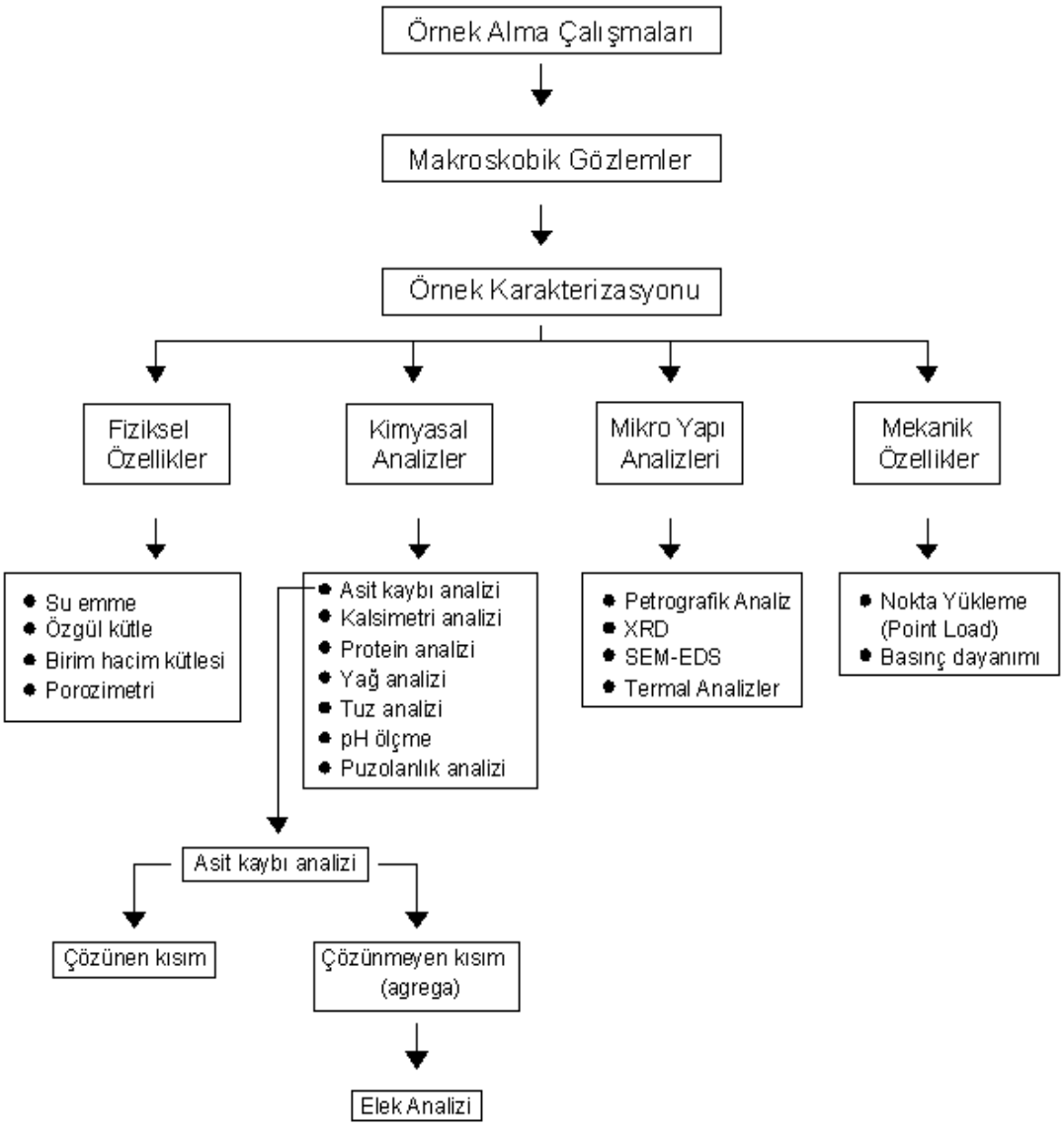
3.2.5 Katkı Maddeleri

Horasan harçlarında, mukavemeti arttırmak için organik ve inorganik katkı maddeleri ekleniyordu, ancak bunlar zamanla harçta mikrobiyolojik bozulmalara yol açtığı tespit edilmiştir. Katkı maddeleri lifli katkılar ve organik katkılar olmak üzere ayrılmaktadır. Lifli katkı olarak keten, saman, bitki lifleri, hayvan kılı kullanılıyordu. Bunlar sıvalara katılarak dayanma gücünü artırmaktaydılar. Bizans'ta lifli katkılar kullanılmamıştır.

Organik katkı maddeleri olarak ise albümin, keratin, yumurta akı, yumurta sarısı, peynir, incir sütü, şeker, kemik tutkalı, pirinç, kazein, balmumu, kesilmiş süt gibi maddeler kullanılıyordu. İncir sütü, kesilmiş süt, domuz yağı harçta sertleşmeyi sağlamak için, yumurta akı ve kan sertleşmeyi geciktirmek için, şeker, donma-erime sırasında meydana getirdiği bozulmaları engellemek için, kazein, beziryağı yalıtım için kullanılmaktaydı **(Ersen ve Güleç, 1991; Güleç, 1992; Satongar, 1994; Böke ve diğ., 2004).**

4. ÖZGÜN HARÇ VE SIVALARIN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Horasan harçlarının özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan deneysel yöntemler Şekil 4.1'deki gibidir. Buna göre örneklerin ilk olarak makroskobik gözlemleri belirlenir, fotoğraflama çalışmalarıyla tespit edilir ve deneysel çalışmalara başlanır.



Şekil 4.1: Horasan harçlarında uygulanan deney yöntemleri şeması

4.1 Harç ve Sıva Örneklerini Alma Çalışmaları

Tarihi yapılarda incelenecek olan harç numuneleri dikkatli bir şekilde alınmalıdır. Gerekli olan deneylerin yapılabilmesi ve geriye dönük çalışmaların yapılabilmesi için örnek boyutları yeterli olarak seçilmelidir. Örnek alınan yerin analitik özelliği harcın yorumunda önemlidir **(Ellis, 2002; Veiga ve diğ., 2001).**

Örnek alma işleminde öncelikle fotoğraf ve çizimlerle örnek alınan yer tespit edilir, bu dökümantasyon için gereklidir, daha sonra deneyler için yeterli miktarlarda harç alınır **(Candeias ve diğ., Ellis, 2002; Goins, 2002).** Asit kaybı ve elek analizi için 20–50 g.lık örnek, fiziksel özellikler için yine 20–50 g.lık örnek yeterlidir. Kızdırma kaybı analizleri için az miktarda örnek (500 mg.) yeterli olacaktır mineralojik analizler için de az miktarda örnek yetmektedir. Mekanik deneylerin yapılabilmesi için harçlardan 4x4x4 cm.lik küp veya 4x4x16 cm. boyutunda prizma olması gerekmektedir. Kireç harçları çok dağılgan oldukları için bu boyutta örnek kesmek çok zordur, bu durumda nokta yükleme analizleri de basınç dayanımıyla ilgili bilgi vermektedir **(Güleç ve diğ., 2005).**

Örnek çekiç ve murçla alındıktan sonra, torbaya konup ağzı iyice bağlanmalıdır. Doğru şekilde etiketlenmelidir **(Ashurst,J. ve N., 1990).** Laboratuarda kurutulana kadar iyi bir şekilde muhafaza edilmelidir, çünkü harç çabuk kurur **(RILEM, 2005; Güleç, 1992).** Örnek almada, plastik poşet, etiket, not defteri, fotoğraf makinesi kullanmak önemlidir **(Teutonico, 1988).**

4.2 Özgün Harç ve Sıvaların Özelliklerinin Belirlenmesi

Geleneksel harçlar çok kompleks ve çeşitlidir, bu çeşitlilik bağlayıcı, agrega, organik maddeler, katkılardan kaynaklanmaktadır. Tarihi harçların özellikleri bu harçları kullanan ve tanımlayanlar için önemlidir, bu özellikler laboratuar analizleri yapılarak tespit edilir. Harçlarda doğru bir bilimsel tespit için farklı analizlerin yapılması, sonuçların tespit edilmesi ve tam bir analitik rapor hazırlanması gerekmektedir. Tarihi yapıların onarımında o yapıda kullanılmış olan orijinal bağlayıcı, agrega ve katkılara uygun malzemeler kullanılmalıdır.

Tarihi yapıların onarımında aynı tarihli, aynı stilde olan yapıların birbirine benzediği düşünülüp daha önce yapılmış analizlerle ilgili bilgiler ve belgeleri herhangi bir yeni yapının restorasyonunda kullanmak doğru sonuç vermez. Her yapının kendine özgü bir yapım tekniği ve malzemesi vardır. Her yapının orijinal harç örnekleri onarım çalışmasına başlamadan önce analiz edilmeli, sonuçlar yorumlanmalı, onarım harcı için bir reçete hazırlanmalı ve ona göre restorasyon çalışmalarına başlanılmalıdır **(RILEM, 2005).**

4.2.1 Makroskobik Gözlemler

Deneysel çalışmalardan harcın gözle görülebilen kireç yumruları, lifli katkıları, farklı katmanları, harcın dokusu, rengi, sertliği, agrega tipi, boyutu, bileşenlerinin yoğunluğu incelenir ve kaydedilir **(Ashurst, J. ve N., 1990; Güleç, 1992; Güleç ve diğ., 2005).**

4.2.2 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Fiziksel karakterler tarihi yapılarda uygun onarım harçlarının gelişimi için önemli bilgiler verir. Örneğin gevrek olması, düzensizliği gibi faktörler nedeniyle bu analizleri yapmak zordur ve özenli çalışma gerektirir. Testlerde genelde su emme, porozite, özgül kütle, boşluk boyutu dağılımı, basınç dayanımı tespit edilir, fiziksel analizlerde yeterli miktarda (20–50 g.) örnek olması gerekmektedir **(Candeias ve diğ.; Güleç ve diğ., 2005).**

4.2.2.1 Su Emme Oranı (Kütlece/ Hacimce)

Fiziksel özellikler harçların karakterizasyonu ve konservasyon çalışmaları için önemli bilgiler verir. Su emme deneyi ile malzemenin su geçirgenliği tespit edilir **(Candeias ve diğ.).** Örnek üzerinde kirler temizlenerek 60 °C'de 24 saat kurutulur, desikatörde soğutulup etüv kurusu ağırlığı belirlenir (WSilk). Su ile dolu bir kaba örnek yerleştirilir, su miktarı örneğin en az 2 cm. üzerinde olmalıdır. 48 saat beklenir. Sudan çıkarılıp yüzeyi kurulanıp tekrar tartılır. Bu, örneğin suya doymuş ağırlığıdır (WSd) **(Teutonico, 1988; Şimşek, 2003).** Örneklerin hacimce su emmelerini tespit etmek için su içinde tartılır ve kaydedilir (WSi) **(Teutonico, 1988).**

$$\text{Ağırlıkça su emme yüzdesi (Sk)} = \frac{WSd - WSilk}{WSilk} \times 100$$

$$\text{Hacimce su emme yüzdesi (Sh)} = \frac{WSd - WSilk}{WSd - Wsi} \times 100$$

Örneğin boşluk hacmi = WSi – Wsilk

Örneğin görünen hacmi = WSi – WSd,

Ayrıca, Hacimce su emme yüzdesi (Sh) = Sk x Δ

4.2.2.2 Birim Hacim Kütlesi

Şekli düzgün olmayan cisimlerde birim hacim kütlesi su emme deneyinden yararlanılarak yapılır **(Teutonico, 1988).**

$$\text{Birim Hacim Kütlesi } (\Delta) = \frac{Wsilk}{WSd - Wsi} \quad (g/cm^3)$$

Wsilk = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (g)

WSd = Suya doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (g)

Wsi=Suya doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi (g) **(TS-699,2000).**

4.2.2.3 Özgül Kütle

Özgül kütle, maddenin yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranıdır. Malzemeler boşluklu yapıya sahip oldukları için özgül ağırlık deneyi piknometre prensibi ile tespit edilir **(Şimşek, 2003).** Buna göre belirli miktar öğütülmüş malzeme 0,1 mm.lik elekten elenir ve tartılır (W) **(Kocataşkın, 1969).** Su dolu kavanoz ve ağzına hava aldırmadan yerleştirilen kapak tartılır (W_1). Daha sonra kavanozun içinden bir miktar su dökülüp, öğütülmüş malzeme eklenip kavanoz tekrar su ile doldurulup, kapak ile birlikte tartılır (W_2). Buna göre;

$$W + W_1 = W_2 + V$$

V = Yaklaşık olarak hacmi vermektedir. Buna göre özgül ağırlık;

$$\text{Özgül ağırlık } \delta = \frac{W}{V} \quad (g/cm^3)$$ **(TS-699, 2000).**

4.2.2.4 Porozite Oranı

Porozite, boşluk hacmi, yüzey alanı ve boşluk boyut dağılımını verir. Harcın bünyesi ve boşlukluluk özelliği yapıdaki bozulmalarda önemlidir. Porozite bir malzemenin içindeki boşlukluluk oranı, komposite ise malzemenin doluluk oranıdır **(Candeias ve diğ.).** Porozite = Boşluk hacmi / Toplam hacim

Porozite (p) + Kompasite (k) = 1

$$\% \text{ Komposite (k)} = \frac{\text{Birim hacim kütlesi } (\Delta)}{\text{Özgül kütle } (\delta)} \times 100$$

4.2.3 Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Harç birçok maddeden oluşan bir karışımdır. Kimyasal analizler bağlayıcı, agrega, pigmentler, katkı maddeleri, bozulma maddeleriyle ilgili bilgiler verirler. Bu analizler tarihsel araştırmalar için de bir sonuç teşkil eder. Kimyasal analizler, fiziksel özellikler ve mineralojik özellikler olmadan yetersizdir **(Candeias ve diğ.).** kimyasal analizler, malzemenin kimyasal bileşenlerinin tespitinde kullanılmaktadır.

4.2.3.1 Asit Kaybı Analizi

Asit kaybı analizi bağlayıcı, ince agrega ve kaba agregayı ayırmak ve kireç miktarını hesaplamak için yapılır. Bu analiz mikroskobik ve mineralojik analizlerle birlikte değerlendirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan kimyasallar ve araçlar; etüv, örnek, karıştırıcı, balonjoje, filtre kâğıdı, huni, %10 oranında hazırlanmış HCl ve distile sudur **(Teutonico, 1988; Güleç, 1992).**

Harcın orijinal bileşenlerinde agrega ve kireç bağlayıcı olarak birbirinden kolayca ayrılmaz. Bağlayıcı ve agregayı ayırmak için harç örneğinin seyreltilmiş asitte bağlayıcısının reaksiyona girmesiyle ayrılmasını sağlar. Asit kaybı analizinin en önemli sonucu bağlayıcı asitte çözülürken, silisli agreganın asitten etkilenmemesidir.

Asit kaybı analizinde asidin tipi veya konsantrasyonuyla ilgili ulusal bir standart yoktur. Fakat İtalya'da bir uzmanlık programında, aynı sıcaklıkta, aynı örnekte, aynı konsantrasyonda asit kullanılarak aynı sürede örnek tutulmuş ve sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır **(RILEM, 2005).**

Harcın içinde kullanılan agregada bağlayıcı malzemeye benzer katkılar olabilir, bunların tespiti için XRD ve petrografik analizler yapılır. Asitte çözünmeyen agrega ise deneysel çalışma şu şekilde yapılır. Örnek kırılıp ağırlığı tespit edilmiş bir behere konur (dissaggregation). RILEM' e göre bu analiz için 20-23 °C sabit bir sıcaklık gerekmektedir. 20-50 g.lık örnek behere konur ve üzerine %10 oranında hazırlanmış HCl eklenir ve 60 dakika karışım karıştırıldıktan sonra ilk ağırlığı kaydedilmiş filtre kâğıdından süzülür, beherin dibinde reaksiyona girmeden kalan kısmı korumak kaydıyla bu kalan kısım asitten temizlenene kadar su ile yıkanıp süzülür. Reaksiyona girmeyen kısım filtre kâğıdına alınıp, kalan agregayı belirlemek için kurutulur. Filtre kâğıdından kalsiyum ve magnezyum bileşenleri belirlenir. Reaksiyona girmeyen kısmın kurutulup belirlenmesinden sonra çözünen kısım da kuru kısımdan hesaplanır. Bu çalışmada asitte çözünen silika varlığı analizi bozabilir, bunlar petrografik analizlerle belirlenir **(RILEM, 2005; Güleç ve diğ., 2005).** Çözünen silikaların tespiti için sodyum karbonat içinde kaynatma yöntemi de uygulanabilir **(Teutonico, 1988).**

ICCROM'daki çalışmalara göre, örnek 24 saat 60 °C'de kurutulur ve tartılır (W_1). Örnek %14 oranında hazırlanmış HCl ile beherde bekletilir. Asitte çözünme işlemi tamamlandıktan sonra filtre kâğıdı numaralandırılıp, tartılır (W_2). Balonjojeye yerleştirilmiş huninin ağzına filtre kâğıdı yerleştirilir. Beherde bekleyen karışıma bir miktar asit eklenip, çözünme işlemi tamamlandığı kontrol edilir. Çözünmeyen kısmı beherin dibinde tutmaya özen gösterilerek, beherdeki agrega temizlenene kadar su ile yıkanır. Agrega yıkanırken ve filtre edilirken, su şişeden dikkatlice boşaltılmalıdır. Filtre kâğıdı ve beher 24 saat kurutulur. Kurutulmuş filtre kâğıdı tartılır (W_3). Filtre kâğıdında kalan kil gibi ince agregalardır = W_3 - W_1; W4 beher ağırlığı ise beherde kalan agrega da kaba agregadır. Buradan da kaba ve ince agreganın toplamı malzemedeki agrega miktarı ise, ilk malzemeden agrega miktarını çıkarıldığında bağlayıcı tespit edilir. Analiz sonunda bulunan sonuçlardan bağlayıcı/agrega oranı, ince/kaba agrega yüzdesi tespit edilir ve kalan agrega elek analizi yapıldıktan sonra her elek boyutunda kalan agregaya göre ayrı ayrı renk, tanecik boyutu, şekli ile mikroskopta incelenir **(Teutonico, 1988; Ashurst, J. ve N., 1990).**

Bu analizde belirlenen bağlayıcı Ca miktarı kalsiyum karbonat, kalsiyum silikat, kalsiyum sülfat, kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidrat olabilir **(Ellis, 2002).** Analiz sırasında örneğe HCl eklendiğinde çıkan gaz CO_2 gazıdır ve çözünmeyen

agrega kısmı gözle görülür bir şekilde taneciklere ayrılır **(Wells, 2004).** Analiz sonunda agrega incelendiğinde kil (ıslanınca, sarı renklidir); tuğla (kırmızı-kahve); çimento (gri); kum (rengi yoktur, dokununca anlaşılır) **(Ashurst, J. ve N., 1990).**

Çözünen kısımda, kalsiyum, magnezyum, alüminyum, demir ve sodyum (bazı durumlarda oksitleri) atomik absorbsiyon (AAS) veya ICP analizleriyle belirlenir **(Güleç, 1992; Candeias ve diğ.).** Bu sonuçlar geleneksel harçların hidrolik olup olmadığı ile ilgili ve çözünen tuzların, alkalilerin varlığıyla ilgili bilgiler verir. Sonuçlar minerolojik analizlerle doğrulanır **(Candeias ve diğ.).**

Asitte Tümüyle Çözünen Agregalı Kireç Harcı ve Alçı Bileşenli Harçlarda Asit Kaybı Analizi:

Eğer harç agregası tümüyle ya da bir miktar kalker içeriyorsa, asit kaybı analizinde bağlayıcı/agrega oranında doğru bir sonuç vermez. Bu analizlerle birlikte XRD ve petrografik analizler yapmak gerekir **(RILEM, 2005; Candeias ve diğ.).**

Kalkerli agregayı, bağlayıcıdan ayırmak için kullanılan bir başka metot da mekanik ayırmadır. Bu metotta ilk olarak seramik havanda lastik dövücü ile agrega kırılmadan ayrılır. Daha sonra ultrasonik aletler kullanılarak, örnek suya konur ve ultrasonik dalgalar kullanılır. Bağlayıcıyı agregadan ayırdıktan sonra 63 μm'lik elekten geçirilir. Elekten geçen malzeme bağlayıcı yönünden zengin, elekte kalan malzeme ise agregaca zengindir **(RILEM, 2005).**

Alçı harcı ise M.Ö. 300'lü yıllarda Ortadoğu ve Mısır'da kullanılmıştır. İki çeşidi olan alçının selenit ($CaSO_4.2H_2O$) camsı, saydam, jips ise sıkı mikrokristal yapılıdır. Anhidrit alçı ise ($CaSO_4$) sıkı, kristal ya da şeker yapısı şeklindedir **(Güleç, 1992).**

Mikroskobik analizler, XRD analizleri alçı ya da anhidrit alçı, kuvars ya da feldispat gösterirse alçı asit kaybı analizinde çözünmeyeceği için bağlayıcı/agrega oranı başka bir metotla tespit edilir. Bunun için örnek yine 1/3 oranında seyreltilmiş HCl ile bu defa 2 dakika kaynatılarak yapılır. Bu duruda alçı çözünür, soğuma sırasında 200 ml. Kaynamış su eklenerek çözünmüş sülfatın çökelmesi engellenir, yine filtre kâğıdından süzülerek elde edilen çözünmeyen kısım agregadır **(RILEM, 2005).**

4.2.3.2 Kızdırma Kaybı Analizi

Harç içerisindeki karbonat, su, alçı gibi maddeleri tespit etmek için kızdırma kaybı analizleri uygulanır. Bu analizler nem tayini, 550 °C ve 1050 °C 'deki kızdırma kaybı ve karbonat miktarını belirlemek için yapılır.

Harç içerisindeki nem birikimi RILEM'e göre şöyle yapılır. Örnek ağırlığı bilinen bir krozeye konur ve 40 °C'de kurutulur. Kuruduktan sonraki ağırlığı ile kurumadan önceki ağırlığı karşılaştırılarak nem içeriği belirlenir. Harcın 1 gün fazla kuruması aradaki farkı %1'den daha fazla değiştirmez.

Bazı kaynaklara göre örnek 105 °C'de 2 saat kurutulup, desikatörde soğutulup, tartılarak aradaki fark hesaplanır.

W = Örneğin ilk ağırlığı

W_1 = Örneğin kuruduktan sonraki ağırlığı

$$\% \text{ Nem} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Kızdırma kaybı analizi, sıvaların hidrolik özelliklerini tayin etmek için yapılır. Kızdırma kaybı analizinde 200 °C -600 °C arasında, kireç ile tuğla arayüzündeki hidrolik ürünlerin molekül suyu kaybolurken, 600 °C- 900 °C arasında karbonatlaşmış kirecin ($CaCO_3$) CO_2 gazı çıkışı ile ağırlık azalması meydana gelir. Bu iki sıcaklık farkı oranından CO_2 kaybı/ molekül su kaybı 1-10 oranındaysa harç hidrolik, 10'dan fazla ise hidrolik değildir **(Bakolas ve diğ, 1998; Uğurlu ve Böke, 2006).**

Harç içindeki molekül suyu ve organik madde kayıpları 550 °C'lik fırında örneğin kroze ile 1 saat bekletilip tartılmasıyla ölçülür **(Güleç, 1992).**

W_1 = 105 °C'deki ağırlık 2 saat (etüvde)

W_2= 550 °C'deki ağırlık 1 saat (kül fırını)

W_3= 1050 °C'deki ağırlık ise, 1/2 saat (kül fırını)

550 °C'deki kızdırma kaybı;

$$\% \text{ Kızdırma Kaybı } (550°C) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

1050 °C'deki kızdırma kaybı;

$$\% \text{ Kızdırma Kaybı } (1050°C) = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

Harçlar 589 – 755 °C arasında kalsinasyon reaksiyona uğrarlar ve CO_2 çıkışı olur, böylece harçtaki kalsit varlığı anlaşılır **(Rampazzi ve Bugini, 2006).**

Örneğin 1050 °C'de yapılan kızdırma kaybı ile;

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ (karbondioksit çıkışı)

$$\% \text{ Karbonat Miktarı} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times \frac{100}{44} \times 100$$

W_1 = 105 °C'deki ağırlık

W_2= 500 °C'deki ağırlık

W_3= 1050 °C'deki ağırlık

4.2.3.3 Elek Analizi

Örneklerin içerdiği agregaların tane boyut dağılımlarını belirlemek için elek analizi yapılır **(Güleç, 1992).** Asit kaybı yapılan örnekte çözünmeden kalan kısım agregadır. Bu analizden sonra agrega kurutulur, mikroskopla agreganın rengi, şekli, tipi incelenir ve elek analizi yapılır **(Ashurst, J. ve N., 1990).** Kuru agrega tartılır ve büyükten küçüğe göre sıralanmış 0,063; 0,125; 0,250; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 mm. ölçüde ve agreganın boyutuna göre olan eleklerden en üstteki eleğe dökülerek elek üzerinde kalan agrega miktarı belirlenir. Elekte kalan miktar tartılır, kaydedilir ve toplam agregaya göre hesaplanır. Elekten geçen malzeme yüzdesi logaritmik olarak diyagramda gösterilir ve buna göre tane boyutu dağılım eğrisi çizilir **(RILEM, 2005; Goins, 2002; TS 4312; ASTM C295-92; Şimşek, 2003).**

Agrega granülometri eğrisi, harç agregasıyla ilgili bilgi verir. Örneğin miktarına bağlı olarak maksimum tane boyutunu gösterir. Onarım harcı hazırlanmasında granülometri eğrisinden faydalanılır **(RILEM, 2005).** Elek analizi sonunda elekten kalan agregalar her bir elek boyutu için stereo mikroskop ile incelenerek agrega hakkında bilgi verir **(Güleç ve diğ., 2005)**

4.2.3.4 Protein Analizi

Saç, lif, saman, hayvan kılı gibi katkılar bağlayıcı ayrıldıktan sonra makroskobik olarak görülebilir. Protein analizi harçta ne çeşit protein olduğunu göstermez, protein içindeki aminoasit yapı taşlarının harçta olup olmadığını gösterir. Protein içeren organik maddeler bakterilerle çürüyebilir ve bozulabilir, sonuç olarak bu metotla görülmeyebilir ya da analizin tespit limitlerinin altında olabilir. Bu nedenle analizdeki negatif sonuç kesin olarak harçta organik madde olmadığını göstermez.

Bu analiz için 100-200 mg. kırılmış harca %1 saf alkolik ninhidrin solüsyondan 10 damla katılmasıyla kaynatılır. Kaynama sırasında mavi-mor renk görülürse sonuç pozitiftir yani protein vardır, solüsyon kırmızı-mor ise sonuç negatiftir **(RILEM, 2005).**

Güleç ve Ersen'den edinilen bilgilere göre protein testi; kapilar tüpün bir ucu ısıtılarak kapatılır, ince elenmiş harç numunesi tüpün içine sokulur, sonra ince kesilmiş ve para-diamino benzaldehite emdirilmiş filtre kâğıdının bir ucu harca dışarıda kalacak şekilde tüpe yerleştirilir. Tüp alt kısmından ısıtılır, eğer filtre kâğıdındaki renk pembeye dönüşürse protein vardır.

4.2.3.5 Yağ Analizi

Yağ analizinde ince kırılmış, öğütülmüş örnek saat camına konur üzerine küçük bir kristal $CuSO_4$ eklenip karıştırılır. Bir iki damla amonyak eklenerek süspansiyon oluşturulur. Ardından H_2O_2 damlatılarak reaksiyonun tamamlanması beklenerek mikroskop altında örnek incelenir. Yaklaşık 20 dakika sonra örnekte kalıcı kabarcıklar varsa harç yağ içeriyor demektir, kabarcıklar geçici ise yağ yoktur **(Güleç, 1992).**

4.2.3.6 Tuz Analizleri

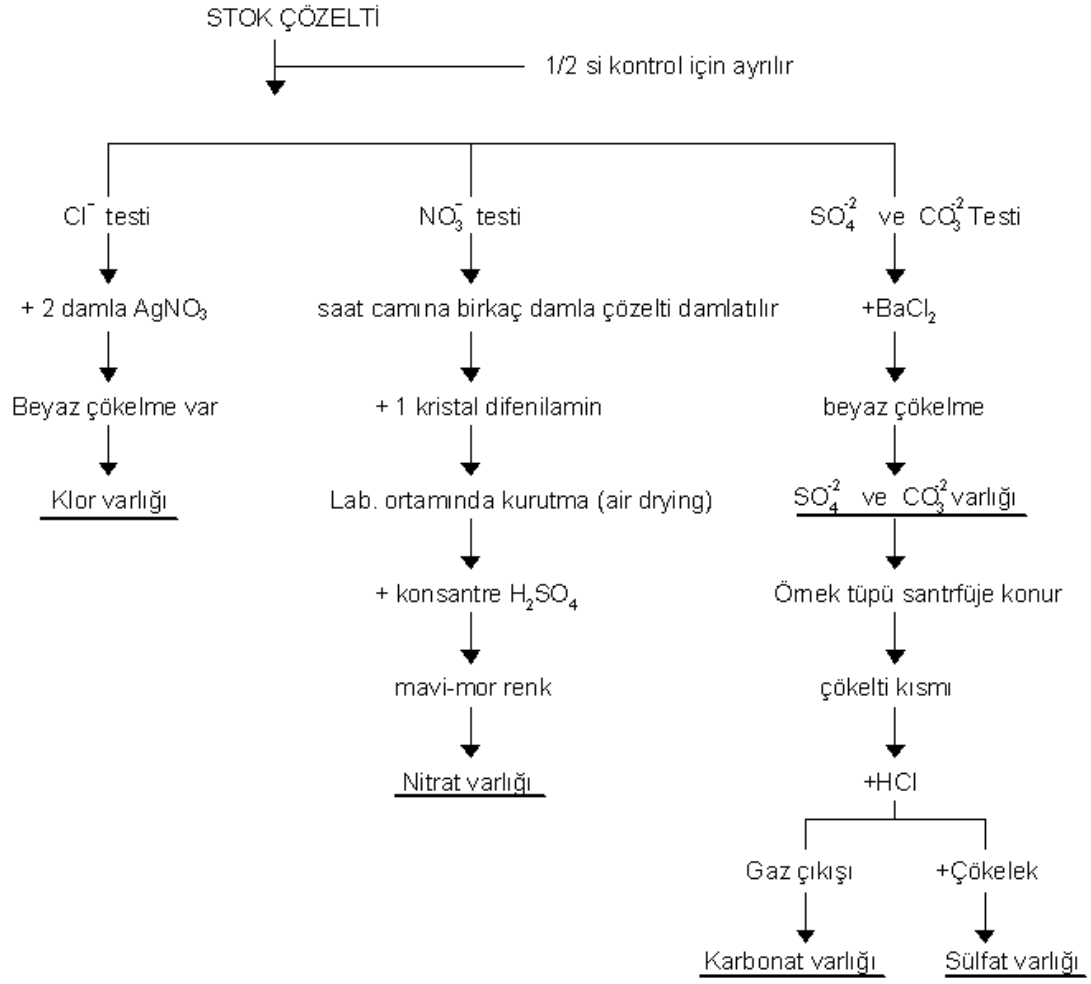
Yapının yeri ya da çevresel etkiler nedeniyle tuzların varlığı, harca penetrasyonla girmesi ya da harç içinde fiziksel, kimyasal değişmelerle oluşabilir. Harç içerisinde alçı ve tuzların oluşması kükürtdioksidin absorbsiyonunun ya da su içeren solüsyonların harç içinde taşınmasından meydana gelir. Tuz kapilarite ile tabandan yukarıya doğru yayılır. Su buharlaştığı zaman tuzlar malzemenin yüzeyine çıkar ve kristalleşir. Bu nedenle zararlı tuzlar yapının farklı bölgelerinde farklı etkilere sahiptir. Birçok tuz (klor, sülfat, nitrat alkalileri ve toprak alkalileri, amonyum) suda kolayca çözünür ve yüksek doyma konsantrasyonunu gösterir **(RILEM, 2005).**

Malzemedeki bozulma; malzemenin kendisi, su, atmosferin ya da suyun içerisindeki kirletici bileşikler ve mikroorganizmalardan kaynaklanmaktadır. Bozulma bu bileşenlerin arasındaki reaksiyonla ortaya çıkan suda çözünen tuzlardır. Harçlarda çözünen tuzların nitelik araştırması, iyon tipleri hakkında bilgi verir (sülfat, klorat, vs.). Tuzlar yüzeyde çiçeklenme (efflorence), daha içte ise kabuk altı çiçeklenme (sub-eflorasans) oluştururlar **(Teutonico, 1988; Borelli, 1999).**

Klor ve nitrat, yüksek çözünürlükte tuzlardır, nemli olduklarında siyah çözelti halindedirler. Kurumaya başladıklarında kristallenirler ve çiçeklenmeye sebep olurlar. Çok yüksek çözünürlüğe sahip oldukları halde, kristallenmeleri için malzeme suyunun buharlaşmasına gerek vardır. Buharlaşma hızlı olursa sınırlı zararlara sebep olurlar. Bazen kristallenme çok baskındır, iç tabakaya ilerler ve kohezyona sebep olur. Yavaş çözünen tuzlar daha tehlikelidir. Buharlaşma yavaş olursa yapıda kayıplara neden olurlar. Bunların içinde alçı ($CaSO_4.2H_2O$) en yaygın olanlarıdır **(Borelli, 1999).**

Tuz analizleri için örnek hazırlanması:

Tuz analizlerinde toz haline getirilmiş 1 g.lık horasan harcı örneği balonjojeye konur, üzerine 100 ml. saf su konarak malzeme 1 gün bekletilir. 1 gün sonunda santrfüjleme ile katı ve sıvı kısım (stok çözelti) ayrılır. Çözünmeyen kısmın test tüpünün dibinde kalıp, solüsyonun berrak olması gerekmektedir. Çözünmeyen kısımdan 2-3'er ml. alınıp berrak çözeltiden sülfat, klorür ve nitrat analizleri için üç test tüpüne 2-3'er ml. alınır. Bir kısım örnek kontrol için saklanır. Şekil 4.2'de tuz analizlerinde izlenecek deney akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.2: Tuz analizlerinde izlenecek deney akış şeması **(Güleç).**

Sülfat SO_4^{-2} ve Karbonat Analizi CO_3^{-2}:

Sülfatlar genellikle yapıda hidrate kalsiyum sülfat olarak (alçı, $CaSO_4.2H_2O$), sodyum sülfat ($Na_2SO_4.10H_2O$-mirabilit), susuz sodyum sülfat (Na_2SO_4-thenardite) ya da magnezyum sülfat ($MgSO_4$) olarak bulunur. Doğal soydum sülfat ve susuz sodyum sülfatın bir arada olması yapıda hidrate ve unhidrate aşamaların transformasyonunun çürümede etkili olduğunu gösterir. Normal hava şartlarında bile (32,4 °C'nin altında) thenardite ve mirabilit etkileri devam edebilirler. Sülfatlar yapıya kapilarite ile girerler, deniz suyunda bulunan klorat, sülfat, özellikle magnezyum sülfat deniz suyunun yapıya sıçraması ile geçer **(Rodriquez-Navarro ve diğ., 2000; Velosa ve diğ.;Borelli, 1999).**

Harçların hazırlanmasında kullanılan bazı maddeler az miktarda sülfat içerebilir. Bunlar suyun varlığı ile çözünürek malzemeye girebilirler, yapılarda restorasyon çalışmalarında alçı kullanılması da sülfat varlığına neden olur. En önemli sülfat kaynağı ise atmosferik kirliliktir. Hidrokarbonların yanması sırasında yakıtın içinde bulunabilecek kükürt yanarak sülfür dioksit oluşur (SO_2) ve atmosfere salınır. Sülfürdioksitin oksitlenmesiyle sülfürtrioksit (SO_3) oluşur.

$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ (sülfirik asit)

$H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$

Sülfürik asit (H_2SO_4) malzeme içeriğine yağmurla girebilir veya kuru havalarda ise bu reaksiyon malzeme içeriğine giren SO_2 ile de gerçekleşebilir ve duvarda ise $CaCO_3$ ile reaksiyona girebilir. Bir başka ihtimal olarak havada bulunan sülfürik asit (H_2SO_4) amonyak gibi basit bileşiklerle birleşerek amonyum sülfat [$(NH_4)_2SO_4$] ya da havadaki küllerde $CaCO_3$ olması ile kalsiyum sülfat (alçı, $CaSO_4$) oluşturur.

Sülfat analizinde 2 ml.lik stok çözeltiye 1 ya da 2 damla %10 çözeltili baryum klorür ($BaCl_2$) eklenir. Baryum klorürün ($BaCl_2$) sülfat ile birleşmesiyle baryum sülfat ($BaSO_4$) oluşur, beyaz çökelme var ise bu da sülfat ve karbonat varlığını gösterir.

$SO_4^{-2} + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4 + 2\,Cl^{-1}$

(solüsyondaki sülfat) beyaz parçacıklar

Test tüpü santrifüje konulur. Çözelti kısmı atılır, çökelmiş kısma 1-2 damla HCl damlatılır. Gaz çıkışı yok, çökelme var ise sülfat varlığı anlaşılır. Gaz çıkışı da var ise karbonat vardır **(Borelli, 1999; Ersen).**

$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$ (gaz) ↑

(çözünmeyen) (çözünür)

Kalsiyum karbonat, kalkerli taşların ve harçların doğal bileşenleridir ve kirecin karbonatlaşmasıyla oluşur. Çiçeklenme yapan diğer tuzlardan farklı olarak, kalsiyum karbonat suda çözünmez. Eğer su yeterli miktarda CO_2 içerirse $CaHCO_3$ (bikarbonat) oluşabilir.

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$ (karbonik asit)

Atmosferde normalden daha fazla CO_2 olduğunda (endüstriyel alanlarda ya da kapalı alanlarda çok fazla insan olduğunda) karbonik asit (H_2CO_3) suyun varlığı ile kalsiyum karbonat ile reaksiyona girer ve kalsiyum bikarbonat oluşarak çözünür **(Borelli, 1999).**

Klor Analizi Cl^-:

Bu tuzlar genellikle sodyum klorür (NaCl) ve kalsiyum klorür (CaCl) olarak deniz suyundan ya da harçları hazırlamak için kullanılan kumlardan da kaynaklanır. Bazı endüstriyel atıklar da havada gaz haline gelerek hidroklorik asit (HCl, hidrojen klorür) olarak yapıya girerler. Yüksek çözünürlükte tuzlar oldukları için içlere kadar girebilirler **(Velosa ve diğ.).**

Tuz analizleri için hazırlanan çözeltide klor testi için ayrılan 2 ml. stok çözeltiye 1-2 damla gümüş nitrat ($AgNO_3$) eklenir. Eğer beyaz çökelme gözlenirse klor varlığı tespit edilir **(Borelli, 1999).**

$$Cl^- + AgNO_3 \rightarrow AgCl\downarrow + NO_3^-$$

(solüsyondaki klor) (beyaz parçacıklar)

Nitrat Analizi NO_3^-:

Nitritler duvarda genellikle bulunmazlar, onlar okside olup nitratlara dönüşürler. Atmosferik kirlilik ve tarımsal bölgelerden nitrat oluşur, nitrus ve nitrobakteriler nitrojenli bileşikler oluşturabilirler. Azot oksitler, nitrik asit oluştururlar (HNO_3). Duvar bünyesinde nitrik asit, kalsiyum nitrata dönüşür.

$$CaCO_3 + HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 4H_2O$$

Kalsiyum karbonat kalsiyum nitrat

Tuz analizleri için hazırlanmış solüsyondan 3. tüpteki çözeltiden 1-2 damlası saat camına damlatılır 1 kristal difenilamin koyularak karıştırılır. Laboratuar ortamında kuruması beklenir. Üzerine konsantre H_2SO_4 damlatılır, mavi- mor renk görülürse nitrat var demektir **(Güleç, 1992; Borelli, 1999).**

Bu analizler göreceli olarak ölçülür ve tabloda +, - olarak gösterilir. Bu analizlerde tespit edilen tuzların miktarı kabaca (+ sayısı ile) belirlenir.

4.2.3.7 pH Analizi

pH, çözeltinin asit mi baz mı olduğunu gösteren bir değerdir. H^+ iyonunun ters logaritmasının alınmasıyla bulunur. $H^+ \times OH^- = 10^{-14}$ sabit değerdir. Asit, hidrojen iyonlarının hidroksit iyonlarından fazla olması durumudur, hidroksit iyonlarının fazla olması baz olduğunu gösterir.

Asit : $H^+ > OH^-$, çok asitli solüsyonun pH = 1'dir.

Nötr : $H^+ = OH^-$, nötr solüsyonun pH = 7'dir.

Baz : $H^+ < OH^-$, çok bazik solüsyonun pH = 14'tür.

pH, harç le hazırlanmış stok çözeltilden pH şeridinin örnek ile ıslatılmasıyla değişen rengin durumuna göre renk listesinden kontrol edilmesiyle veya pH metre ile ölçülür.

4.2.3.8 Puzolanik Aktivite Analizi

Puzolanik aktivite, mineralojik testlerle anlaşılmaktadır, fakat bu testlerde puzolanlık tespit edilmesi için gerekli tepe noktalarına ulaşılamazsa test yeterli olmaz. Bunun için puzolanlık testinin yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte horasan harcında yer alan tuğla ve kiremit kırıkları killi malzemelerden yapıldığı için yapay puzolanlık özelliği taşır, bu nedenle puzolanlık testini yapmak daha doğru olacaktır.

Puzolanın tespitinde iki yöntem vardır, birincisinde ilk olarak asit ve baz ataklarıyla karbonat, silikat ve alüminatlar elenir, kalan kısım puzolanın kristal evreleridir, bunlar XRD ile kolayca tespit edilir. İkinci yöntem ise puzolanik aktivite testidir. İlk olarak doygun $Ca(OH)_2$ çözeltisi hazırlanır ve çözeltinin harç bileşenleri ile karışmadan önceki elektrik iletkenliği ile elek analizinde belirlenen harcın 125 μm. altında kalan kısmının 1 g/50 ml. oranında çözeltiyle karıştırıldıktan sonraki elektrik iletkenlik değerinin gözlemlenmesi ile harcın puzolanlık özelliği tespit edilir. Eğer reaksiyondan sonra iletkenlikler arasındaki fark 1.2 mS/cm'den büyük ise harç iyi puzolan, 0,4-1,2 mS/cm arasında ise puzolan, <0,4 mS/cm ise puzolan değildir. Her iki yöntemde de kullanılacak örnek bağlayıcı yönünden zengin olmalıdır, kaba agregalar içermemelidir **(Palomo ve diğ.; Çizer ve diğ., 2004; Uğurlu ve Böke, 2006; Budak ve diğ., 2004).**

4.2.4 Mikro Yapı Analizleri

XRD, SEM-EDX, DTA gibi cihaz gerektiren bu ileri teknik analizler; bağlayıcı, agrega, katkı maddelerinin varlığı, bunların mineralojik yapısı, bozulmadaki mineralojik evrelerin tespiti, silikatlaşmış bileşiklerin incelenmesi için uygulanır.

4.2.4.1 İnce Kesit Görüntüleri (Petrografik Analiz)

Petrografik analiz ya da optik mikroskop yöntemi malzemenin ince kesitini incelemek üzere polorize mikroskop ile yapılır. İnce kesit malzemenin çok ince dilimleridir ve harcın bileşenlerinin, bağlayıcı agrega arasındaki sınır reaksiyonunun varlığının görülmesini, agrega tipi ve bağlayıcısının özelliklerinin tayin edilmesini sağlar.

7-20 cm^2'lik örnek su kullanılmadan kesilir ve 40 °C'de kurutulur. Bu sıcaklıkta kurutulmasının sebebi alçının dehidrasyona uğramasını ve sıcaklığa bağlı olarak harcın fiziksel değişimini engellemek içindir **(RILEM, 2005).** Güleç'in tezinde ise kurutma işleminin 105 °C'de 2 saat süreyle olması gerektiğini belirtmiştir.

Bu analizde polyester, epoksi, Kanada Balsam, kalıp ve mikroskop camları kullanılır. Örnek hazırlanırken bir kalıp içerisine önce reçine konup örnek konarak düşük viskozitide epoksi reçinesi emdirilir, eğer reçine renkli olursa harcın içindeki gözeneklere, boşluklarla, çatlaklara dolarak incelenmesini kolaylaştırır. Reçine sertleştiği zaman kalıptan çıkarılarak, örnek etiketlenir. Örnek 1 mm. kalınlıkta dikkatlice kesilerek 20–30 µm inceliğe gelecek şekilde zımparalanır **(Teutonico, 1988; Güleç, 1992).** İnce kesitin yapılması için 20–30 µm'lik incelik, ışığın kristal ve amorf malzemelerden geçip harç bileşenlerinin tespiti için gereklidir **(RILEM, 2005).** Parlatılmış yüzeye "Kanada Balsamı" sürülerek "lamel" üzerine yapıştırılır, hava kabarcıkları olmamasına dikkat edilmelidir. Kanada Balsam'ın kullanılma sebebi yansıma indeksinin 1,52–1,54 arasında olup lam ile aynı kırılmaya sahip olması böylece örneğin mikroskop altındaki görüntüsünü engellememesi ve karıştırmamasıdır **(Teutonico, 1988).**

Örnek lam'a yapıştırıldıktan sonra yapıştırıcının fazlalığını temizlemek için ultrasonik banyo yaptırılır. Tekrar yapıştırıcı kullanılarak mikroskoba paralel olarak incelenir. Ultrasonik banyo tekrarlanarak, kurutulur ve son ince kesit ince cam ile

kapatılır ya da yüzey 0,25 µm. ölçülü yapıştırıcı ile parlatılır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra harcın ince kesiti polarize transmite ışık kullanılarak petrografik mikroskopta incelenebilir. Eğer RED I kullanılırsa renkli epoksi reçinesine gerek kalmaz.

İnce kesitte, bağlayıcı çok ince olmasına rağmen polarize ışık altında bağlayıcının tipi alçı mı, kireç mi, hidrolik kireç mi anlaşılır. Bağlayıcı/agrega oranı nicel ve nitel olarak görülür, yüzeylerin uzamsal dağılımı görülür. Polarize ışık sayesinde agrega tipi, boyutu, rengi, organik lifler (saç, saman. vs…), puzolanik maddeler (tuğla tozu, sünger taşı, vs.), kireç topakları, bağlayıcının bünyesine tuzların girip kristalize olup bozulma, çatlak olup olmadığı anlaşılır **(RILEM, 2005; Candeias ve diğ.; Teutonico, 1988).**

Daha detaylı bir inceleme olarak reflekte ışık mikroskobu ile yüzey asit ile muamele edilerek hidrolik harcın parlayan kısımları ile hidrate olmayan hidrolik kısımları (C_2S, C_3S, C_3A) belirlenir. Florasan ışınım reçinesi emdirilerek de florasan ışık mikroskobu (ultraviyole ışık kullanılarak) harcın gözenekleri, çatlakları, başka yolla görülmeyen bu özellikleri görülebilir **(RILEM, 2005).**

4.2.4.2 X-Işını Analizi

Harç içindeki malzemelerin farklı kristal kırılma ve yansıma indekslerine sahip olması ile bağlayıcılar (kireç, alçı ve hidrolik bileşenler) ve agregalar (silis, kalker ve diğer agregalar), puzolanlar, X-Ray kırılma analizleri (XRD) ile belirlenir **(Ashurst, J. ve N.,1990).** XRD agrega içindeki karbonatla, bağlayıcı içindeki karbonatı ayırmaz. Sadece farklı kristal aşamaların piklerinin verir.

5-10 g. örnek iyice ezilerek 40 °C'de kurutulur. 63 µm'lik elekte elenir. Elekten geçen malzeme bağlayıcı yönünden zengin, elekte kalan malzeme agregaca zengindir. Bağlayıcı tekrar 43 µm.'lik elekten geçirilerek bağlayıcı agrega X-Ray kırılma difraktogramlar ile incelenir. Örnek hakkında bilgiler not edilirken, X-Ray tüpünün tipi (Cu, Co, vs.), yoğunluğu, voltajı (kV) not edilmelidir **(RILEM, 2005).**

XRD analizi agreganın mineralojisiyle ilgili bilgi verirken, litolojisiyle ilgili bilgi vermez, bunu petrografik analiz verir. Genel olarak organik katkılar XRD ile tespit edilemez. Spot kimyasal testlerle organik katkıların detaylı olarak araştırmaları

yapılır, gaz kramatografi, kimyasal analiz, FTIR, termal analizlerle belirlenir **(RILEM, 2005).**

Bazı malzeme araştırmacıları XRD analizini harçlarda iki aşamalı olarak uygulamaktadırlar. Ayrıntılı, kaba kırılma (overall fraction) 106 µm'de kalan malzemede ve hassas kırılma (fine fraction) 106 µm'den geçen malzeme de yapılmıştır **(Candeias ve diğ.; Silva ve diğ.)**

XRD analizi kristal yapıları olan malzemeleri tespit eden bir analizdir **(Ellis, 2002).** XRD'de belirlenen pikler JCPDS International Standart Mineral Data-base dosyaları kullanılarak bilgisayar programı ile dijital sonuçlar verir **(Virginia Lime Works, X-Ray Diff.Analyses).**

4.2.4.3 SEM-EDS Analizleri

Uzman analizciler tarafından taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Mikroskope, SEM) kullanılarak harcın bünyesi yüksek büyütme ile çok ince hidrolik harç tanelerinin karakteri ve mikro bünyesi analiz edilir. Hidrolik kireç harcı içindeki hidrolik özelik veren mineraller petrografik analizlerle tespit etmek için çok küçük boyutludur, XRD ile de miktarı az ve amorf oldukları için zordur. Organik katkıları da XRD ile tespit etmek zordur. SEM ile yüksek magnifikasyondaki analizler, hidrate hidrolik evreleri, kalsiyum silikat hidratları (C-S-H), portlandit yüzeyler gibi mikro yapısını tespit etmeyi sağlar **(RILEM, 2005).**

Örnek hazırlanırken ince kesit analizlerinden kalan örneklerin analiz yapılacak yüzeyleri, 3,1 ve ¼ mikronluk elmas parlatıcısıyla parlatılır ve sonra bu yüzey altın ile kaplanır. Hazırlanan örneklerden SEM cihazıyla görüntü alınır **(Güleç, 1992).** Örneğin altın veya karbon iletken tabaka ile kaplı olması SEM analizinde elektrik şarjının alınmasını kolaylaştırır, aksi halde görüntü oluşumu karışır. Environment SEM'de ise (ESEM) kaplama olmadan düşük viskozite ile örnek analiz edilir **(RILEM, 2005).**

SEM ile daha ileri derecede harç morfolojisi ve bileşenleri görülür, bağlayıcı-agrega arasındaki reaksiyon bileşenlerinin tipi, formu, dokuları, tuzlar, organik mikroorganizmalar ve harcın içindeki dağılımları tespit edilir. Kuvars, mika, feldspat

gibi agrega fragmanları görülür **(Silva ve diğ.; Candeias ve diğ.).** SEM'de 100.000x'e varan büyütmelerle harç içeriği tespit edilir **(Ellis, 2002).**

EDAX (Elemental Dispersive Analyses X-Ray Diffraction), Elemental Dispersif Analizli X-Işınları Difraksiyonu ile örneğin bileşenlerinin içindeki kimyasal maddeler yarı nicel olarak belirlenir. EDAX ile harcın mikrosal bünyesi, şekli, kristal yapısı diyagramlar şeklinde görülür **(RILEM, 2005).** EDAX ile harcın elementsel analizleri yapılır ve SEM'in tamamlayıcısıdır **(Candeias ve diğ.).**

4.2.4.4 Termal Analizler

Termal analizlerde 3 teknik vardır:

1. Thermogravimetry (TG)
2. Diffrential Thermal Analiz (DTA)
3. Diffrential Scanning Calorimetry (DSC)

TG, ısı ile ağırlık kaybını ölçer. Örneğin, alçının sıcaklık artışı ile ağırlık kaybının sebebi içindeki anhidritin hareketindendir.

DTA ve DSC en çok kullanılan metotlardır ve TG'den farklı olarak polimorfik transformasyonların tespiti ile ağırlık kaybı olmadan harcın içindeki mineralleri ortaya çıkarır. Örneğin 573 °C'deki kuvars tanelerinin α kuvarstan β kuvarsa hareketi endotermik zirveleri kaydederek sonuçları grafik olarak verir **(RILEM, 2005).**

Su kaybı kalsiyum silikat hidrat evresinde aynı sıcaklıkta olur. DTA ile minerallerin içeriğindeki kayıplar tespit edilir. Bazı minerallerde tipik ayrılma sıcaklıkları şöyledir:

$CaCO_3$ ➔ 650 – 890 °C

$Ca(OH)_2$ ➔ 400 – 520 °C

$MgCO_3$ ➔ 450 –520 °C

$Mg(OH)_2$ ➔ 350 – 420 °C

$Ca_3Si(OH)_5$ – (C_3S-Alite) ➔ 1425 °C

Ca_3SiO_4 – (C_2S-Belite) ➔ 693 °C

$CaSO_4 . 2H_2O$ (Alçı) ➔ 45 – 120 °C

Önemli ağırlık kaybı 650 – 820 °C'de kalsit karbonatlaşmasından önce olur **(Silva ve diğ.).** TGA sıcaklığa bağlı olarak ağırlık değişimlerini ölçerken, DTA enerji değişimlerini ölçerek, endotermik ve ekzotermik DTA eğrilerini piklerle gösterir. Nicelik analizleri TGA eğrilerine (termogramlara) bağlıdır, nitelik değerleri ise DTA'daki ağırlık kaybındaki bileşenleri verir. Tarihi harçlarda kalsiyum karbonat yüzdesi TG/DTA ile edinilir **(Candeias ve diğ.).**

Termal analizler kalsiyumlu bileşikleri ayırt eder **(Ellis, 2002).** Termal analizler bağlayıcının özelliğini belirlemek için yapılır, kalsit ve alçının ağırlık kaybı farklı sıcaklıklarda olur. Termal analiz toz halindeki örneklerin nitrojen gazı ile dakikada 10 °C ısıtma oranı ile 30 – 900 °C arasında ısıtılması ile yapılır **(Rampazzi ve Bugini, 2006).**

4.2.5 Mekanik Özelliklerin Tespiti (Nokta Yükleme Deneyi)

Horasan harçları çok zayıf oldukları için bu malzemelerde tek eksenli basınç dayanımı testi yapmak zordur, bu nedenle nokta yükleme methoduyla (point loading test) basınç dayanımları ölçülüp, sonuçları tek eksenli basınç dayanımı testiyle karşılaştırılmıştır. Bu test metodu International Society for Rock Mechanics (ISRM) Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests tarafından kullanılması tavsiye edilmektedir **(Güleç ve diğ, 2005).**

ISRM tarafından önerilen nokta yükleme basınç dayanımı formülü:

$\sigma = (0{,}89 \text{ X } F_p) / d^2$

d : Örneğin kalınlığı (mm)

F_p : Uygulanan kuvvet (N)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

Horasan harçlarından uygulanacak deneysel yöntemler incelendikten sonra belirlenen deney akış şeması göz önüne alınarak, Erken Bizans Dönemi yapılarından alınan derz ve çekirdek harcı olmak üzere 65 adet örnek üzerinde deneysel çalışmalar uygulanmıştır. Harçların morfolojik özellikleri, fiziksel özellikleri, hammadde kompozisyonları, kimyasal özellikleri, mineralojik karakterleri belirlenmiştir. Deney sonuçları tablolar halinde ifade edilerek, harçların yapılara göre ve genel olarak benzerlik ve farklılık gözlenen değerleri incelenmiştir.

5.1 Özgün Harç ve Sıvaların Özelliklerinin Belirlenmesi

Horasan harçların karakterizasyonunda, fiziksel özelliklerini, bağlayıcı/agrega oranlarını, agrega dağılımlarını, mineralojik yapılarını belirlemek için çeşitli analizler yapılmıştır. Mekanik dayanım testleri için yeterli boyutta örnek alınamaması, harçların dağılgan olması, örnek almadaki zorluklar nedeniyle bu çalışma kapsamında uygulanamamıştır.

5.1.1 Makroskobik Gözlemler

Malzeme örneklerinin dokusunu ve agrega dağılımlarını belirlemek amacıyla önce gözle daha sonra Zeiss SMXX modeli stereo mikroskopla incelenmiş ve örneklerin tanımları ölçekli fotoğraflarıyla beraber verilmiştir.

Örnek D11-D30 Büyük Saray derz harcı: Pembe renkli, esas bağlayıcısı kireç olan, agrega olarak en büyük 8 mm. çapında tuğla görülse de 4 mm. altındaki agregası daha fazla olan, kireç topakları görülen, sağlam yapılı bir harçtır, (Şekil 5.1a).

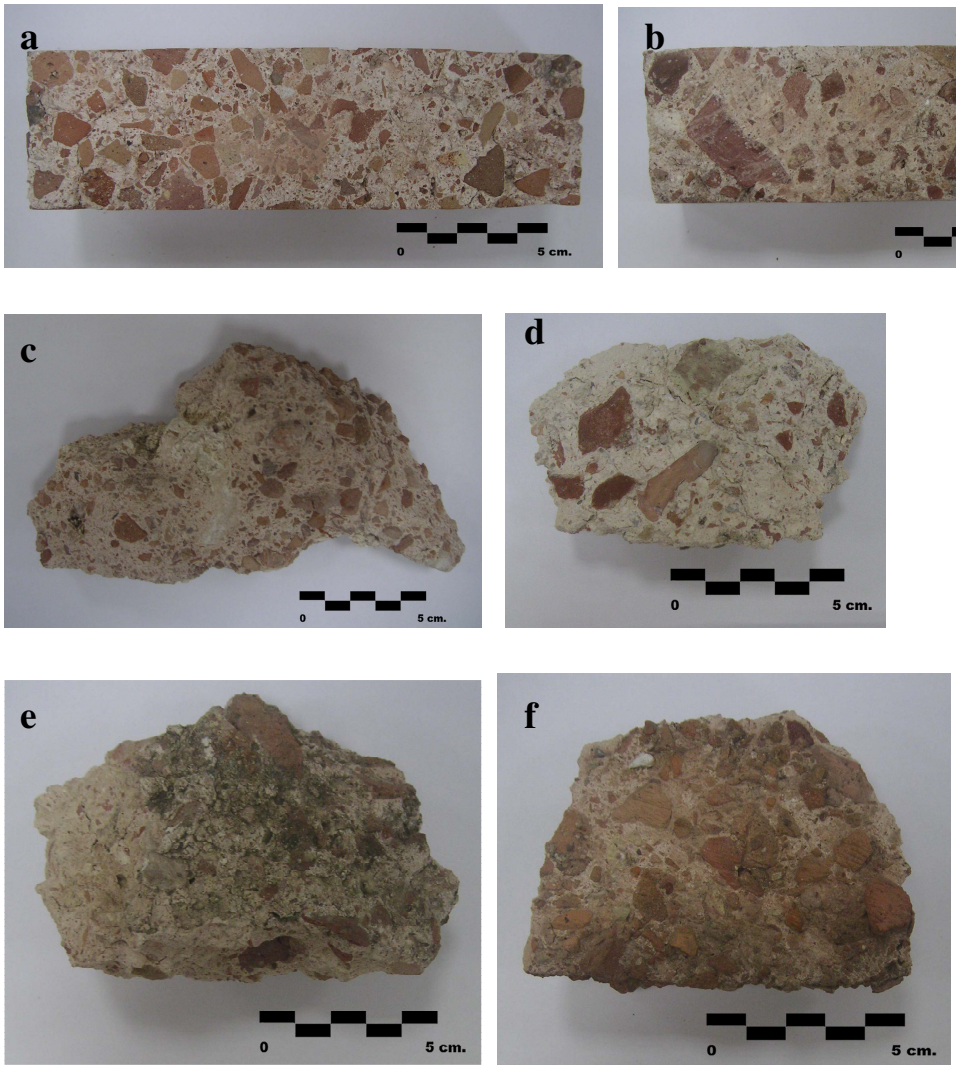
Örnek D12 Büyük Saray çekirdek harcı: Pembe renkli, 8 mm.de çakıl ve tuğla kırığı görülen, 4 mm.de ise sadece tuğla kırığından oluşan ve bu boyuttaki agregası baskın, tuğla tozu az, sert bir harçtır, (Şekil 5.1b).

Örnek D19 Bukoleon Sarayı derz harcı: Koyu pembe renkli, 8 ve 4 mm.deki tuğla kırığı yoğun, sararmış kireç yığınları görülen çok sertbir harçtır, (Şekil 5.1c).

Örnek D20 Bukoleon Sarayı çekirdek harcı: Kum miktarının fazlalığından dolayı açık pembe renkli, çok iri silisli agregaları olan, kumdan gelen mika taneleri olan sağlam bir harçtır, (Şekil 5.1d).

Örnek D14-D15 Lausos Sarayı örnek derz harcı: Pembe renkli, daha çok 16 ve 8 mm. çapında iri agregalardan oluşan, kum yoğunluğu fazla, sararmış kireç yoğunlukları gözlemlenen çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.1e).

Örnek D16 Lausos Sarayı çekirdek harcı: Tuğla tozunun fazlalığından dolayı pembe renkli, 8 ve 4 mm.de tuğla agregası daha yoğun olan kil içeren sağlam yapılı bir harçtır, (Şekil 5.1f).



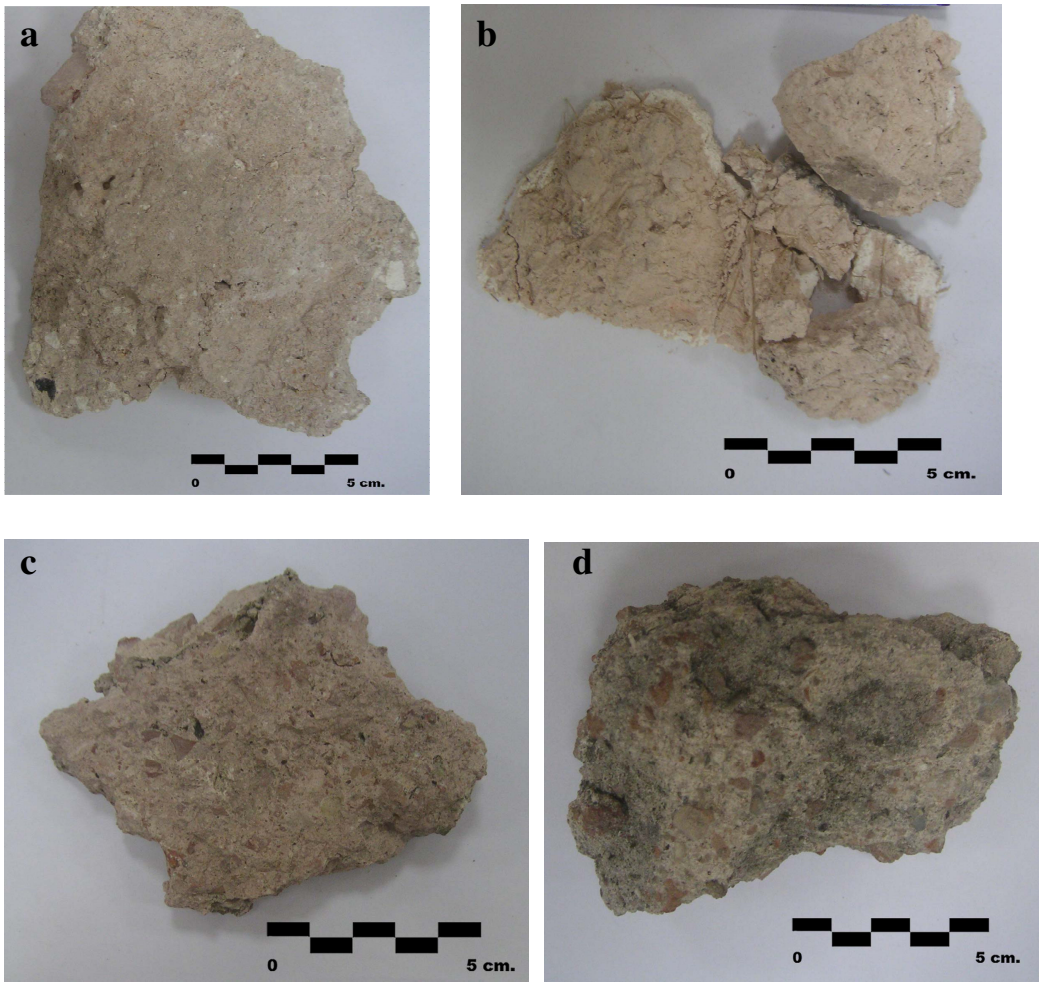
Şekil 5.1: a) D11, **b)** D12, **c)** D19, **d)** D20, **e)** D14, **f)** D15 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek D41 Ayasofya derz harcı: Pembe renkli, kireç yoğunluğu fazla, kireç topakları yoğun, orta sağlamlıkta bir harçtır, (Şekil 5.2a).

Örnek D42 Ayasofya sıva harcı: Pembe renkli, ince agregalı, daha çok kireç ve tuğla tozu yoğun, lifli ve dış tabakası tümüyle kireç olan zayıf bir harçtır, (Şekil 5.2b).

Örnek D10 Aya İrini derz harcı: Pembe renkli, 2 mm ile 16 mm. çapındaki agregaları baskın olan, tuğla tozu yoğun, çakıl görülmeyen ve kuvars taneleri gözlemlenen bir harçtır, (Şekil 5.2c).

Örnek D17 Euphemia Kilisesi derz harcı: Pembe renkli, çakıl ve tuğla agregaları görülen, mika gözlemlenen çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.2d).



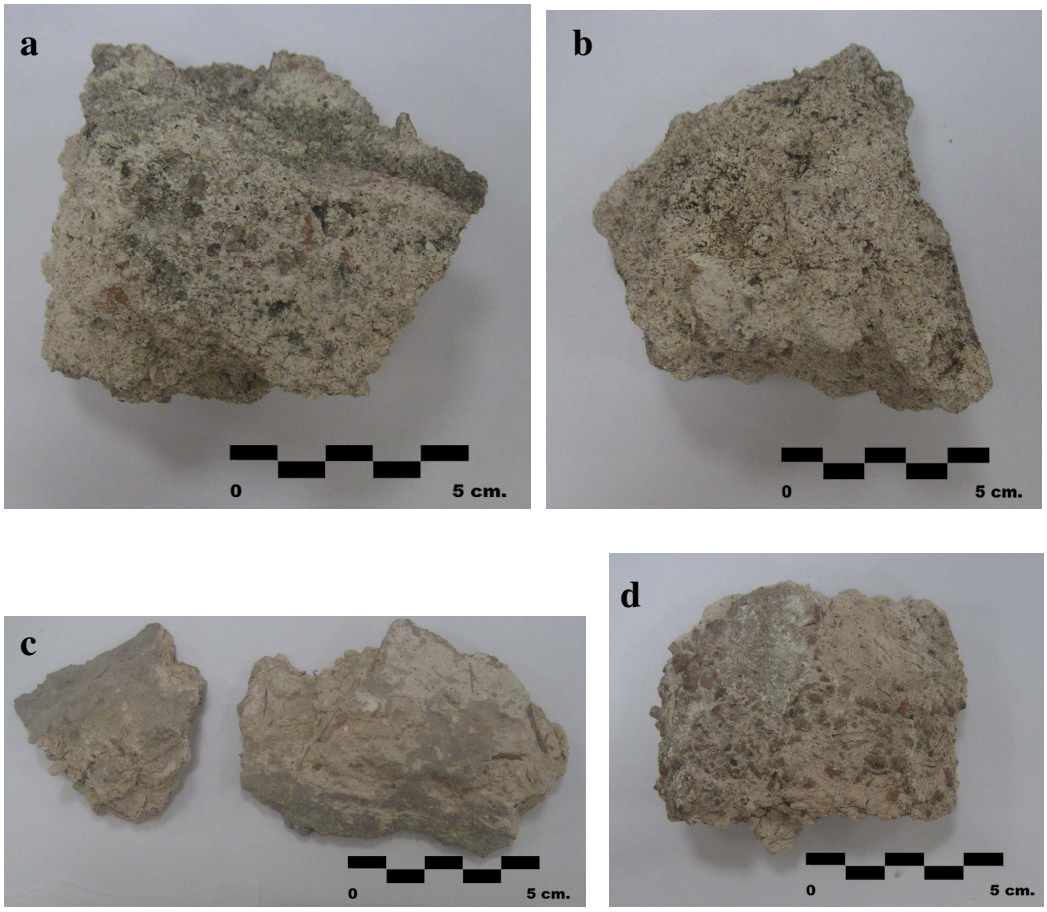
Şekil 5.2: a) D41, **b)** D42, **c)** D10, **d)** D17 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek D18 Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı: Kum yoğunluğu fazla beyaza yakın renkli, 16 ve 8 mm.de tuğla agregaları yoğunluğu fazla iken 2 ve 1 mm.de çakılı daha fazla olan, mika görülen, çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.3a).

Örnek D40 Acem Ağa Mescidi derz harcı: Açık pembe renkli, iri agregaları olan, kireç yoğunluğu fazla, yer yer kireç topakları ve çakıl görülen bir harçtır, (Şekil 5.3b).

Örnek A3 Studios Manastırı çekirdek harcı: Pembe renkli, kum yoğunluğu fazla, 8 mm.de silisli tuğla agregası olan, 2 mm. ve 1 mm.de çakıl yoğunluğu daha fazla olan sağlam yapılı bir harçtır, (Şekil 5.3c).

Örnek D13 Studios Manastırı derz harcı: Pembe renkli, 16 mm. çapında da tuğla agregaları görülürken daha çok ince agregası olan, çakıl yer yer gözlemlenen tuğla tozu ve kil görülen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.3d).



Şekil 5.3: a) D18, **b)** D40, **c)** A3, **d)** D13 no.lu örnek fotoğrafları

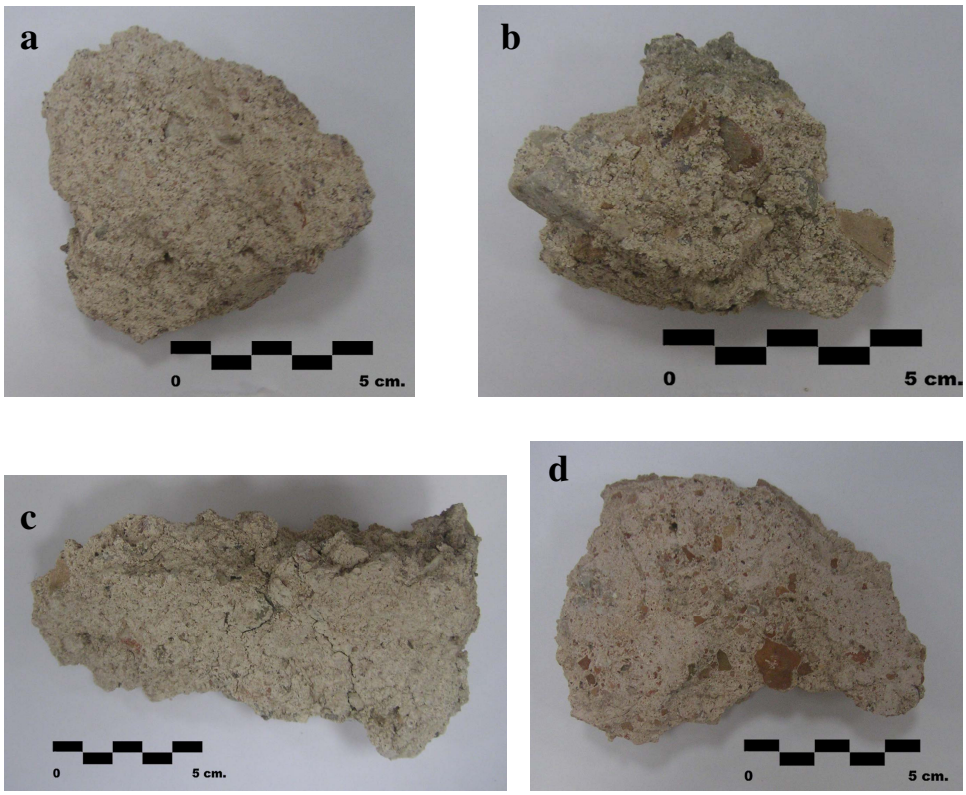
Örnek D6 Karpos Papylos Martyrionu derz harcı: Beyaza yakın renkte, 16 mm. çapındaki agregaları en yoğun olan 2 mm.den sonra çakıl ve kum yoğunluğu daha baskın, sarı mika taneleri gözlenen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.4a).

Örnek D7 Karpos Papylos Martyrionu çekirdek harcı: Açık pembe renkli 16 mm. çapında iri tuğla agregaları olan, kum yoğunluğu tuğla tozuna göre çok baskın, sararmış kireç birikimleri gözlenen çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.4b).

Örnek D3 Hagios Polyeuktos çekirdek harcı (kirpi saçak arası): Tuğla tozunun azlığından dolayı beyaza yakın pembe renkli, 8 mm.deki tuğla agrega yoğunluğu fazla olan dere kumu ve çakıl taneleri gözlenen bir dağılgan harçtır, (Şekil 5.4c).

Örnek D4 Hagios Polyeuktos çekirdek harcı (sağ taraftan alınan): Beyaza yakın renkli, 2 mm.üstü iri agregaları yoğun olan, küçük kireç yumruları gözlenen, kil içeren yumuşak bir harçtır.

Örnek D5 Hagios Polyeuktos derz harcı: Kum fazlalığı ve tuğla tozu azlığından dolayı açık pembe renkli, 16 mm. çapında iri tuğla agregası olan, kireç topakları olan, sağlam özellik taşıyan bir harçtır, (Şekil 5.4d).



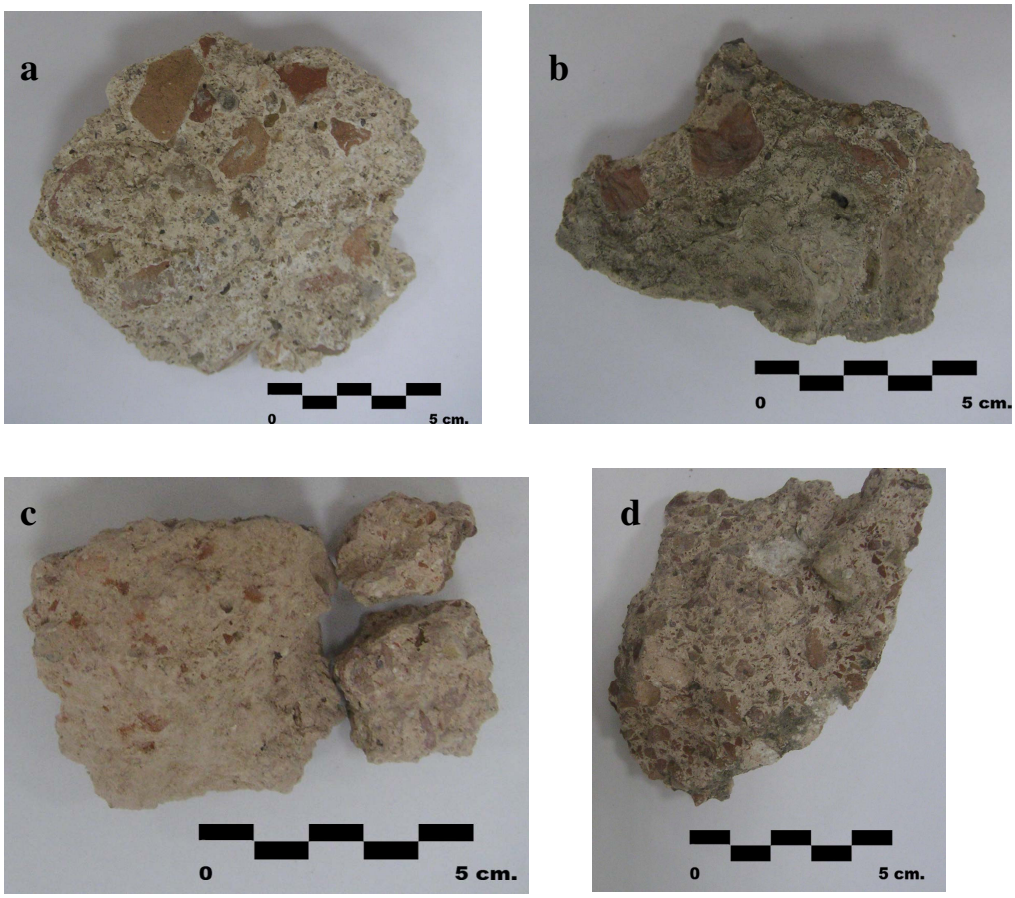
Şekil 5.4: a) D6, **b)** D7, **c)** D3, **d)** D5 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek D8 Hagios Mokios Sarnıcı çekirdek harcı: Beyaza yakın renkli, 8mm. çapında tuğla kırığı ve çakıl miktarı fazla olan, tuğla tozu çok az olan, kireç yığınları çok yoğun, çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.5a).

Örnek D9 Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı: Açık pembe renkli, sarıya yakın renkte büyük kireç yığınları olan, 8 ve 4 mm. çapında yer yer çakıl taneleri görülen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.5b).

Örnek A7 Aspar Su Sarnıcı çekirdek harcı: Pembeye yakın renklidir, 4 mm.de köşeli tuğla kırıkları, 2 mm.de tuğla agrega ve deniz kabukları görülmektedir, 1 mm. de silisli agrega miktarı fazla, sağlam bir harçtır, (Şekil 5.5c).

Örnek A8 Aspar Su Sarnıcı derz harcı: Pembe renkli, 4 mm. ve 2 mm.de tuğla agregası fazla, mika taneleri görülen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.5d).



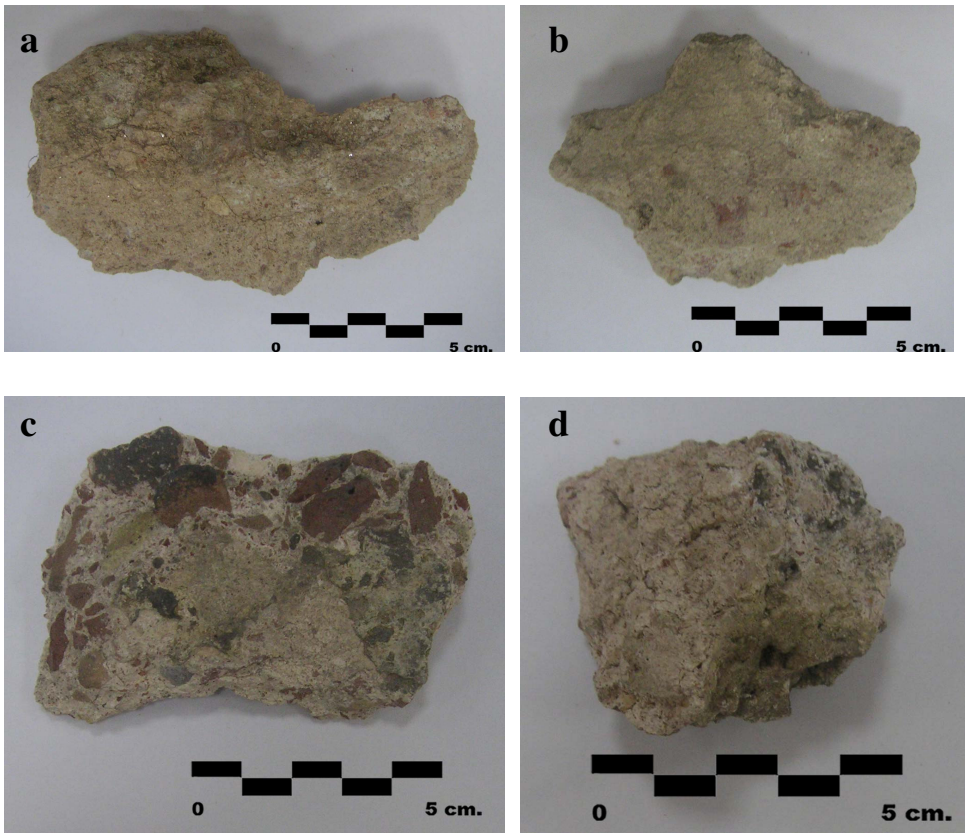
Şekil 5.5: a) D8, **b)** D9, **c)** A7, **d)** A8 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek B9 Aetios Sarnıcı çekirdek harcı: Pembe renkli, sarıya yakın renkler de görülen, 4 mm.de genelde tuğla agregalar, 2 mm. ve 1 mm. sarı tuğla agregalar görülen, parlak sarı mika taneleri fazla olan yumuşak bir harçtır, (Şekil 5.6a).

Örnek B10 Aetios Sarnıcı derz harcı: Beyaz renkte kireç harcı olan bu harç, 16 ve 8 mm. çapında az miktarı tuğla agregaları olan, parlak tanecikler gözlemlenen çok yumuşak bir harçtır, (Şekil 5.6b).

Örnek A5-D1 Valens Su Kemeri derz harcı: Tuğla tozunun azlığından dolayı pembe renkli, 4mm.deki az miktarda çakıl ve tuğla kırığından oluşan agrega boyutu daha baskınken, 8 mm. çapında tuğla agrega da görülmektedir. Dere kumundan kaynaklanan mika görülen, kireç topakları olan orta sağlamlıkta bir harçtır, (Şekil 5.6c).

Örnek A6-D2 Valens Su Kemeri çekirdek harcı: Açık pembe renkli elek analizi sonucuna göre 8 ve 4 mm.de tuğla kırığı, 2 mm.den sonra ise çakıl agregası fazla olan, kireç yığınları fazla ve kirecin kızdırılması sırasında karışmış olabilen kömür izleri gözlemlenen, sağlam bir harçtır, (Şekil 5.6d).



Şekil 5.6: a) B9, **b)** B10, **c)** D1, **d)** D2 no.lu örnek fotoğrafları

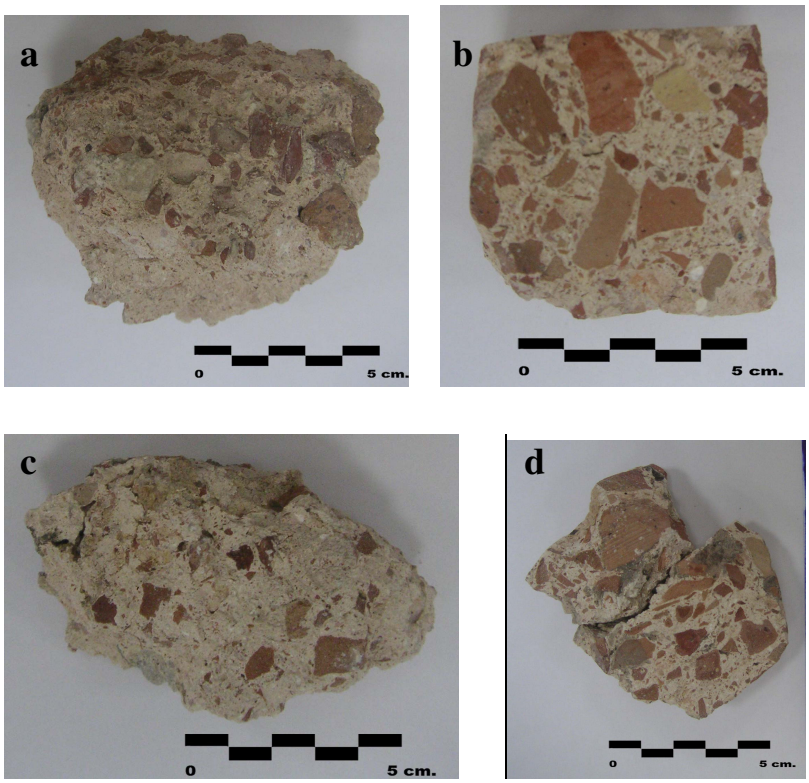
Örnek B1 Kara surları 90 no.lu kule derz harcı: Kırmızıya yakın pembe renkte, gözle görülür çakıl tanelerine sahip, 4 mm çapında silisli tuğla agrega, 2 mm. çapında hem tuğla hem çakıl agregaları olan çok sağlam bir harçtır.

Örnek B2- C13 Kara surları 91 no.lu kule çekirdek harcı: Kırmızıya yakın pembe renkte, homojen bir şekilde dağılmış kırmızı tuğla agregaları olan, kireç topakları gözlemlenen çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.7a).

Örnek B3-C12 Kara surları 91 no.lu kule derz harcı: Açık pembe renkli, büyük agregaları olmayan, genelde 1 mm. çapında tuğla agregaları olan, kum miktarı tuğla tozuna göre daha fazla olan bir harçtır, (Şekil 5.7b).

Örnek B4 Kara surları 92 no.lu kule çekirdek harcı: Açık pembe renkli, sağlam, agregalar yüzeye yakın, belirgin, 8 mm çapında tuğla agregaları olan, kum miktarı fazla, kireç topakları gözlemlenebilen deniz kabuklarına görülmektedir, (Şekil 5.7c)

Örnek B5-C14 Kara surları 92 no.lu kule derz harcı: Açık pembe renkli, küçük tuğla agregaları fazla olan, genellikle çapı 1 m.deki çakıl yoğunluğu tuğla kırığından daha fazla olan sağlam bir harç örneğidir, (Şekil 5.7d).



Şekil 5.7: a) B2, **b)** B3, **c)** B4, **d)** B5 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek B6 Kara surları 93 no.lu kule derz harcı: Açık pembe renkli, 8 mm. çapında silisli tuğla agregalı, parlak dere kumu 2 mm. çapından itibaren görülen, kireç topakları olan dağılgan bir harçtır, (Şekil 5.8a).

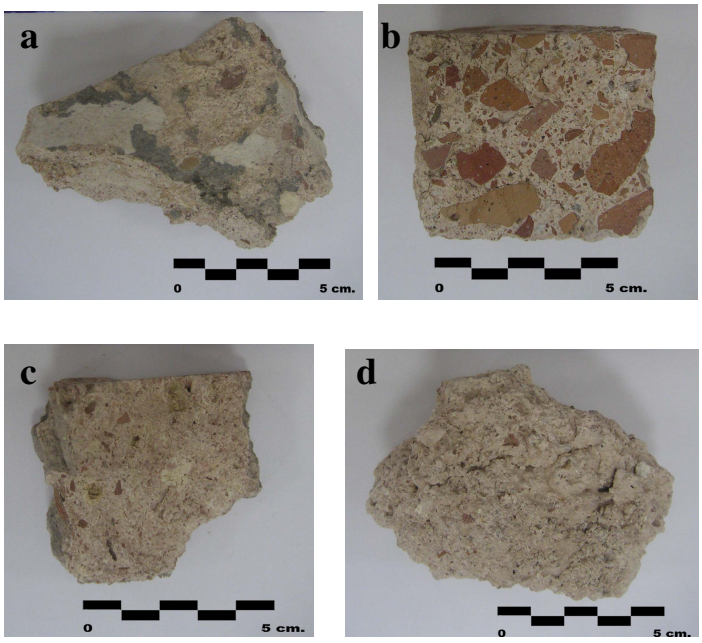
Örnek B7 Kara surları 93 no.lu kule çekirdek harcı: Kırmızı renkte, 16 mm. çapında agregaları görülen, elek analizi sonuçlarına göre 1 mm.den sonra kum miktarı fazla , kireç topakları ve mika gibi parlak parçacıklar gözlemlenen sağlam bir harçtır.

Örnek B8 Kara surları 95 no.lu kule çekirdek harcı: Kırmızıya yakın pembe renkli, agregaları kırılmış tuğladan oluşan, elek analizi sonrasında 8 mm. çapında silisli tuğla da görülen, orta sağlamlıkta bir harçtır.

Örnek C1 Mevlanakapı çekirdek harcı: Kırmızıya yakın pembe renkli, tuğla agregaları düzenli olarak dağılmış, 8 ve 4 mm. çapındaki agregaları yoğun, elek analizi sonuçlarına bakılarak 1 mm.den sonraki kum yoğunluğu tuğla tozundan daha fazla olan, çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.8b).

Örnek C2 Mevlanakapı derz harcı: Kırmızıya yakın renkli, daha çok küçük tuğla agregaları olan, 1 mm. çapındaki agregaları daha fazla çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.8c).

Örnek C3 Belgradkapı derz harcı: Pembe renkli, dağılgan, iri tuğla kırıkları olan, deniz kabukları görülen bir harçtır, (Şekil 5.8d).



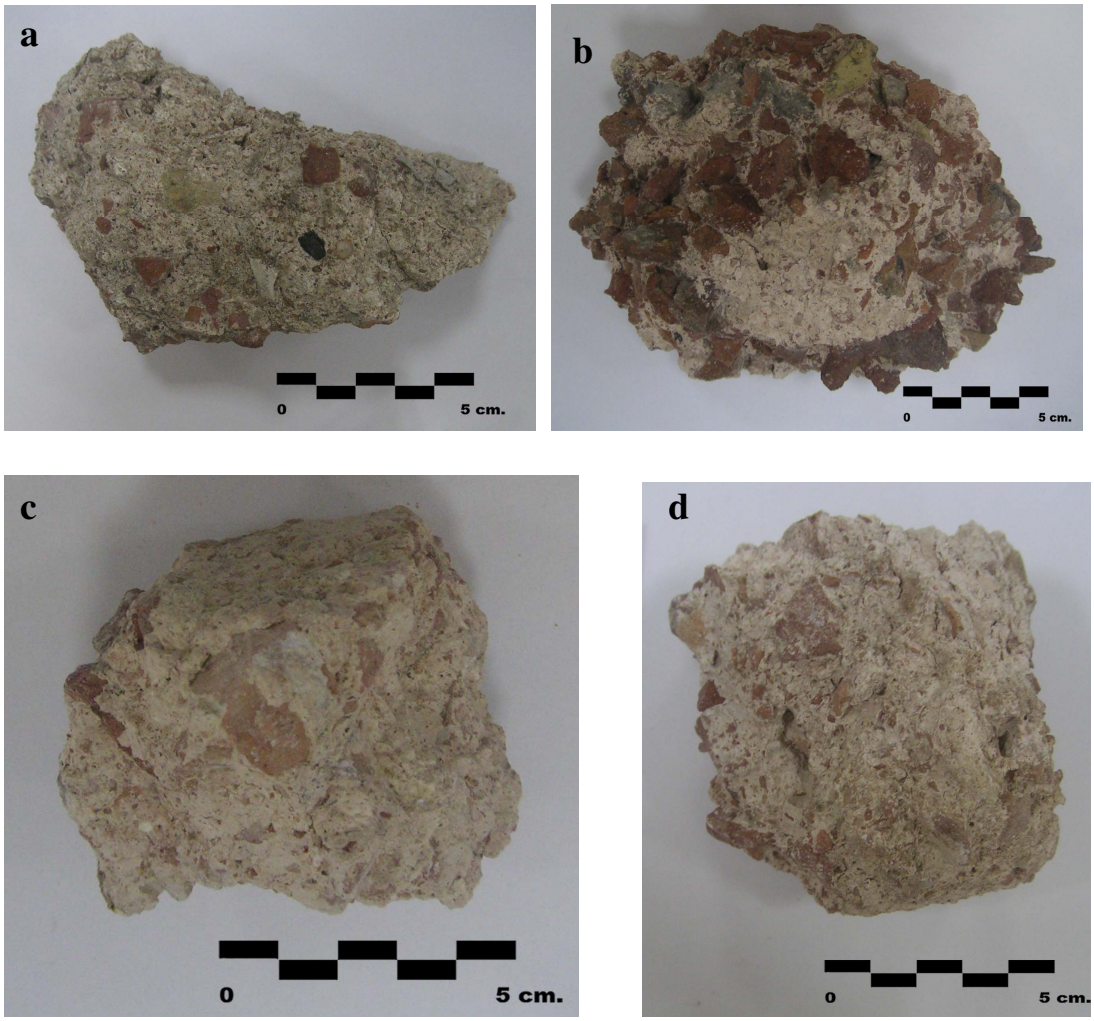
Şekil 5.8: a) B6, **b)** C1, **c)** C2, **d)** C3 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek C6 Silivrikapı derz harcı: Pembe renkli, küçük tuğla agregaları fazla olan tuğla tozu miktarı kuma göre daha fazla olan, kireç topakları gözlemlenen çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.9a).

Örnek C7 Silivrikapı çekirdek harcı: Kireç miktarının fazla olmasından dolayı beyaza yakın pembe renkli, kum miktarı az, 8 mm. çapında iri agregalar gözlemlenen, kireç topakları olan çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.9b).

Örnek C8 Samatya derz harcı: Açık pembe renkli, 4 ve 2 mm. çapındaki tuğla agregaları olan, büyük kireç yumrularına sahip yumuşak bir harçtır, (Şekil 5.9c).

Örnek C9 Samatya çekirdek harcı: Çok beyaz renkli, iri parçaları olan, yoğun kireç topakları ve deniz kabukları gözlemlenen orta sağlamlıkta bir harçtır, (Şekil 5.9d).



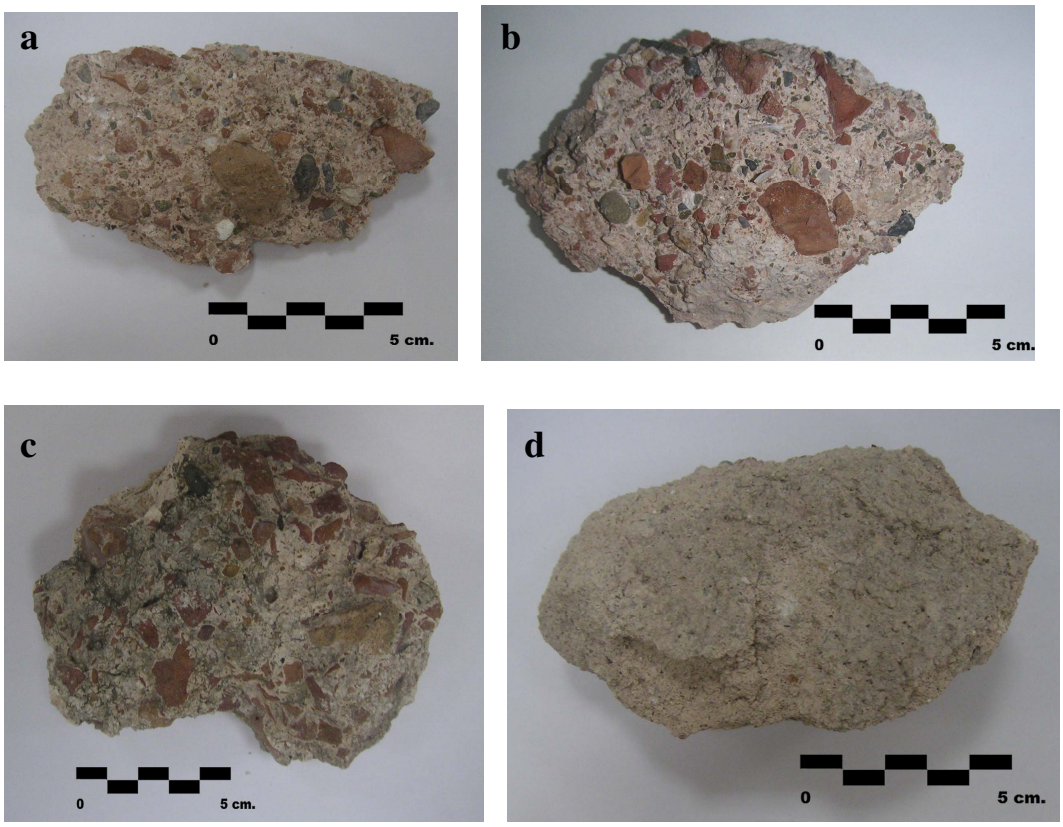
Şekil 5.9: a) C6, **b)** C7, **c)** C8, **d)** C9 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek D24 Marmara suru 37 no.lu kule civarı derz harcı: Pembe renkli, kireç yumruları fazla, kil görülen, silisli tuğla agregası 8 ve 4 mm.de yoğunlaşmış, 2 ve 1 mm. de çakılı olan tuğla tozu ve kuvars taneleri görülen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.10a).

Örnek D25 Marmara suru 37 no.lu kule civarı çekirdek harcı: Tuğla tozu fazla olmasından dolayı pembe renkli, homojen olarak dağılmış çakıl ve tuğla kırığı görülen, kil içeren sağlam bir harçtır, (Şekil 5.10b).

Örnek D26 Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası çekirdek harcı: Açık pembe renkli, 8 ve 4 mm. çapında silisli tuğla agrega, 2 mm. çapında çakıl agrega görülen, mika gözlemlenen, kum ve kireç topakları fazla, sağlam bir harçtır, (Şekil 5.10c).

Örnek D/27 Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası derz harcı: Çok açık pembe renkli, daha çok çakıl agregası ve silisli tuğla kırığı olan, sarı mika taneleri fazla olan killi bir harçtır, (Şekil 5.10d).



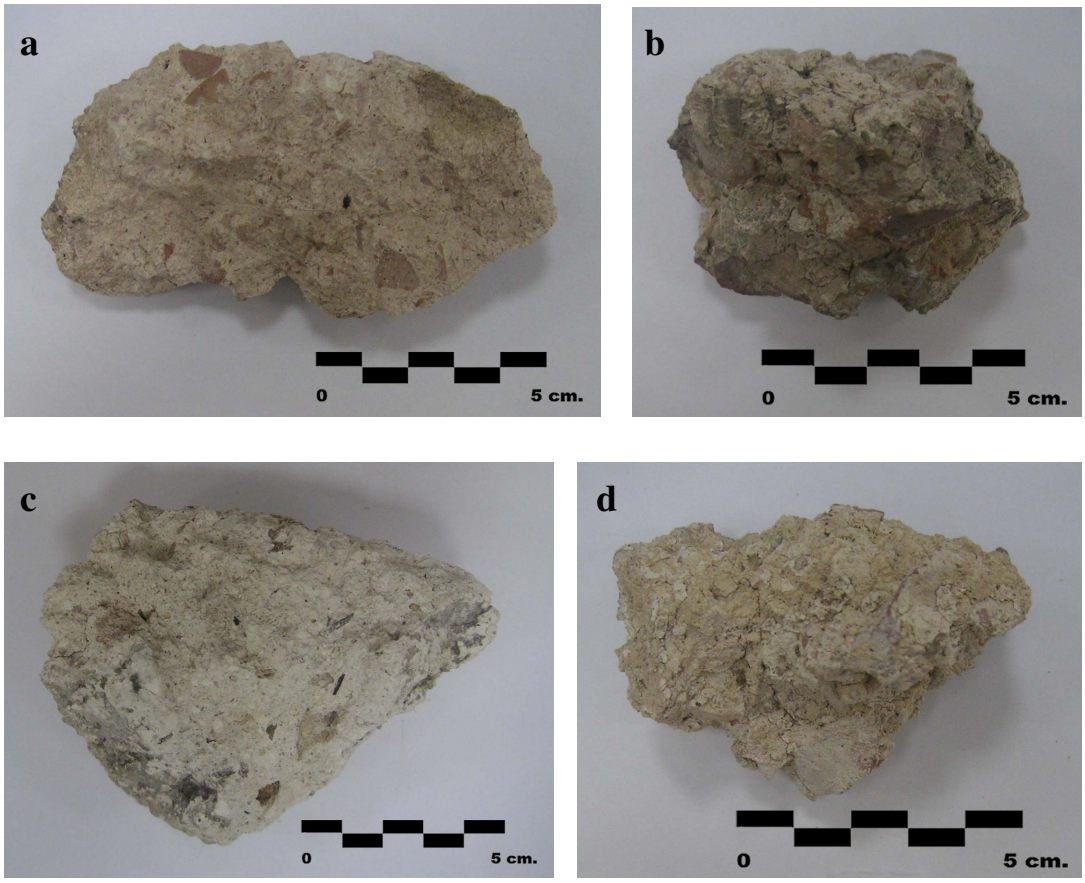
Şekil 5.10: a) D24, **b)** D25, **c)** D26, **d)** D27 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek D28 Marmara suru Çatladıkapı derz harcı: Pembe renkli, tuğla agregası homojen olarak dağılmış, kirecin yanması sırasında karışmış olabilecek kömür izleri görülen, kumu fazla ve kuvars taneleri görülen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.11a).

Örnek D29 Marmara surları Çatladıkapı çekirdek harcı: Kum miktarının tuğla tozundan fazla olmasından dolayı açık pembe renkli, iri silisli agregaları fazla, sağlam yapılı bir harçtır, (Şekil 5.11b).

Örnek D31 Haliç surları Cibalikapı derz harcı: Kireç yoğunluğundan dolayı beyaza yakın pembe renkli, sadece tuğla agregası olan ve 16- 8 mm. boyutunda, kireç topakları gözlemlenen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.11c).

Örnek D32 Haliç surları Cibalikapı çekirdek harcı: Açık pembe renkli, iri agregaları fazla olan, tuğla tozu fazla, kömür taneleri olan, kireç topakları fazla sağlam bir harçtır, (Şekil 5.11d).



Şekil 5.11: a) D28, **b)** D29, **c)** D31, **d)** D32 no.lu örnek fotoğrafları

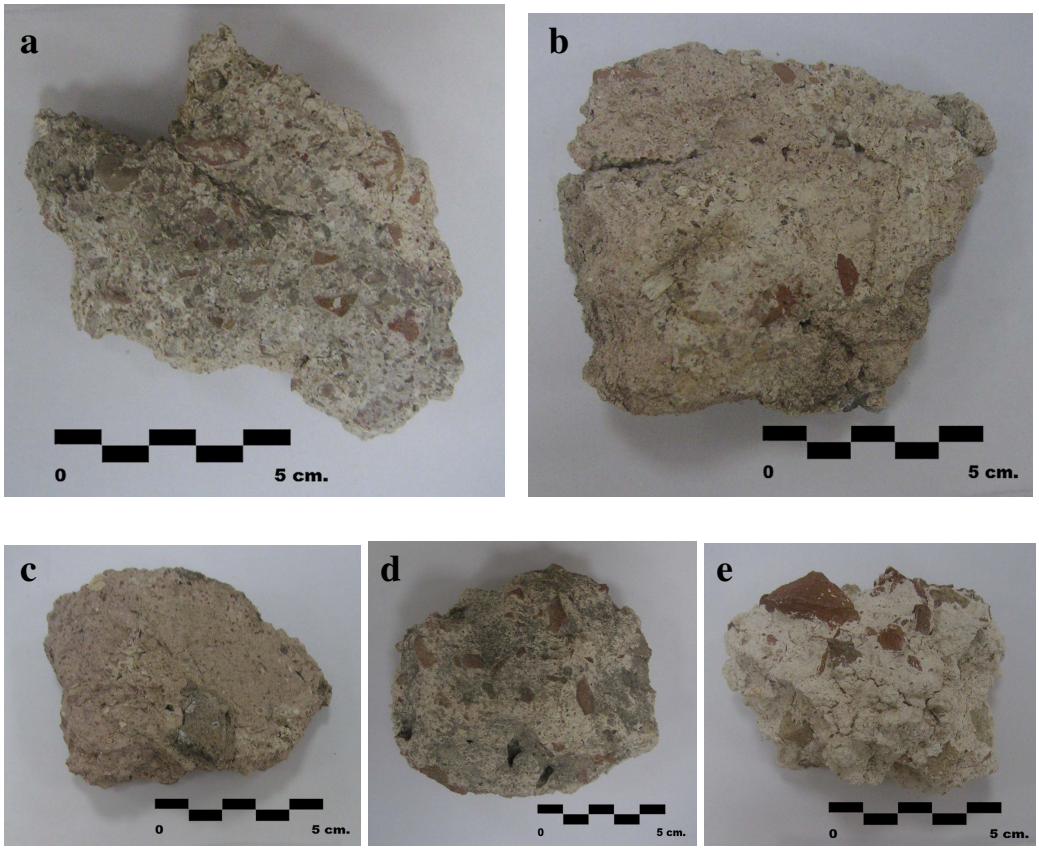
Örnek D33 Haliç surları Fener civarı derz harcı: Beyaza yakın renkli, homojen dağılmış agregaları olan, kireç topakları fazla olan sağlam bir harçtır, (Şekil 5.12a).

Örnek D34 Haliç surları Fener civarı çekirdek harcı: Açık pembe renkli, 4 ve 2 mm. de tuğla kırığı ve çakıl gözlemlenen, kum miktarı fazla ve kireç topakları olan sağlam bir harçtır, (Şekil 5.12b).

Örnek D35 Haliç surları Petrikapı civarı derz harcı: Pembe renkli, homojen dağılmış ince tuğla agregalı, sağlam bir harçtır, (Şekil 5.12c).

Örnek D36 Haliç Surları Petrikapı civarı çekirdek harcı: Açık pembe renkli, iri ve ince agregaları olan, sararmış kireç yumruları olan sağlam bir harçtır, (Şekil 5.12d).

Örnek D37 Haliç Surları Balatkapı civarı çekirdek harcı: Pembe renkli, küçük kireç topakları yoğun, ince çakıl taneleri de olan çok sağlam bir harçtır, (Şekil 5.12e).



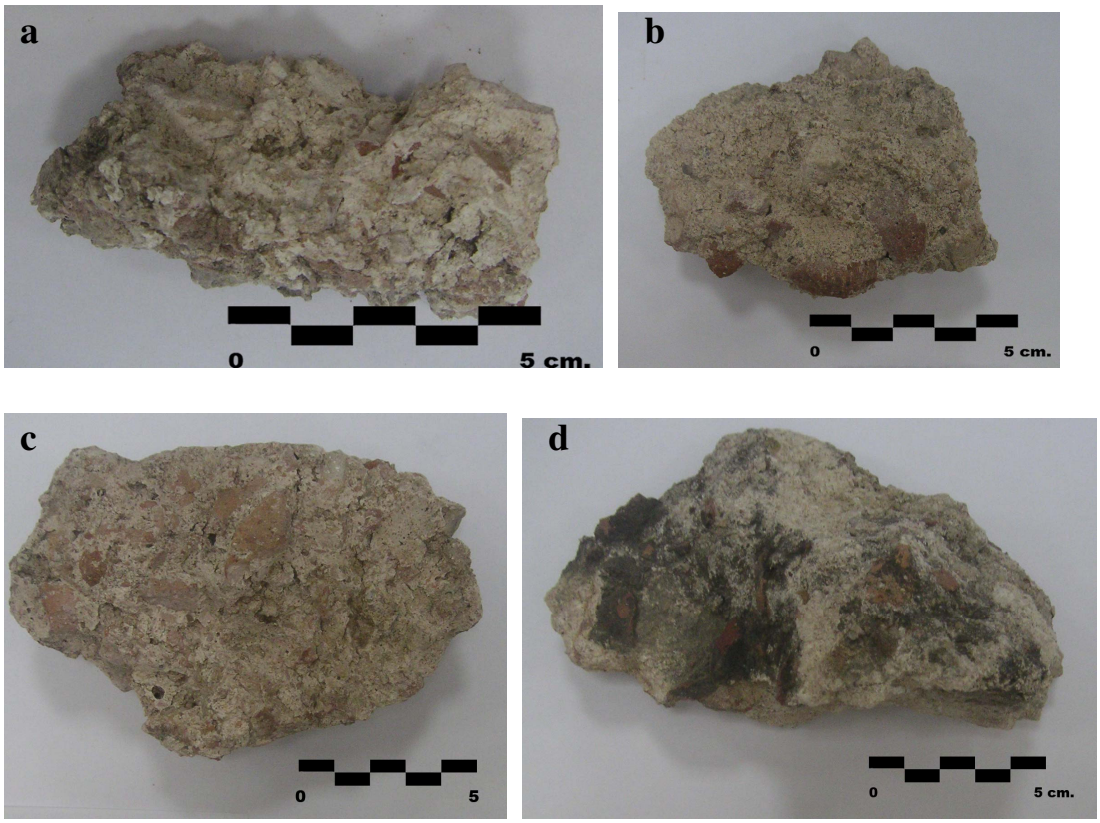
Şekil 5.12: a) D33, **b)** D34, **c)** D35, **d)** D36, **e)** D37 no.lu örnek fotoğrafları

Örnek C10-D23 Sampson Hastanesi derz harcı: Kumu fazla olmasından dolayı beyaza yakın renkli, iri agregaları olan, kireç yığınları olan ve kil görülen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.13a).

Örnek C11 Sampson Hastanesi çekirdek harcı: Tuğla agregası koyu kırmızı renkte olmasına rağmen kireç miktarı fazlalığından dolayı pembe renkli, ufak çakıl taneleri gözlemlenen, küçük yığınlar şeklinde kireç birikimleri görülen sağlam bir harçtır, (Şekil 5.13b).

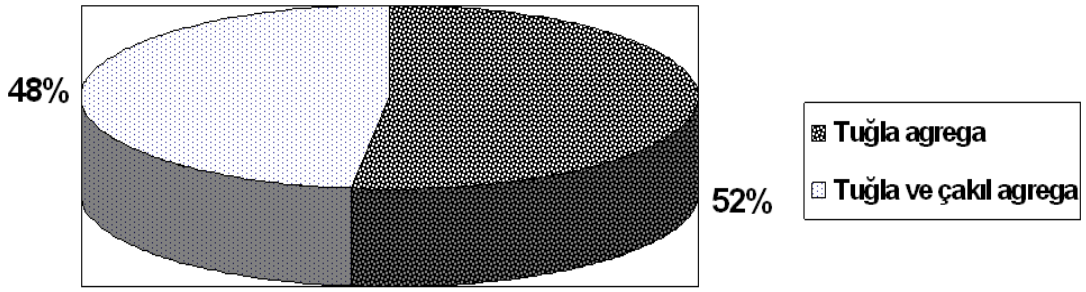
Örnek A1 Hippodrom derz harcı: Beyaza yakın pembe renkte, 4–2 mm. tuğla agrega miktarı fazla, az miktarda parlak çakıl taneleri görülmektedir. Kimyasal analizden sonra kömür taneleri görülmektedir, bu kirecin yanması sırasında karışmış olabilir, (Şekil 5.13c).

Örnek A2 Hippodrom çekirdek harcı: Açık pembe renkli, kum miktarı tuğla tozundan daha çok, içinde 8 mm. de tuğla kırığı ve yuvarlak çakıl taneleri olan, agrega olarak çakıl miktarı fazla, ve deniz kabukları görülen yumuşak bir harçtır, (Şekil 5.13d).



Şekil 5.13: a) C10, **b)** C11, **c)** A1, **d)** A2 no.lu örnek fotoğrafları

Tüm harç örnekleri tuğla tozu ve tuğla kırığı içermektedir, bununla birlikte çakıl içeren harçlar da görülmektedir. İncelenen örneklerde örneklerin içerdikleri agrega çeşitlerine göre daha iyi bir karşılaştırma yapılabilmesi için Şekil 5.14'te verilen grafik ile gösterilmiştir. Buna göre alınan örneklerde sadece tuğla agregadan (toplam örneklerin %52'si) oluşan örneklerin tuğla ve çakıl agregadan (toplam örneklerin %48'si) oluşanlara göre biraz daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14: Harç içinde yer alan agrega tipi dağılım grafiği

5.1.2 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Harç ve sıva örneklerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için yapılan su emme deneyi TS 699'da belirtildiği şekilde distile suda örneklerin 48 saat süreyle bekletilip kurutulmasıyla ve ağırlık değişimlerine göre hesaplanmıştır, özgül kütle deneyinde de toz haline getirilmiş örneğin 212 µm. altı incelikteki kısmı kullanılarak örneğin bir kavanoz içindeki suya eklenmesi taşan suyun hacminin tespit edilmesi ve örneğin ağırlığının oranlanmasıyla belirlenmiştir.

Bu deneylere bağlı olarak kütlece ve hacimce su emme yüzdeleri, birim hacim kütlesi, özgül kütle ve porozite hesaplanmış, sonuçlar Tablo A.1'de gösterilmiştir. Yapı gruplarına göre kütlece su emme yüzdeleri, birim hacim kütlesi, özgül kütle ve porozite değerlerinin ortalama ifadeleri Tablo 5.1'de yer alırken genel olarak baktığımızda yapıların birim hacim kütleleri 1,14–1,90 g/cm^3 arasında olduğu, özgül kütlenin ise 2,27-2,81 g/cm^3, boşlukluluk oranı %28-%52 arasında, kütlece su emme yüzdelerinin ise %13-50 bulunmuştur.

Tablo 5.1: Yapı gruplarına göre ortalama fiziksel özellik değerlerinin dağılımı

Yapı Grupları	Renk	Agrega tipi	Sk (%)	Δ (g/cm³)	δ (g/cm³)	p(%)
Saray yapıları	Pembe	Tuğla+çakıl	23-35	1,32-1,52	2,43-2,58	37-48
Dini yapılar	Pembe	Tuğla+çakıl *	19-42	1,23-1,90	2,41-2,66	28-52
Su yapıları	Açık pembe	Tuğla+çakıl	15-39	1,26-1,77	2,27-2,72	30-49
Kara surları	Pembe	Tuğla+kum	13-50	1,14-1,90	2,40-2,81	26-50
Marmara surları	Pembe	Tuğla+ çakıl	18-35	1,30-1,66	2,42-2,64	34-46
Haliç surları	Pembe	Tuğla+ daha az çakıl	23-37	1,25-1,59	2,41-2,59	40-51
Sampson hastanesi ve Hipodrom	Pembe	Tuğla+çakıl	20-28	1,45-1,66	2,52-2,69	35-44

Sk: Kütlece su emme oranı (%) Δ: Birim hacim kütlesi (g/cm^3)

δ: Özgül kütle (g/cm^3) p: Porozite (%)

* Aya İrini ve Aya Sofya'da yalnızca tuğla agrega görülmektedir.

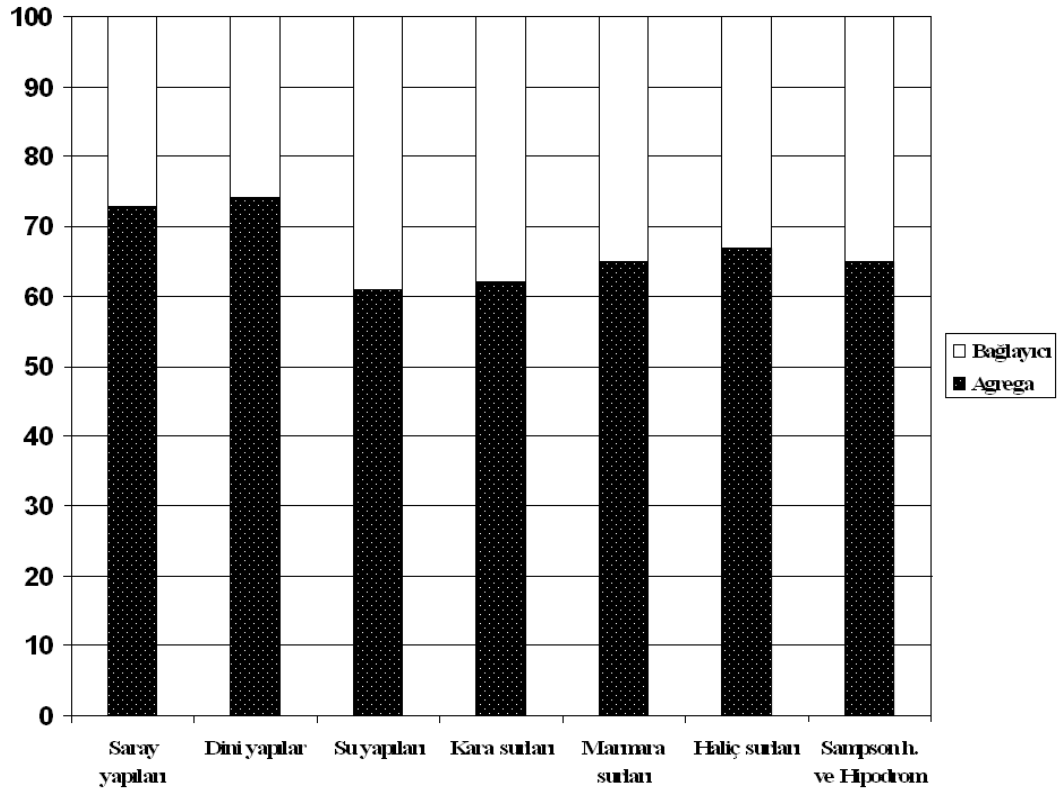
Bu değerleri, daha önce yapılan deneylerle karşılaştırdığımızda, deniz surlarında yapılan fiziksel analizlerde su emme oranı %27-%35 arasında, kara surlarında ve kulelerinde ise %21–31 arasında bulunmuştur **(Ersen ve diğ., 1995).** Kara surları T4 no.lu kulede yapılan FORTMED Raporunda, 5.yy. horasan harçlarının kütlece su emme yüzdeleri %13–21 arasında, porozite ise %22–38 arasında tespit edilmiştir **(Ahunbay ve diğ., 2003).** Bununla birlikte Bergama Serapis Tapınağı'ndaki erken dönem harçlarında yapılan deneysel çalışmalarda gözeneklilik %35 tespit edilmiştir **(Özkaya ve diğ., 2006).** Tablodaki sonuçlarla bu sonuçlar birbirine benzer niteliktedir. Horasan harçlarının boşluklu yapıya sahip olması ve hava alması özellikleri ile donma sırasında harcın hacmindeki büyüme nedeniyle oluşacak rötre ve çatlaklara karşı dayanıklıdırlar. Analiz sonuçlarında görülen porozite değerleri tarihi yapılardaki horasan harçlarında görülen değerlere eş değerdedir.

5.1.3 Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Yapılardan alınan örneklerde harçların kimyasal özellikleri, hammadde kompozisyonlarını, karbonat miktarlarını, hidroliklik- puzolanlık özelliklerini ve agrega morfolojisini tespit etmek için asit kaybı analizi, asit kaybı analizi sonunda kalan agrega üzerinde elek analizi, kızdırma kaybı analizleri, protein, yağ, tuz, pH, puzolanlık testleri uygulanmıştır.

Asit Kaybı Analizi:

Asit kaybı deneyi için örneklerden gerekli miktarlar seçilip kurutulup 1/3 oranında seyreltilmiş HCl asit çözeltisiyle reaksiyona sokulmuştur. Asitte çözünmeyen kısım filtre kâğıdından yıkanarak süzülerek silikatlı agrega kısmı elde edilmiş, toplam malzeme miktarından bağlayıcı kısmı hesaplanmıştır. Buna göre deney sonuçları Tablo Ek.A.2'de kalan ince ve kaba malzeme, bağlayıcı/agrega oranı, asitteki kayıp miktarı olarak gösterilmiştir. Yapı grupları şeklinde incelendiğinde Şekil 5.15'teki grafikte saray yapılarında bağlayıcı/agrega oranının 1/3–1/4 aralığında, diğer yapılarda ise 1/2 oranında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.15: Yapı gruplarına göre bağlayıcı/agrega dağılım yüzdeleri

Kara ve deniz surlarında yapılan araştırmada erken dönem harçlarının klasik bir oran olan bağlayıcı/agrega oranı 1/3 bulunmuştur **(Ersen ve diğ., 1995).** Yine FORTMED Projesinde Kara surları T4 numaralı kulede asit kaybı oranı % 24–55 oranında tespit edilmiştir **(Ahunbay ve diğ., 2003).** Bu oran tarihi yapılarda kullanılan benzer oranlardır. Rodos, Venedik'teki bazı Bizans yapıları ile Ayasofya'dan alınan horasan harcı numunelerinde (R.A. Livingstone'un çalışması) yapılan deneylerde de bağlayıcı/agrega oranı 1/4 ile 1/2 arasında tespit edilmiştir **(Böke ve diğ., 2004).** 6.yy. da Alaşehir'de inşa edilmiş olan St. Jean Kilisesi'nde yapılan çalışmada asit kaybı analizinde toplam asitteki kayıp %50 oranında tespit edilmiştir **(Kılıç ve diğ, 2004).** Bergama Serapis Tapınağı Roma ve Bizans dönemi horasan harçlarında yapılan asit kaybı analizinde bağlayıcı/agrega oranı 1/4 ile 1/5 arasında tespit edilmiştir **(Özkaya ve diğ., 2006).** Portekiz'de Mertola kasabasında yapılan başka bir çalışma sonuçları incelendiğinde; bu kasabada yer alan 5.-6. yy. yapısı biri kule, diğeri daha sonra sarnıca dönüştürülen bir yeraltı dini mekânının horasan harçları incelenmiştir. Bu tezde incelenen yapılarla aynı döneme denk gelen ve Bizans'a ait olan bu iki yapının örneklerinde de agrega oranı %53–75 arasında bulunmuştur, yani bağlayıcı oranı %25–47 arasındadır **(Silva ve diğ., 2004).**

Bununla birlikte bazı yapılardan alınan harç örnekleri çok serttir, hatta asitte çözünmeleri çok zor olmuştur. Bu yapıların asit kaybı analizinden sonra kalan agregaları incelendiğinde, Şekil 5.16'da tuğla ile iyi bağ kurmuş kireç varlığı ve silikatlaşmış bir ara yüzey görülmektedir. Bu nedenle 1/4 -1/5 arasında çıkan oranlarda silikatlaşma nedeniyle bu oranın 1/3 arasında olabileceği düşünülmektedir.



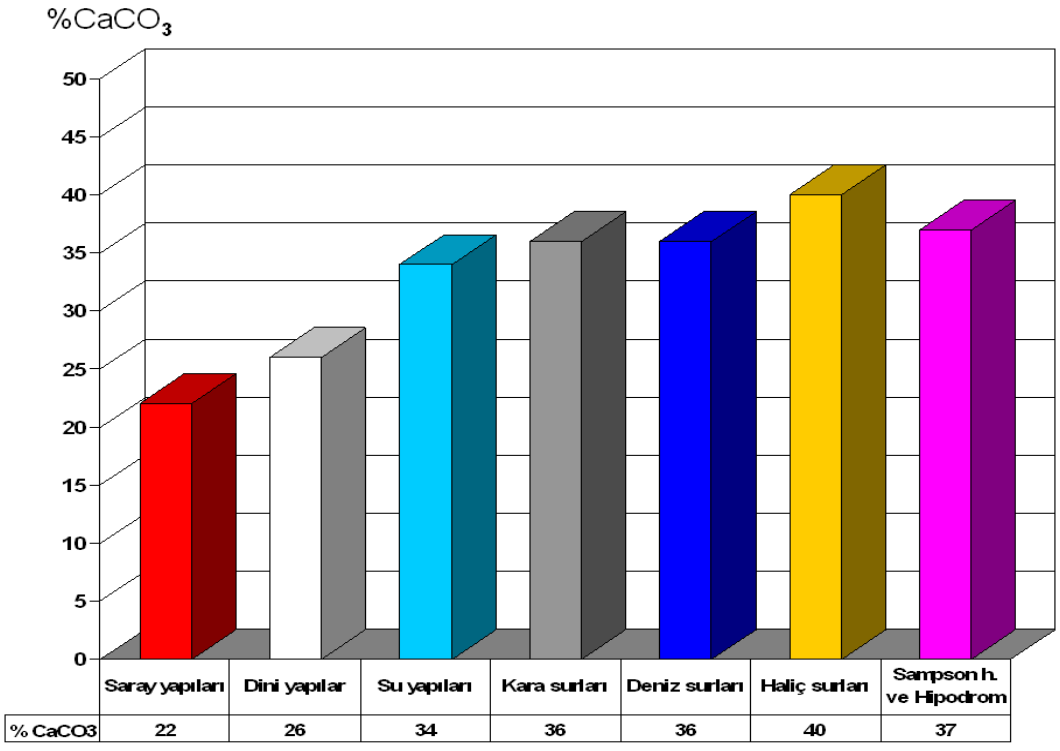
Şekil 5.16: Tuğla agrega yüzeyindeki silikatlaşma

Kızdırma Kaybı Analizi:

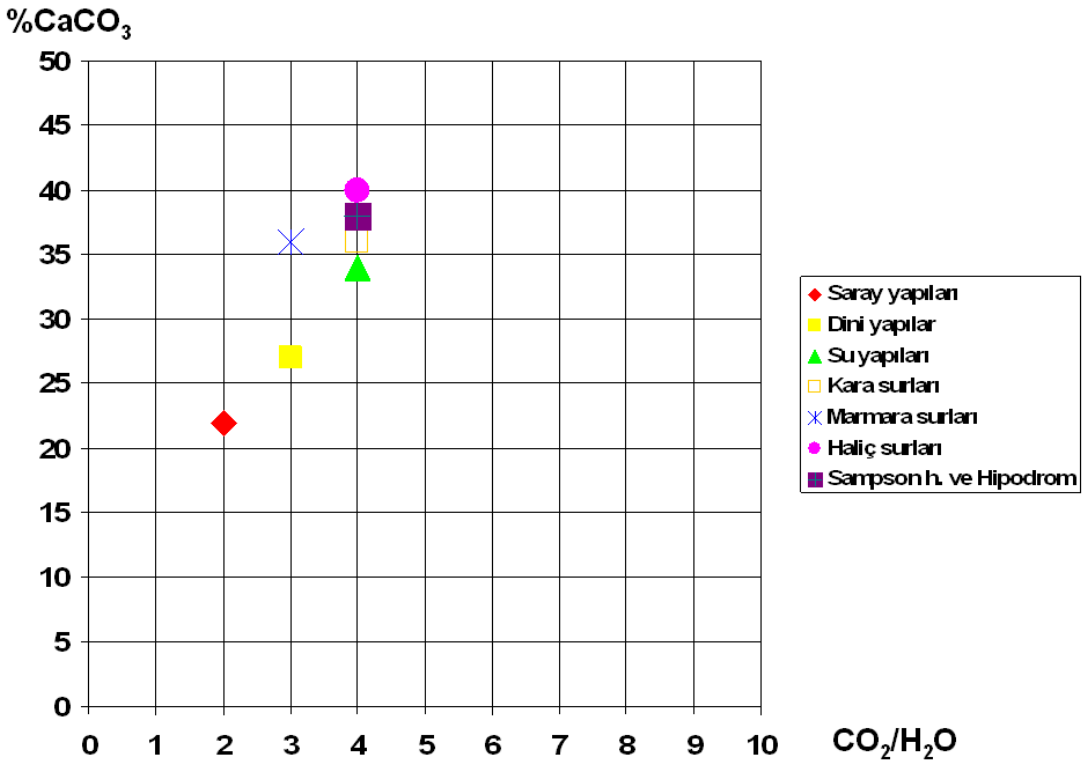
Belirlenen yapılardan alınan harç numunelerinde bağlayıcı kompozisyonları, harçların nem ve karbonat miktarları, hidrolik özellikleri Tablo 5.3'te kızdırma kaybı değerleriyle birlikte verilmiştir. 63 µm. elekten elenen bağlayıcı yönünden zengin örnekler CONRAD NABER marka kül fırınında 105 °C'de 2 saat, 550 °C'de 1 saat ve 1050 °C'de 1/2 saat kızdırılmış ardından her işlem sonunda desikatörde örnekler soğutulup hassas terazi (Metler H20) ile ağırlık değişimleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.17: Kızdırma kaybı analizinin yapıldığı kül fırını ve örnekler



Şekil 5.18: Harçların yüzde $CaCO_3$ miktarları



Şekil 5.19: Harçların yüzde $CaCO_3$ miktarları ve CO_2/H_2O oranları

Horasan harçlarında 200–600 °C arasında kireç ve tuğla ara yüzeylerinde bulunan hidrolik ürünlerin dekompozisyonunda kimyasal su kaybına ve 600–900 °C arasında ise karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu ile karbondioksit (CO_2) kaybına bağlı olarak ağırlık azalmaları meydana gelmektedir. Bu sonuçtan hareketle CO_2 / kimyasal su oranı 1–10 oranındaysa harç hidrolik, 10'dan fazla ise hidrolik olmadığı sonucuna varılabilir (**Silva ve diğ., 2005; Moropoulou ve diğ., 1999; Genestar ve diğ., 2006; Uğurlu ve Böke, 2006**). Buna göre Tablo Ek.A.3'deki değerlerden 1050 °C'deki kızdırma kaybı / 550 °C'deki kızdırma kaybı oranından harcın hidrolikliği tespit edilmiştir. Buna göre örnekler 0,5–10 oranında değerlere sahip olup, hidrolik özellik taşımaktadırlar. Harcın hidrolikliği, puzolanlık özellik taşıdığını ve yüksek mekanik dayanıma sahip olduğunu göstermektedir.

Kızdırma kaybında harçta CO_2'nin karbonattan gelmesi ve kimyasal suyun da hidrolik bileşiklerin dekompozisyonundan gelmesine bağlı olarak Moropoulou harçları 4 gruba ayırmıştır. Buna göre;

Tipik kireç harçlarında ➔ kimyasal su < %3, CO_2 %33–44 arası, CO_2/H_2O > 10

Hidrolik kireç harçlarında ➔ kimyasal su > %5, CO_2 %27–34 arası

Tuğla kırıklı harçlarda ➔ kimyasal su %3–5, CO_2 %20–30 arası, CO_2/H_2O 3,5–7

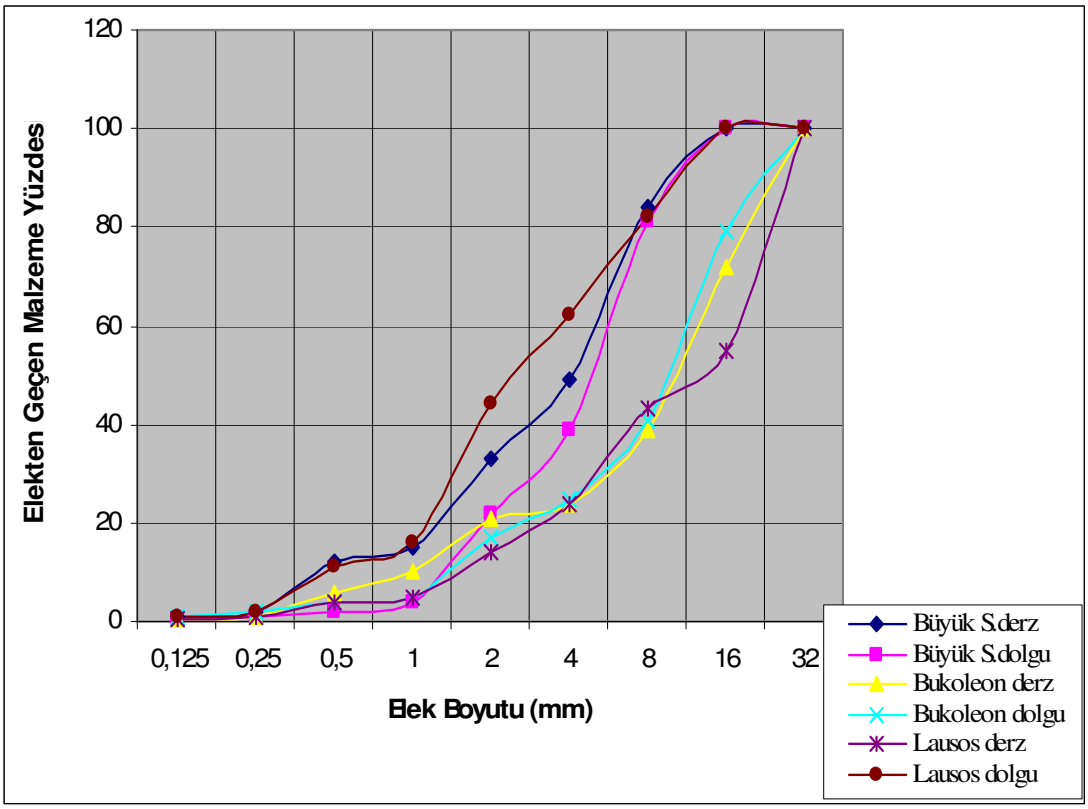
Puzolanik harçlarda ➔ kimyasal su > %5, CO_2 % 8–20, CO_2/H_2O < 3,5

oranlarına göre gruplandırılmışlardır **(Moropoulou ve diğ, 1999, 2002; Maravelaki-Kalaitzaki ve diğ, 2003; Genestar ve diğ., 2006).** Harçlardaki bu gruplamalar Princeton Üniversitesinden Prof. A.S. Cakmak, National Technical University of Athens'ten Prof. A. Moropoulou ve Boğaziçi Üniversitesi'nden Prof. A. Işıkara ve Prof. M.Erdik'in çalışmalarından ulaştıkları sonuçlardır **(Moropoulou ve diğ, 2002).**

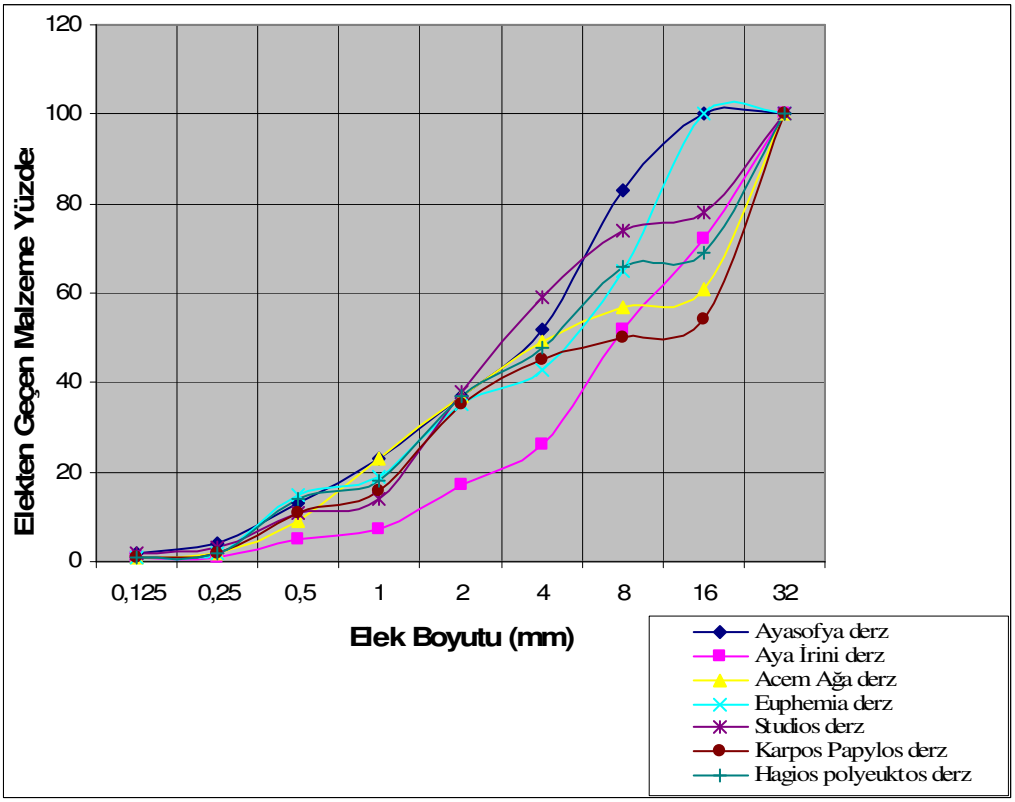
Moropoulou ve diğer araştırmacılardan elde edilen bu bilgilere göre, örneklerin Tablo A.3'te görülen 550 °C ve 1050 °C'deki kızdırma kaybı değerleri ile hidrolik özellik değerleri bu harçların puzolanik ve tuğla kırıklı harçlar grubuna girdiklerini göstermektedir. Bununla beraber Palomo, Çizer ve Böke'den elde edilen bilgilere göre yapılan puzolanik aktivite analizi sonuçları (Tablo Ek.A.5) ile bu sonuçları karşılaştırdığımızda, hemen hemen birbirine uyumlu ve puzolanik harçlar olduklarını görmekteyiz. Bu analizler kesin bir sonuç vermemekle birlikte Erken Dönem horasan harçlarının karakterizasyonu açısından baktığımızda puzolanik ve hidrolik özellikli harçlar olduklarını bize göstermektedir, puzolanik özellik ya agrega olarak kullanılan tuğla kırığı ve tuğla tozundan ya da puzolanik katkılardan gelmektedir. Bu analizlerin sonuçları diğer bölümlerde göreceğimiz ileri teknik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır.

Elek Analizi:

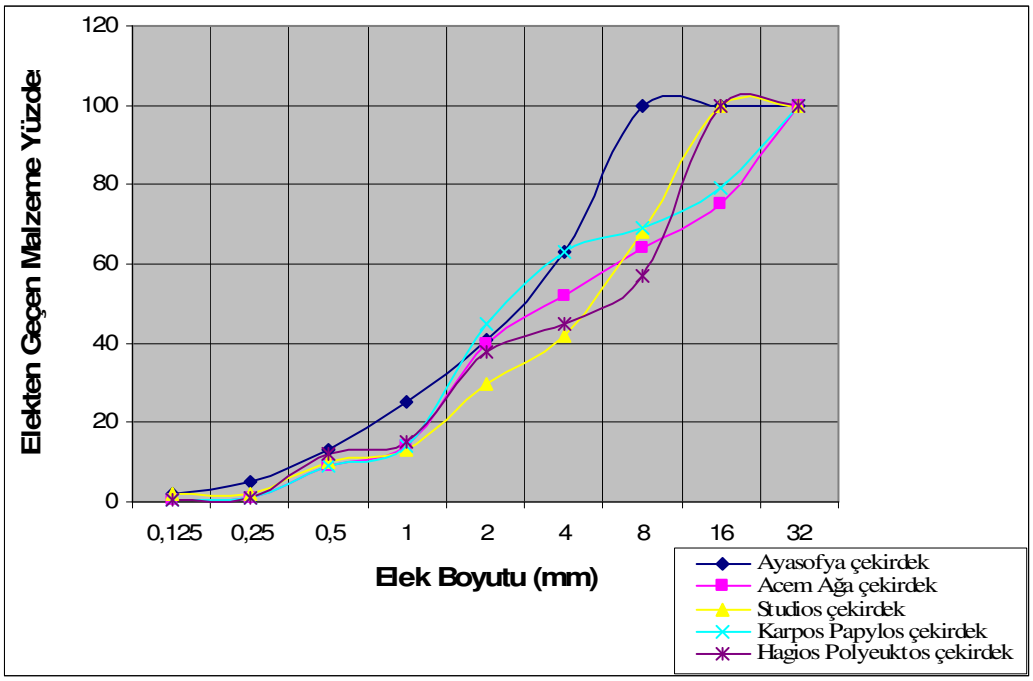
Asit kaybı analizi yapılan örneklerde çözünmeden kalan kısımdan agrega granülometrisi ve agrega tipini belirlemek için 16 mm. ile 125 µm.'lik ISO 565 serisi elekler kullanılarak elekten geçen malzeme yüzdesi hesaplanmış ve Tablo Ek.A.4'te bulunan değerler gösterilmiştir. Şekil 5.20,21,22,23 ve 24 ile Şekil B.7,8,9'da yapı gruplarına göre agrega granülometri eğrileri görülmektedir.



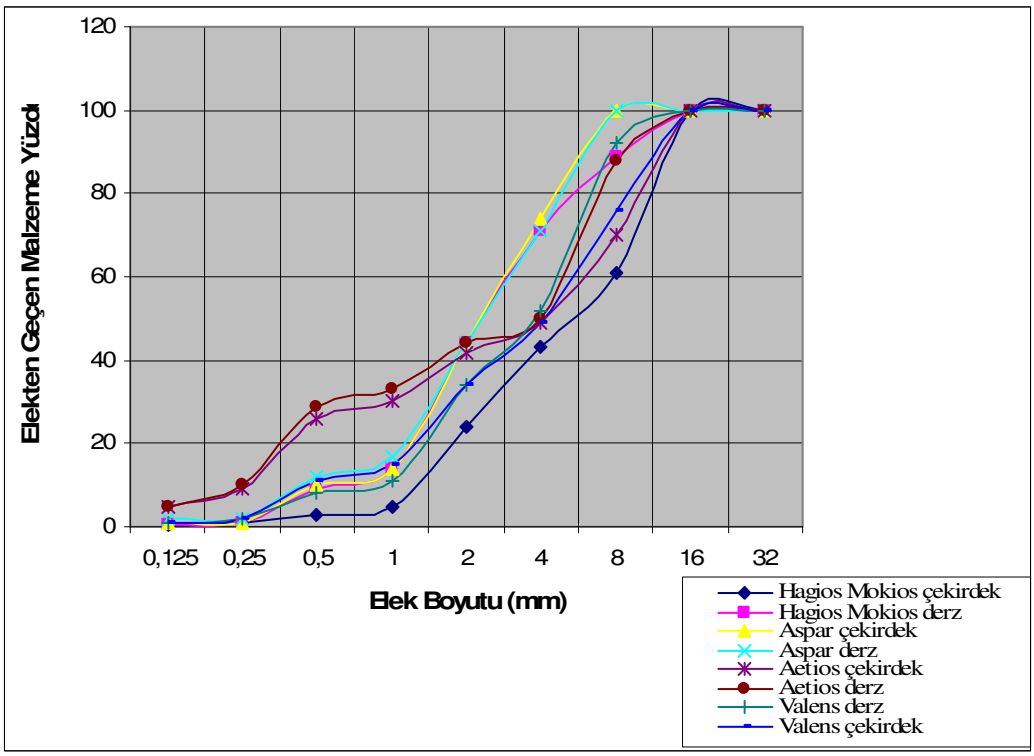
Şekil 5.20: Saray yapıları derz ve çekirdek harcı agrega granülometri eğrisi



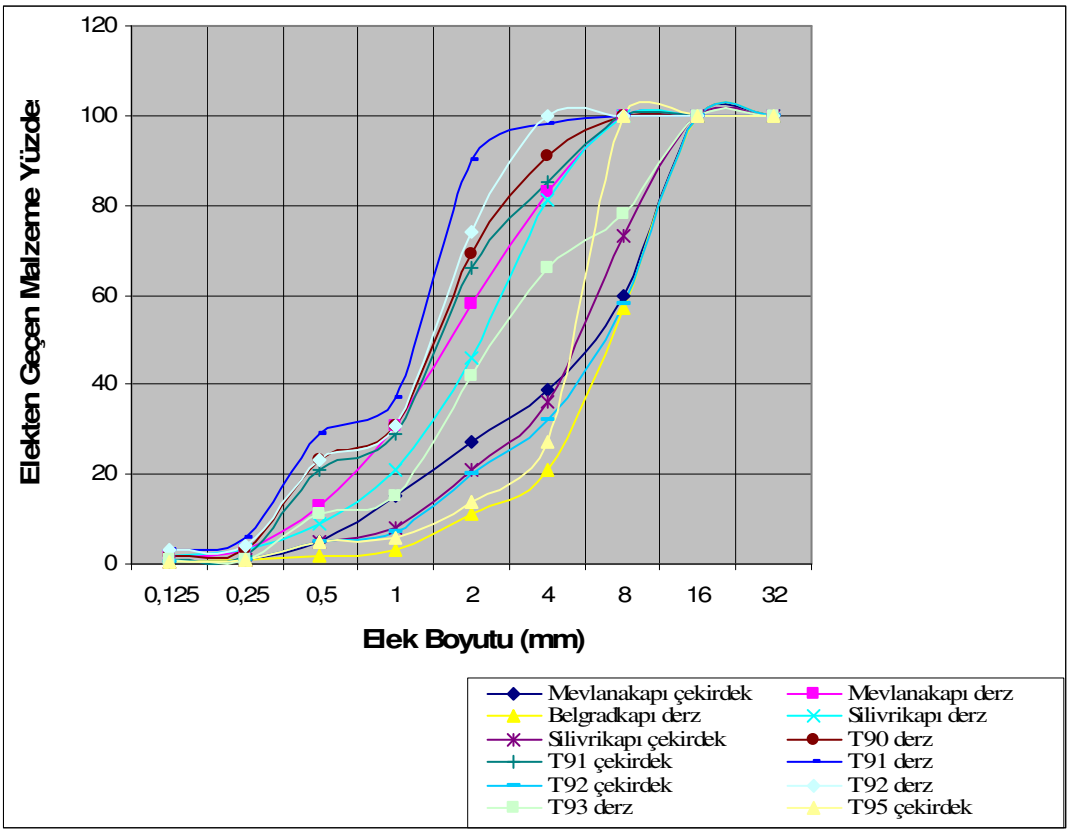
Şekil 5.21: Dini yapılardan alınan derz harcı örneklerinin agrega granülometri eğrisi



Şekil 5.22: Dini yapılardan alınan çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi



Şekil 5.23: Su yapıları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi



Şekil 5.24: Kara Surları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi

Agregaların yoğunlukları kullanıldıkları amaçlara göre değişmektedir. Örneğin çekirdek harçlarında daha iri agregalar görülmektedir. Sıva harçlarında ise ince agregalar bulunmaktadır. Tuğla kırığı harçtaki mekanik dayanımı ve puzolanik hidrolik reaksiyonları artırmaktadır. Kırılmış tuğla kırığı varlığı Roma ve Bizans dönemi yapılarının bir özelliğidir **(Silva ve diğ.).**

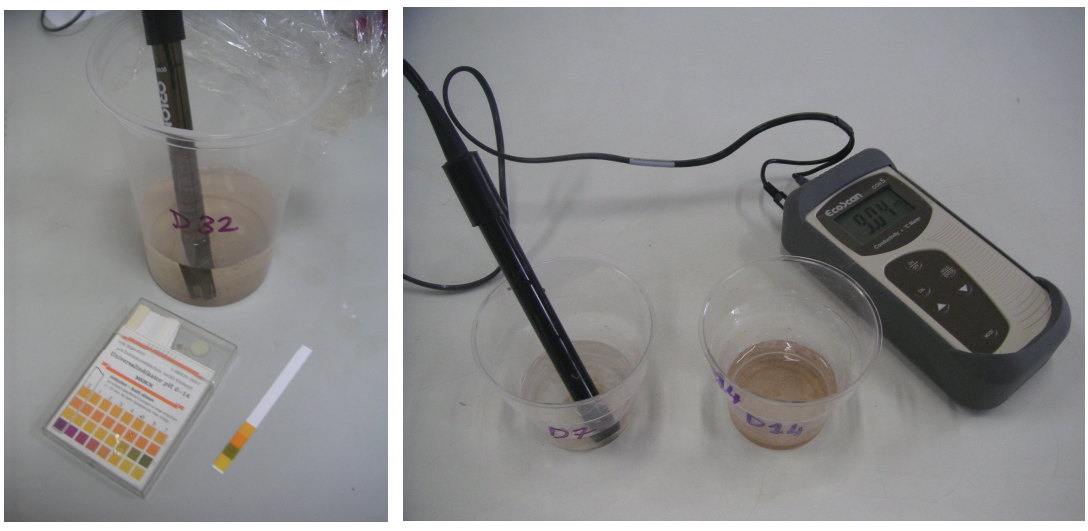
Bu yapılardan alınan örneklerde yüksek miktarda tuğla kırığı ve harca kırmızı rengini veren tuğla tozu görülmüştür, agregalar homojen olarak dağılmıştır. Bazı örneklerde dere kumundan ileri gelen mika, kuvars ve çakıl taneleri tespit edilmiştir. Agregalar köşeli tuğla kırıkları ve dere çakılıdır, saray yapılarındaki tuğla agregaların daha koyu renkte ve boşluksuz olması dikkat çekmektedir. Bazı örneklerde tuğla tozunun yanında kum miktarının fazlalığı da fark edilmektedir. Sarnıç yapılarında, deniz surlarında kum miktarı daha fazladır. Kara surlarında ise çekirdek harçlarında daha iri, derz harçlarında daha ince tuğla kırığı agrega görülmektedir.

Portekiz'de Mertola kasabasında Bizans dönemi yapılarında yapılan deneysel çalışmada çekirdek harcında 2–5 mm. arasında agregaların yoğun olduğu, Tróia'da eski bir Roma kasabasındaki M.S. 1.yy. arkeolojik yapısında temel harcı olarak kullanılan harcın tane boyut dağılımının 4 mm. den büyük tuğla kırıkları içerdiği görülmüştür **(Silva ve diğ., 2004; Silva ve diğ.).** Kara surları ve deniz surlarında yapılan çalışmada boyutları 2–8 mm. arasında olan tuğla kırığı ve deniz kumu agregalarının fazla olduğu görülmüştür **(Ersen ve diğ., 1995).** Bu değerler tabloda verilen değerlerle uyuşmaktadır.

Protein, Yağ, pH ve Puzolanik Aktivite Analizleri:

Yapılardan alınan örneklerde organik katkı maddelerini tespit etmek için protein ve yağ testleri yapılmıştır. Eski harçlarda hayvan kılı, kan, yumurta akı gibi maddelerin kullanıldığı literatürde yer almaktadır. pH analizi ile harçların asit ya da baz özelliği taşıdığını göstermektedir. Analiz sonuçları Tablo Ek.A.5'te verilmiştir.

Harçların genel olarak protein içermediği yalnızca D40 numaralı örnekte Acem Ağa derz harcında protein olduğu görülmüştür. Bununla birlikte harçların yağ içermediği tespit edilmiştir. pH değerlerine bakılarak da kirecin kuvvetli baz olmasından dolayı harçların zayıf baz özellik taşıdığı görülmektedir. Harçlarda pH, Şekil 5.25a'da görüldüğü gibi Orion marka pH metre ve pH bant ile test edilmiştir.



(a) **(b)**

Şekil 5.25: Harç numunesinin **a)** pH ve **b)** puzolanik aktivite analizinin yapılması

Harçlarda puzolanik aktivite deneyi elektrik iletkenliklerinin (Şekil 5.25b) ölçülmesiyle tespit edilmiştir. Buna göre Paloma, Çizer ve Uğurlu'dan öğrenilen deney yönteminde de bahsedildiği gibi doygun $Ca(OH)_2$'nin elektrik iletkenliği ölçülüp, elek analizi sonrasında horasan harcının 125 μm. altında kalan ince kısmı çözeltiye karıştırılıp son elektrik iletkenliği ölçülmüştür. Bulunan elektrik iletkenlik değerleri arasındaki fark Tablo Ek.A.5'de gösterilmiştir.

Tablodaki sayısal değerlere göre yapıların tümündeki değer farklarının 0,4 mS/cm'den daha yüksek olduğu ve puzolanik aktivite gösterdikleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu değer saray yapıları, Ayasofya, Aya İrini, Hagios Polyeuktos ve sarnıçlarda 1,2 mS/cm değerinden büyük olduğu için bu yapıların harçlarını iyi puzolan olarak nitelendirebiliriz. Surlar, Euphemia Kilisesi, Studios Manastırı ve diğer yapılarda ise bu değer 0,4–1,2 mS/cm aralığında ve üzerinde yer almaktadır. Bu harçların da puzolanik aktiviteye sahip olduğunu görülmektedir.

Günümüzden 15–20 yy. kadar eski olan bu harçların, uzun zaman içerisinde puzolanik özellik göstermeleri, bu süre zarfında yapıda kireç ile reaksiyona girmesi ve güçlü bir bağ oluşturduğu incelenen örneklerden tespit edilmiştir. Yapılan analizlerde harçların puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir, bu durum erken dönem Bizans yapılarının güçlü ve sağlam harçlara sahip olduğunu göstermektedir.

Tuz Analizleri:

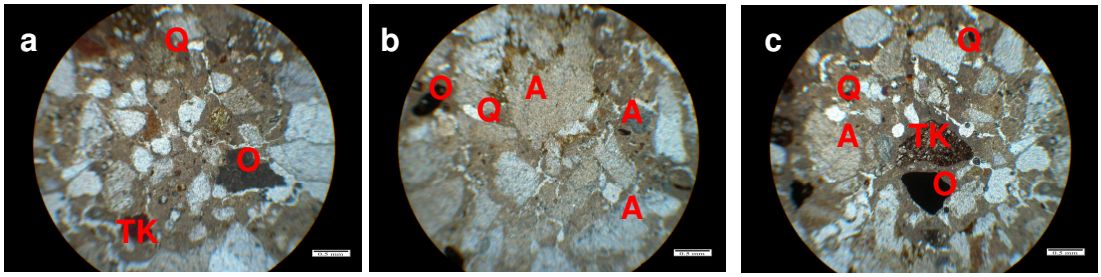
Erken dönem yapılarından alınan örneklerde çözünen tuzların miktarı iletkenlik ölçümü ile bulunmuş, spot analizlerle de tuzların cinsi (klorür, sülfat, nitrat, karbonat) tespit edilmiştir. Örneklerden hazırlanmış toz haline getirilmiş 1 g. harç ile 100 ml. distile su solüsyonu hazırlanmıştır. Çözünebilir tuz iletkenliğinin belirlenmesi için elektriksel geçirgenlik kondaktometre ile ölçülmüştür.

Tuz analizlerindeki sonuçlara bakıldığında deniz kenarına yakın kısımlardan alınan örnekler ile trafiğe maruz kalan bölgelerden alınan örneklerde tuz miktarı daha fazla çıkmıştır ve iç bölgelerdeki yapılarda bu oran azalmaktadır. Değerler Tablo Ek.A.6'da gösterilmiştir.

5.1.4 Mikro Yapı Analizleri

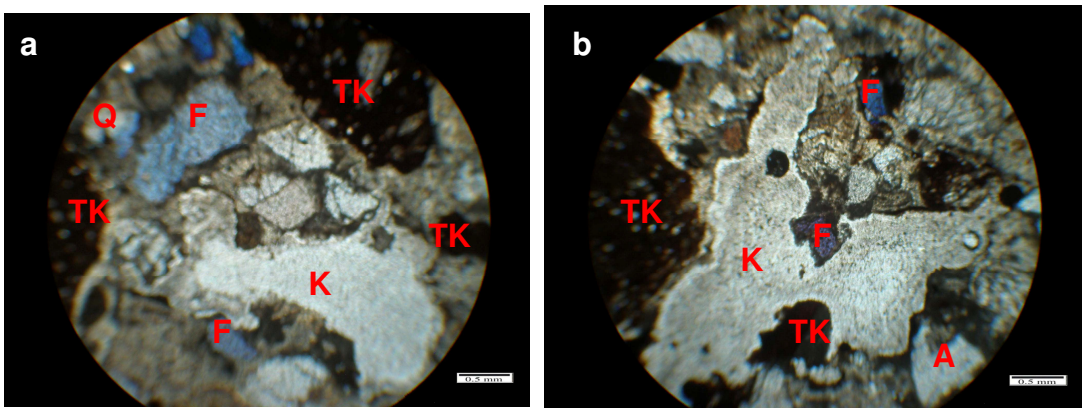
Petrografik Analiz

Örnekler öncelikle kesilip lam'a yapıştırıldıktan sonra taş kesme ince kesit makinesi (Logitech) ile 1 mm.e kadar inceltilip daha sonra, 30 µm.e kadar inceltilmiştir. Örneklerden elde edilen ince kesit fotoğrafları, çift nikol olarak SOIF marka polarize mikroskopta 4X büyütmede çekilmiştir.

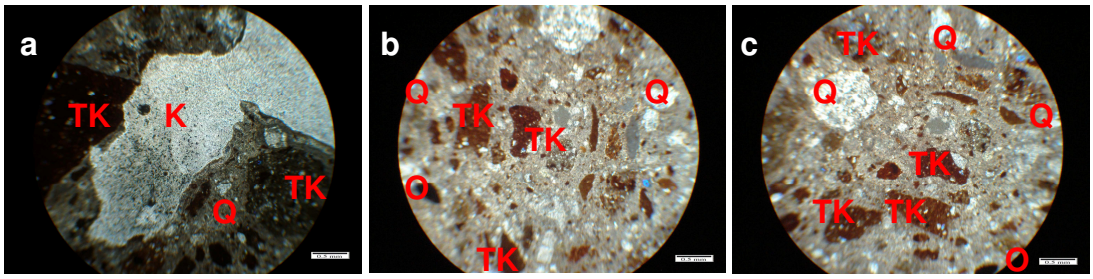


Şekil 5.26: D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı **a)** Genel doku görüntüsü, **b)** Bağlayıcı matrisinin görüntüsü, **c)** Bağlayıcı-agrega ilişkisinin görüntüsü (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, A: Farklı renkteki agregalar, O: Opak taş kırığı)

Bukoleon Sarayı'ndan alınan derz harcı örneğinin hamur kısmı kuvarsı yoğun olan bir harçtır, Şekil 5.26'da tuğla kırığının yanında farklı kayaçlar ve opak taş kırıkları da yer almaktadır. Tuğla kırığı ile bağlayıcının birbirine iyi bağlandığı görülmektedir. Harcın bağlayıcısında kuvars görülmesi, puzolanik katkı taşıyabileceğini göstermektedir. Bu sonuç XRD analizinde de CSH pikinin görülmesi ile hidrolik karakterli bir harç olduğunu göstermektedir.

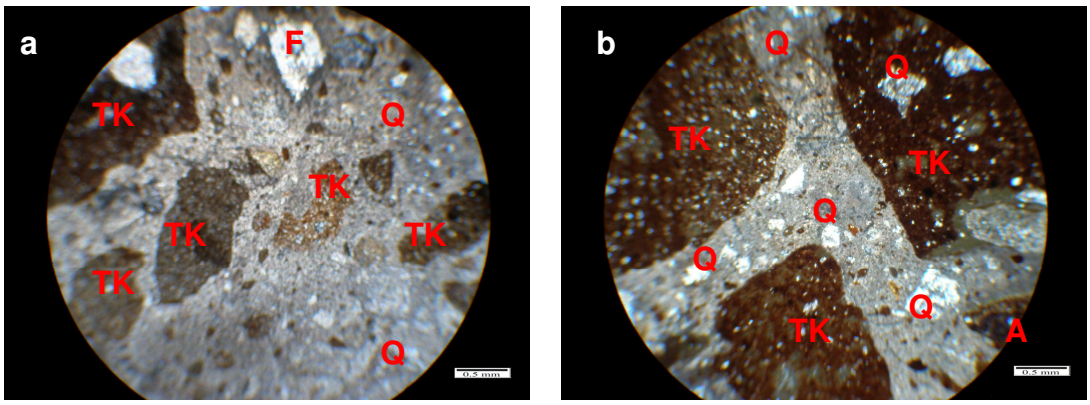


Şekil 5.27: D16 Lausos Sarayı derz harcı, **a)** Genel doku görüntüsü, **b)** Tuğla kırığı çevresindeki karbonatlaşmış matrisin görüntüsü, (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, F: Feldispat, A: Farklı renkteki agrega, K: Karbonatlaşmış matris)



Şekil 5.28: A8 Aspar Su Sarnıcı derz harcı, **a)** Tuğla kırığı çevresindeki karbonatlaşmış matrisin görüntüsü, **b)** Genel doku görüntüsü, c) Bağlayıcı matrisinin görüntüsü (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, O: Opak taş kırığı, K: Karbonatlaşmış matris)

Şekil 5.27 Lausos Sarayı derz harcında bağlayıcı matrisinde kuvars ve feldispat görülmektedir. Feldispat farklı agrega veya taşlardan gelmiş olabilir. Matriste karbonatlaşma görülmesi tuğla çevresinde kireç-agrega ara yüzeyinde karbonat topaklarını göstermektedir. Şekil 5.28'deki bağlayıcı matrisindeki farklı renkte tuğla agrega ve kuvars görülen Aspar Su Sarnıcı örneğinde de karbonatlaşmış matris görülmektedir, bağlayıcı-agrega aderansının iyi olması, bağlayıcısında kuvars görülmesi ve XRD analizinde CSH bulunmasından dolayı harcın puzolanik katkı taşıdığı söylenebilir.



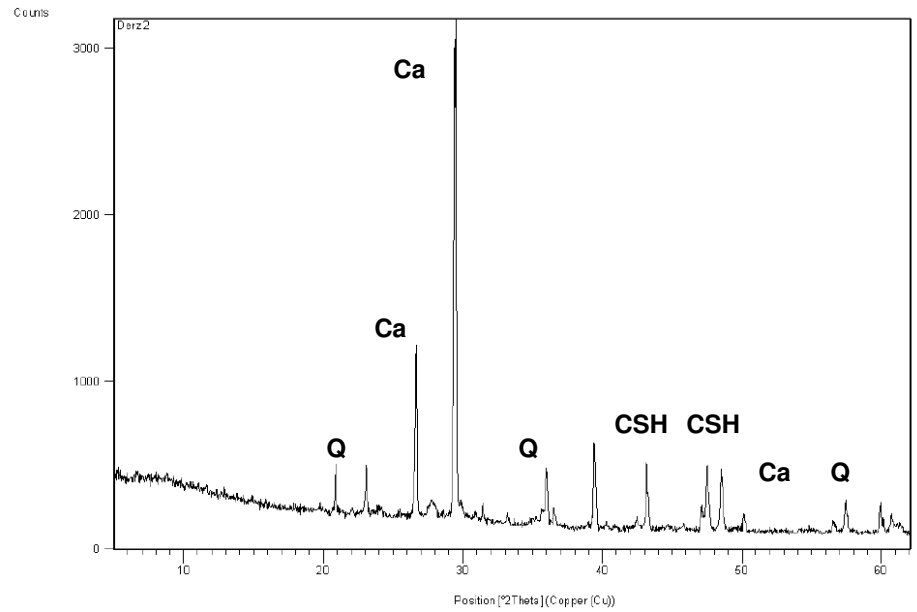
Şekil 5.29: D18 Acem Ağa çekirdek harcı, **a)** Genel doku görüntüsü, **b)** Tuğla kırığı ve matrisin ilişkisi (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, F: Feldispat, A: Farklı renkteki agrega)

Bej renkli matrise sahip bu harçta, harcın bağlayıcı kısmında ve tuğla agrega da kuvars gözlemlenmektedir. Harcın içinde silisli çakıl taneleri de bulunmaktadır, feldispatın varlığı ve XRD analizinde CSH bulunması, harçta puzolanik katkı olabileceği ya da tuğla agrega ile puzolanik özellik kazandığını göstermektedir.

Eklerde Şekil B.11'de D10 no.lu Aya İrini derz harcında tuğla kırığının çok olduğu ve bağlayıcı ile iyi aderans kurduğu görülmektedir. Bu harçta orthoclase görülmesi de puzolanik katkılı olduğunu göstermektedir. Şekil Ek.B.12 Hagios Mokios derz harcında da matristeki kuvars minerallerinden dolayı puzolanik katkılı hidrolik özellikli harç olduğu söylenebilir, XRD analiz sonuçlarından da harcın CSH içermesi bu sonucu doğrular niteliktedir.

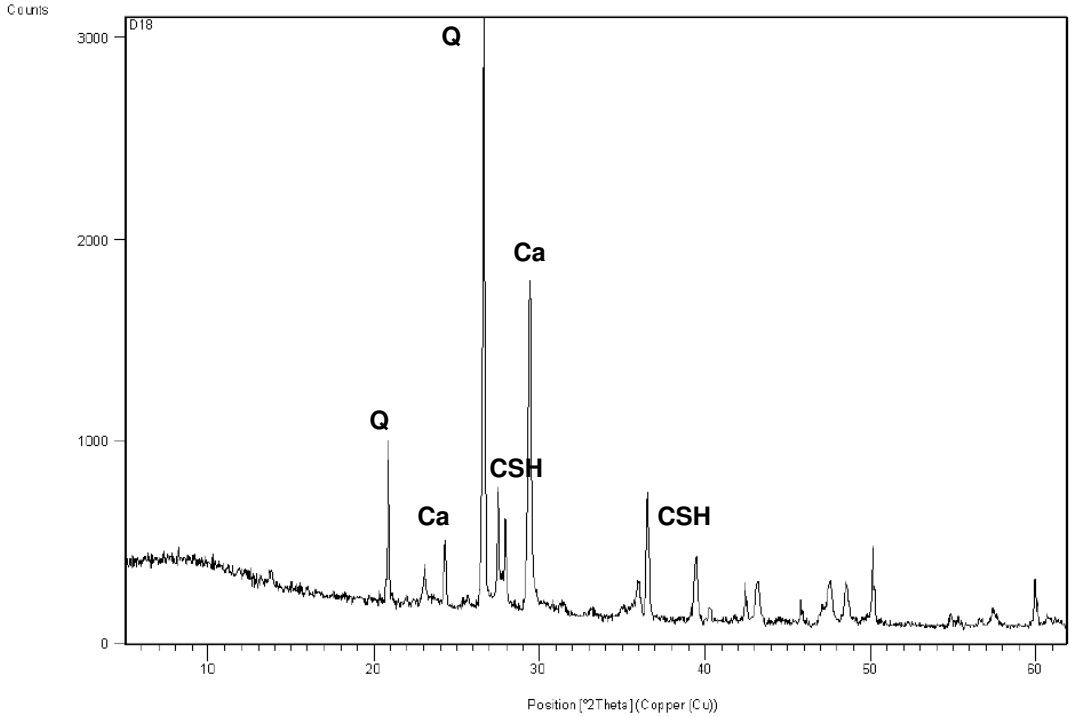
X- Işını Analizi

XRD analizleri İ.T.Ü.Malzeme Bilimleri ve Üretim Teknolojileri Uyg-Ar Merkezi Adnan Tekin Laboratuarında yapılmıştır. Toz haline getirilen örnekler PW 3050/60 X'Pert PRO X-ray Kırılma cihazıyla CuKα ışını ve40 kV voltaj ile yapılmıştır.

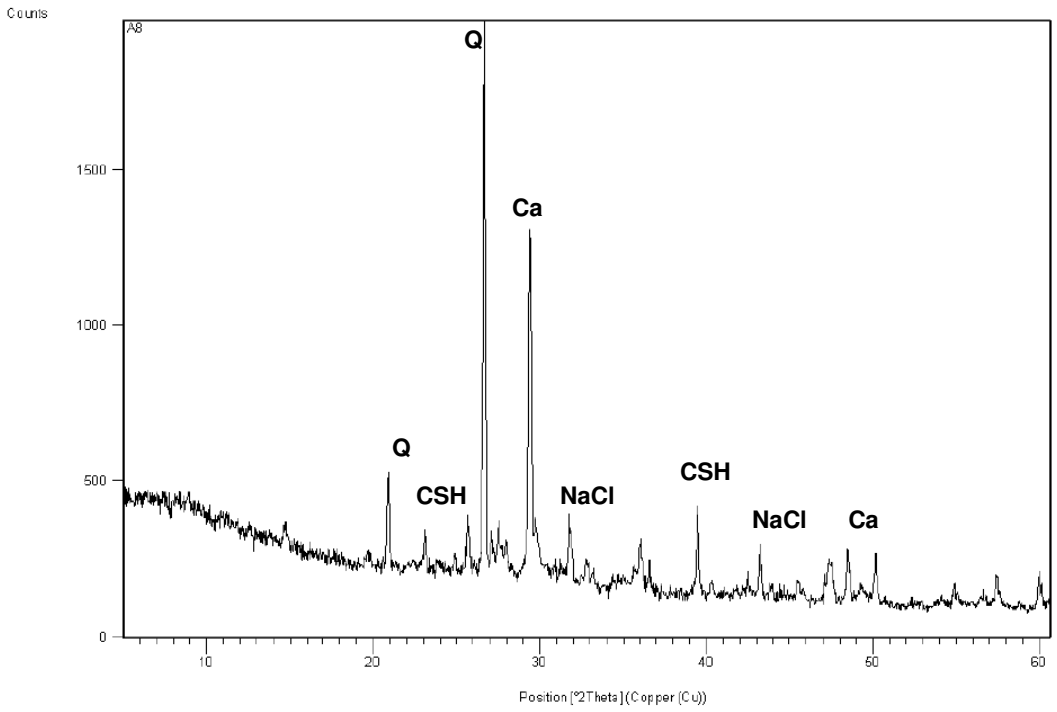


Şekil 5.30: D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, CSH: Kalsiyum Silikat Hidrat)

Şekil 5.30,31 ve 32'de görülen XRD grafiklerinde horasan harçlarının genel bir karakteri olarak kalsit ve kuvars mineralleri görülmektedir bununla birlikte D19 Bukoleon Sarayı derz, D18 Acem Ağa çekirdek, A8 Aspar Su Sarnıcı derz harcı, Şekil B16 ve B.17 örneklerinde CSH piklerinin görülmesi bu harçlarda kalsiyum silikat hidratlı bileşikler olduğunu ve puzolanik katkı taşıdıklarını göstermektedir. Harçların tuğla agregadan oluşmasından dolayı bu özelliğin tuğla kırığından ya da puzolanik katkıdan geldiği söylenebilir. Erken dönem yapıları ve Aya Sofya'da yapılan çalışmalarda da bu sonuçlar tespit edilmiştir, (Ekler. Şekil B.18,19,20 ve 21).



Şekil 5.31: D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı numunesinin X-Işını Grafiği (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, CSH: Kalsiyum Silikat Hidrat)

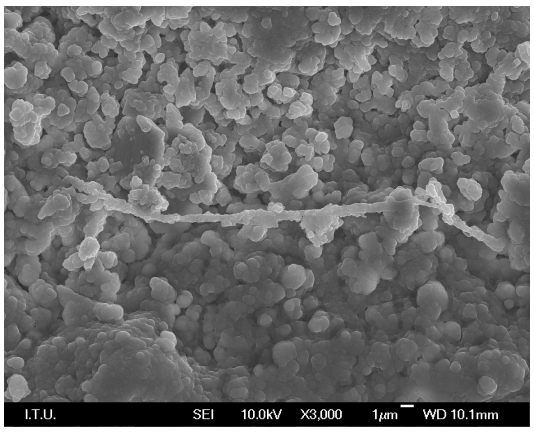


Şekil 5.32: A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği

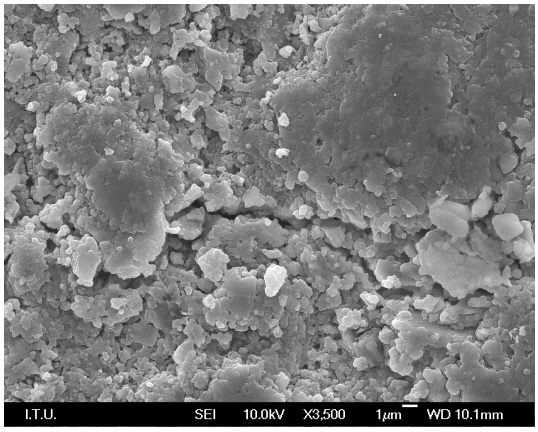
(Ca: Kalsit, Q: Kuvars, CSH: Kalsiyum Silikat Hidrat, NaCl: Sodyum Klorür)

SEM-EDS Analizi

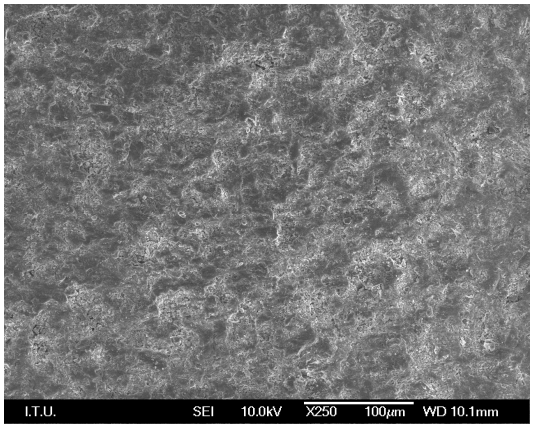
Harçların kimyasal kompozisyonları EDS Üniteli Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak İ.T.Ü. Kimya- Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü SEM Laboratuarları'nda JEOL JSM-7000 F marka Scanning Elektron Microscope (SEM) cihazı ile yapılmıştır.



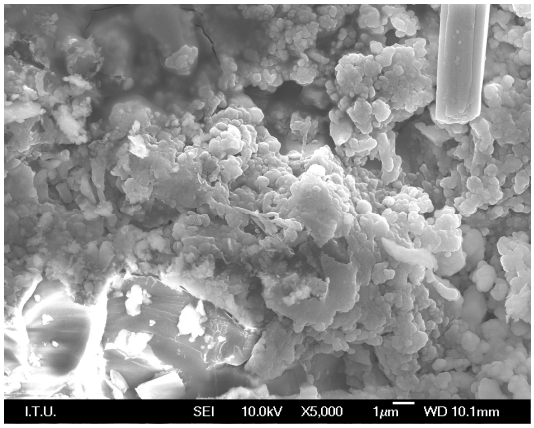
a) Bağlayıcı kısmı 3000X



b) Mikro yapıdaki çatlak 3500X



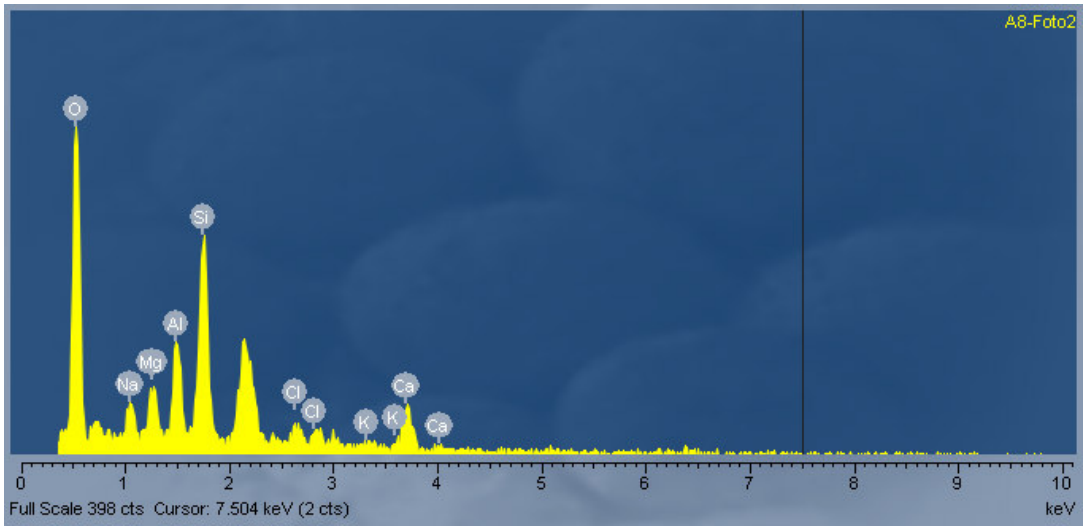
c) Agrega kısmı 250X



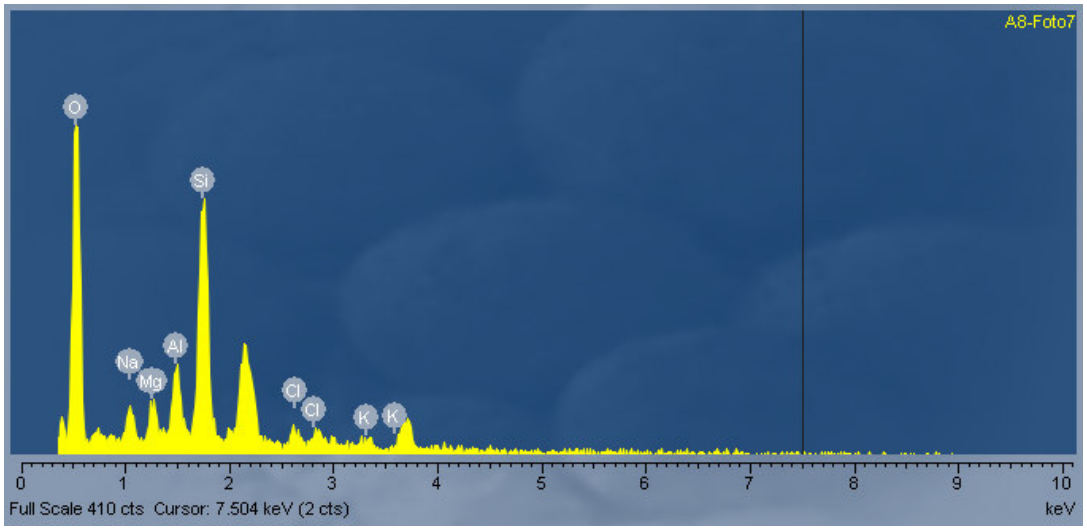
d) Bağlayıcı agrega arayüzeyi 5000X

Şekil 5.33: A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı numunesinin SEM görüntüleri

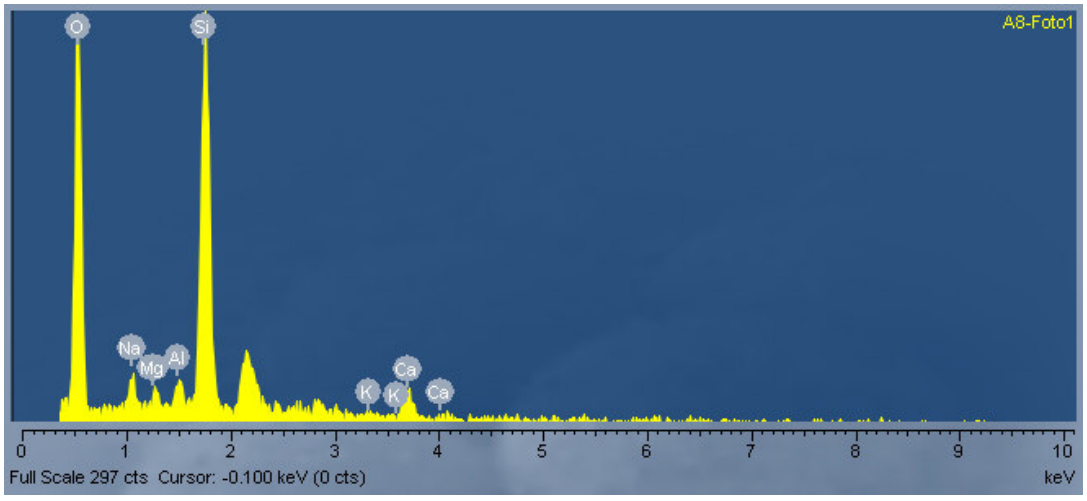
Şekil 5.33 c)'de Aspar Su Sarnıcı derz harcı örneği tuğla agregalarının homojen bir yapıya sahip olduğunu görmekteyiz. Bağlayıcı kısmından alınan SEM görüntülerinde ise kalsit kristallerinin arasında bağ şeklinde uzanmış formu kalsiyum silikat oluşumu olarak yorumlayabiliriz. Bununla birlikte Şekil 3.33 b)'de mikro yapıda oluşmuş çatlakla birlikte kristal haldeki kalsit varlığının yanında karbonatlaşmış bir kısım da görülmektedir, bu karbonatlaşma örneğin petrografik analizinde de görülmüştür.



Şekil 5.34: A8 no.lu numunenin bağlayıcı kısmı EDS Diyagramı (3500x)



Şekil 5.35: A8 no.lu numunenin agrega kısmı EDS Diyagramı (250x)



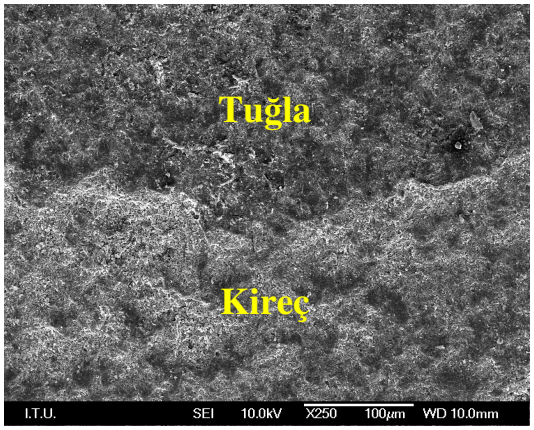
Şekil 5.36: A8 no.lu numunenin bağlayıcı agrega ara yüzeyi EDS Diyagramı (5000x)

Tablo 5.2: A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı örneğinin agrega, hamur ve bağlayıcı agrega ara yüzeyinden alınan EDS sonuçları

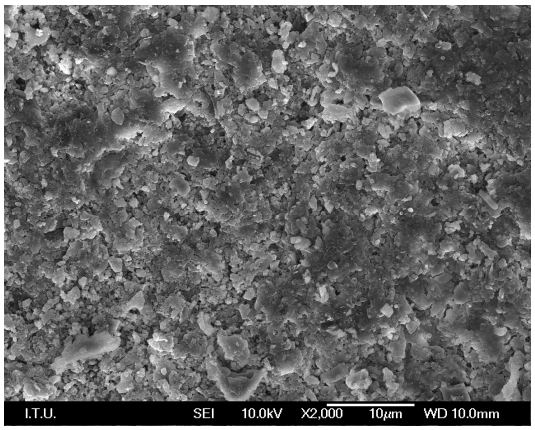
Element	Hamur kısmı EDS Sonuçları		Agrega kısmı EDS Sonuçları		Bağlayıcı Agrega ara yüzeyi EDS Sonuçları	
	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)
O	60,58	45,15	65,44	51,75	69,34	55,05
Na	2,81	3,06	2,75	3,13	2,14	2,42
Mg	0,43	0,94	2,88	3,47	0,89	1,07
Al	3,12	4,82	4,51	6,01	1,58	2,09
Si	10,26	14,96	20,42	28,35	17,94	27,35
K	0,57	1,05	1,58	3,06	0,62	1,20
Ca	19,80	25,90	-	-	7,48	10,84
Cl	2,46	4,12	2,42	4,24	-	-
Toplam	100	100	100	100	100	100

A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı örneğinin Şekil 5.33d'deki SEM görüntülerinde ve EDS diyagramında (Şekil 5.36) bağlayıcı kısmında yer alan kalsit kristalleriyle birlikte agreganın etrafındaki yoğunlaşma ve jelsi formların silikatlaşmadan ileri gelebileceğini de söyleyebiliriz. Yine bu sonucu örneğin XRD grafiğiyle karşılaştırdığımızda CSH piklerinin varlığıyla doğrulayabiliriz. Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da yer alan EDS diyagramlarından elde edilen sonuçlara göre harcın bağlayıcı matrisi, agrega ve bağlayıcı-agrega arayüzeyindeki elementsel dağılım Tablo 5.2'de ifade edilmiştir. Buna göre harcın silikatlı agregalardan oluştuğu, sodyum klorür tuzu içerdiğini görülmektedir. Harcın bağlayıcı kısmında görülen magnezyum miktarının tuğla agreganın EDS sonuçlarında da görülmesi, bunun agregadan kaynaklandığını göstermektedir.

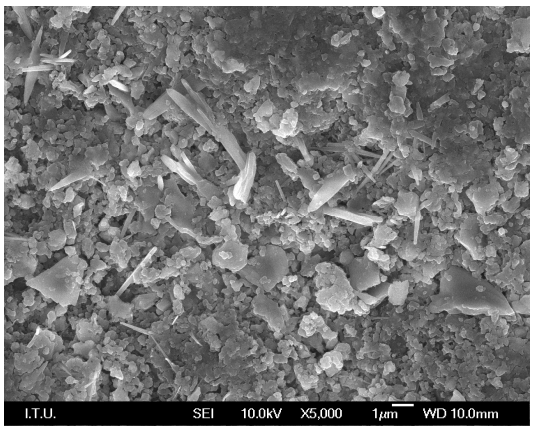
Harcın hamur kısmında ve bağlayıcı-agrega ara kesitinde de alüminyum ve silisyumunun yer alması XRD analizindeki piklerden de faydalanılarak kalsiyum silikatlı bileşiklerin varlığına bağlanmaktadır.



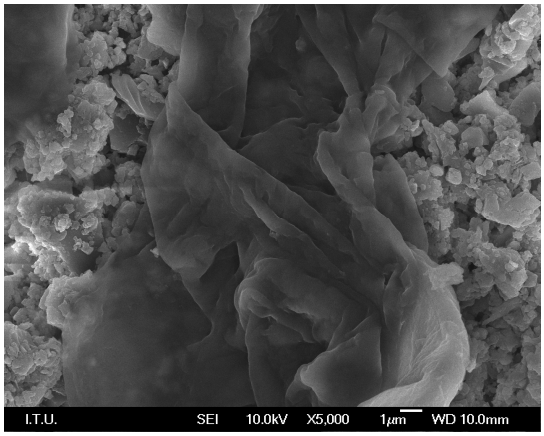
a) Genel doku görüntüsü 250X



b) Agrega kısmı 2000X



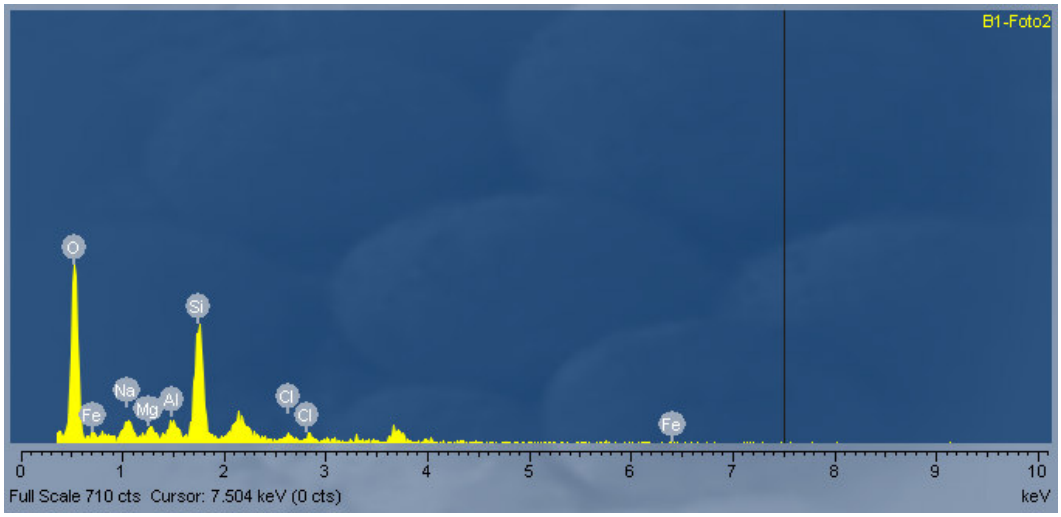
c) Hamur kısmı 5000X



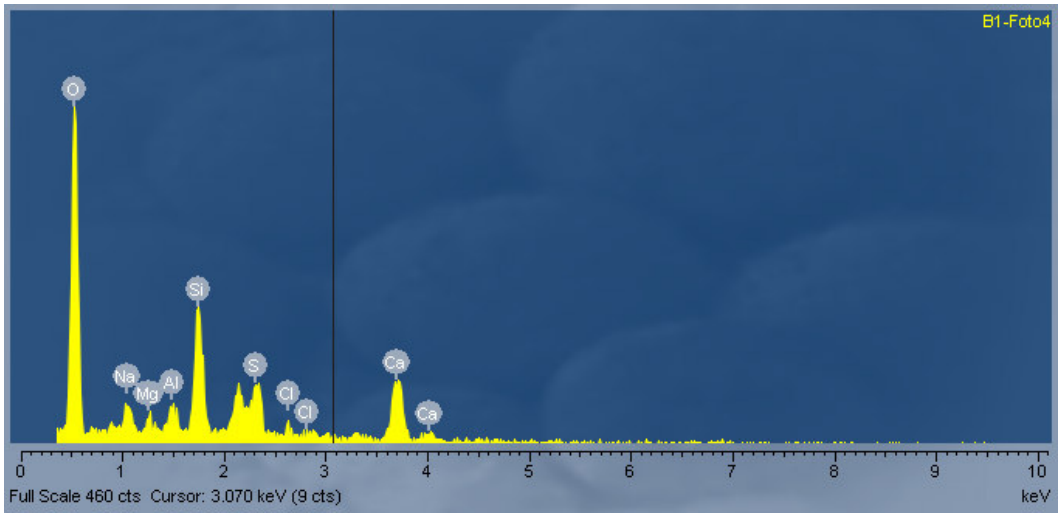
d) Bağlayıcı agrega ara yüzeyi 5000X

Şekil 5.37: D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı numunesinin SEM görüntüleri

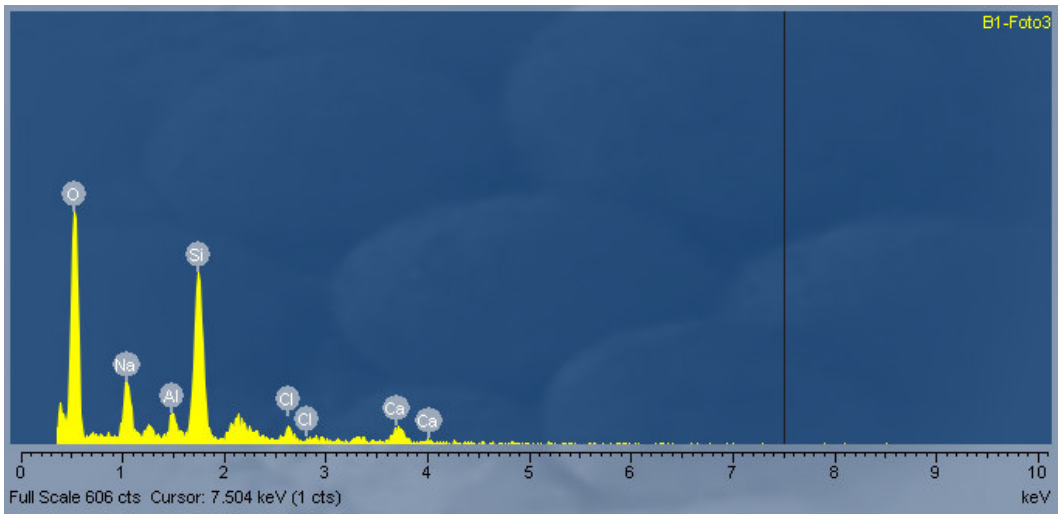
Şekil 5.37b'de Bukoleon Sarayı derz harcı örneğinin agrega kısmı SEM görüntüsünde ve Şekil 5.38 ile Tablo 5.3'deki EDS diyagramı ve sonuçlarına göre silikatlı agregalardan oluştuğu görülmektedir. Bağlayıcı kısmından alınan SEM görüntüsünde kalsit kristalleri ve alçı kristalleri görülmektedir. Hava kirliliğinden kaynaklanan sülfat iyonlarının kalsitli bağlayıcı ile birleşerek harçta bozulmalar meydana gelmektedir, bunun sonucunda alçı taşı ($CaSO_4$) oluşmaktadır. Ayrıca Şekil Ek B.3'te de farklı noktalardan alınmış farklı büyütmelerdeki SEM görüntülerinde prizmatik şeklindeki oluşumlar alçı kristallerini göstermektedir. Şekil 5.37d'de bağlayıcı agrega ara yüzeyindeki jelsi yapılar yine harçta kalsiyum silikatlı bileşikler olduğunu göstermektedir. Şekil 5.39 ve 5.40'da hamur ve ara yüzeyde silisyum gözükmesi yine XRD analizindeki CSH pikleri de bu sonucu doğrulamaktadır. EDS diyagramında harçta az miktarda da sodyum klorür tuzu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.38: D19 no.lu numunenin agrega kısmı EDS Diyagramı (2000x)



Şekil 5.39: D19 no.lu numunenin hamur kısmı EDS Diyagramı (5000x)



Şekil 5.40: D19 no.lu örneğin bağlayıcı agrega ara yüzeyi EDS Diyagramı (5000x)

Tablo 5.3: D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı örneğinin agrega, hamur ve bağlayıcı agrega ara yüzeyinden alınan EDS sonuçları

Element	Hamur kısmı EDS Sonuçları		Agrega kısmı EDS Sonuçları		Bağlayıcı Agrega ara yüzeyi EDS Sonuçları	
	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)
O	70,41	53,88	68,28	54,08	66,81	52,64
Na	2,27	2,49	3,44	3,92	6,46	7,31
Mg	0,98	1,14	1,58	1,90	-	-
Al	1,59	2,05	2,25	3,00	2,24	2,97
Si	8,81	11,83	20,81	28,94	18,20	25,17
Ca	10,33	19,81	-	-	3,95	7,80
Cl	1,17	1,98	1,86	3,27	2,45	4,10
Fe	-	-	1,77	4,90	-	-
S	4,44	6,82	-	-	-	-
Toplam	100	100	100	100	100	100

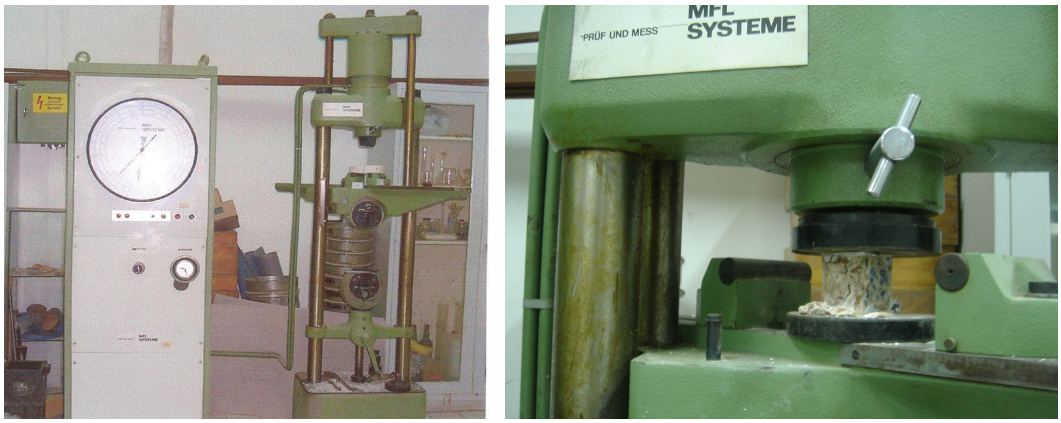
D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin SEM görüntüleri eklerde Şekil B.24'te yer almaktadır. Bu örneğin bağlayıcı kısmından 5000x büyütmede elde edilen görüntüde kalsit kristalleriyle beraber, silikatlı oluşumlar görülmektedir. Ayrıca yine Şekil B.24d'de mikro yapıdaki çatlak çevresinde karbonatlaşmış alanlar, harcın 25000X ve 30000X büyütmelerinde ise üç boyutlu kalsit oluşumları ve jelsi yapılar görülmektedir. Tablo 5.4'te görülen elementlerin yüzdelik dağılımlarından harcın silikatlı agregalardan oluştuğu, sodyum klorür tuzu içerdiği, agrega kısmında görülen magnezyum elementinin ise tuğla kırığı agregalardan kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Tablo 5.4: D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin agrega ve hamur kısmından alınan EDS sonuçları

Element	Hamur kısmı EDS Sonuçları		Agrega kısmı EDS Sonuçları	
	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)	Atom (%)	Konsantrasyon (wt,%)
O	73,16	57,29	63,24	48,06
Na	-	-	2,11	2,30
Mg	1,08	1,28	2,96	3,42
Al	4,38	5,79	6,69	8,57
Si	10,74	14,77	20,25	27,02
K	-	-	1,33	2,47
Ca	10,64	20,87	-	-
Cl	-	-	0,96	1,62
Fe	-	-	2,46	6,53
Toplam	100	100	100	100

5.1.5 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Horasan harçları çok dağılgan malzemeler olduğu için yapılardan alınan örneklerde basınç dayanımı testi yapabilmek için uygun boyutta örnek hazırlamak zor olmuştur. Bunun için örnek boyutu büyük ve daha dayanıklı örneklerden elde edilen düzgün boyutlu örnekler İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarı'nda (GMBH, D-6800 Mannheim pres) mekanik test cihazı ile tek eksenli basınç dayanımı testi (Şekil 5.41), düzgün boyutlu olmayan örneklerde ise İ.T.Ü Maden Fakültesi Laboratuarı'nda Nokta Yükleme (Point-Loading) metodu ile yapılmıştır (Şekil 5.42). İki deneyden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak bir korelasyon değeri (10) bulunmuştur, korelasyon değerinin tespit edildiği örnekler tabloda işaretlenerek gösterilmiştir. Buna göre sonuçlar Tablo 5.5'de verilmiştir.



a) **b)**

Şekil 5.41: a) Eksenel basınç yükleme makinesi **b)** Basınç yüklenen örnek



Şekil 5.42: Nokta yükleme test metodu (Point loading tester), **(Ahunbay ve diğ., 2003)**

Tablo 5.5: Bazı örnekler üzerinde yapılan basınç dayanımı analiz sonuçları

Yapı Grupları	Örnek Numarası ve Adı	Nokta Yüklemedeki Basınç Dayanımı (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Korelasyon Değerinin Tespit Edildiği Örnekler
Saray Yapıları	**D19-** Bukoleon Sarayı derz harcı	0,8	8	*
	D20- Bukoleon Sarayı çekirdek harcı	-	7	*
	D14- Lausos Sarayı derz harcı 1	0,6	6	
Dini Yapılar	**D10-** Aya İrini derz harcı	0,5	5	
	D40- Acem Ağa Mescidi derz harcı	0,5	5	*
	D17- Euphemia Kilisesi derz harcı	0,6	6	
	D6- Karpos Papylos Martyrionu derz harcı	0,4	4	
	D4- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 2	0,3	3	
	D5- Hagios Polyeuktos derz harcı	0,3	3	
Su Yapıları	**A7-** Aspar Su Sarnıcı çekirdek harcı	0,4	4	*
	B9- Aetios Sarnıcı çekirdek harcı	0,5	5	
	D9- Hagios Makios sarnıcı derz harcı	0,5	5	
Kara Surları	**B2-** Kara surları T91 no.lu kule çekirdek harcı	-	4	
	B3-Kara surları T91 no.lu kule derz harcı	-	3	
	B6- Kara surları T93 no.lu kule derz harcı	-	4	
	C1- Kara surları Mevlanakapı çekirdek harcı	0,3	3	*
	C7- Kara surları Silivrikapı çekirdek harcı	-	3	
Marmara Surları	**D26-** Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası çekirdek harcı	0,5	5	*
	D28- Çatladıkapı derz harcı	0,6	6	
Haliç Surları	**D34-**Haliç surları Fener civarı çekirdek h	0,4	4	*
	D37- Haliç surları Balatkapı civarı çekirdek harcı	-	3	
Diğer Yapılar	**A1 -** Hipodrom derz harcı	0,4	4	

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında İstanbul'da yer alan Erken Bizans Dönemi yapılarının bazılarından alınan horasan harcı örneklerinin fiziksel, kimyasal, mekanik, petrografik ve mineralojik analizleri yapılmış, analiz sonuçları grafik ve tablolarla ifade edilip, sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir.

Erken Bizans Dönemi yapılarından olan ve bugün günümüzde hala mevcut olan Yerebatan ve Binbirdirek sarnıçlarından örnek alınamamıştır, bununla beraber birçok Bizans yapısının kalıntıları da günümüze ulaşamamıştır. Bu çalışmada saray yapıları, dini yapılar, kara, Marmara, Haliç surları, su yapıları olmak üzere toplam 19 adet yapıdan 65 adet örnek alınmıştır. Yapılan analiz çalışmalarına göre yapı gruplarına ve yapıların yer aldıkları bölgelere göre sonuçlar incelenmiştir. Yapılardan alınan 65 adet örnek üzerinde yapılan analiz çalışmalarında bu harçların genelde tuğla kırıklı agregadan oluştukları (örneklerin %52'si sadece tuğla kırığı), bir kısmının da tuğla kırığı ve dere çakılından (örneklerin % 48'i) oluştukları görülmüştür (Şekil 5.14).

Kireç bağlayıcılı olan bu harçların özelliklerini yer aldıkları bölgelere göre incelediğimizde, Saraçhane ve Fatih bölgesinde yer alan yapılardan alınan örnekler çakıl ve kum miktarı tuğla tozu miktarına göre daha fazla olan harçlardır, Saraçhane'de yer alan yapılardan Hagios Polyeuktos'tan alınan örneklerin daha açık pembe renkli ve daha dağılgan olduğu görülmüştür. Edirnekapı bölgesinde tuğla tozunun biraz daha fazla, orta sertlikte harçlar olduğu görülürken, karasurlarının Mevlanakapı-Samatya bölgesinde ise pembe renkli homojen matrise sahip, Edirnekapı bölgesinde yer alan surlara göre daha sağlam ve silisli agregalardan oluşan harçlar görülmüştür. Bu harçlarda yapılan asit kaybı analizi sonucunda filtrede kalan malzemeler incelendiğinde kile benzer tozlar görülmüştür. Samatya civarında yer alan Karpos-Papylos Martyrionu, Hagios Mokios Sarnıcı ve İmrahor Camii'nde daha sert harçlar, açık renkli bir bağlayıcı matrisi, kum miktarının tuğla tozuna göre daha fazla olduğu ve iri tuğla agregalardan oluştuğu, kireç topakları görülen harçlar dikkati çekmektedir.

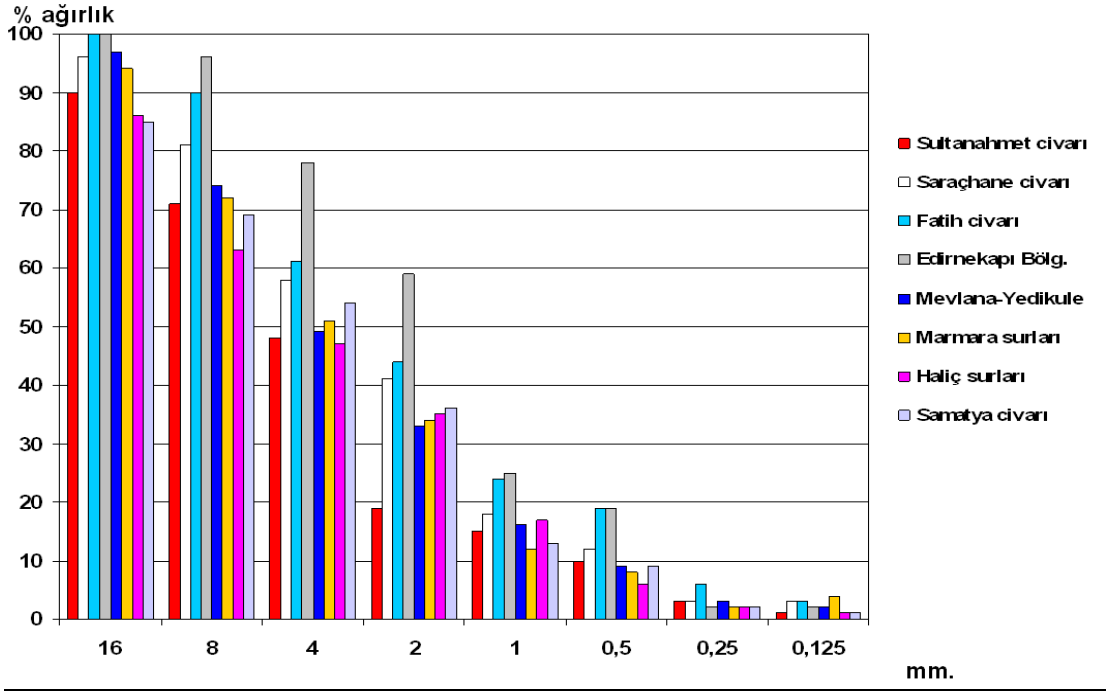
Sultanahmet bölgesinde yer alan yapılardan alınan harçların ise pembe renkli, tuğla tozuyla beraber kum da görülen, daha sağlam yapılı ve diğer yapılara göre daha iri

agregalı harçlar olduğu görülmüştür. Bu bölgede yer alan Lausos Sarayı, Büyük Saray, Bukoleon Sarayı, Acem Ağa Mescidi Mescidi gibi yapılardan alınan örneklerde asit kaybı analizi sonunda ince agrega olarak kil görülmüştür. Bu civardan alınan örneklerde yapılan mineralojik analizlerde de silikatlaşmalar görülmüştür. Özellikle saray yapılarından alınan örneklerin diğer örneklere göre mekanik dayanımlarının daha iyi, agrega dağılımında iri agregalarının daha baskın oldukları yapılan deneysel çalışmalarda görülmüştür. Dini yapılardan alınan harç örneklerinin mekanik dayanım ve agrega dağılımı olarak saray yapılarından alınan örneklere benzedikleri görülmüştür. Bununla beraber Aya Sofya ve Aya İrini'den alınan örneklerde tuğla tozunun ve tuğla kırığının diğer örneklere göre daha fazla miktarda olduğu, farklı agrega içermeyen pembe renkli horasan harcı dikkat çekmektedir. Acem Ağa Mescidi ve Euphemia Kilisesi'nden alınan örneklerde ise doku, renk, sertlik ve agrega çeşidi birbirlerine benzemekte tuğla agregayla birlikte dere çakılı agrega da içermektedir. Sahil kesiminde Marmara ve Haliç surlarından alınan harç örneklerinde daha çok çakıl agrega ve kum içeren açık pembe matrisli, mika ve kuvars görülen harçlara rastlanmıştır. Marmara surlarından alınan harçların daha sağlam yapılı harçlar oldukları mekanik dayanım testlerinde de görülmüştür (Tablo 5.5).

Yapılardan alınan örneklerin fiziksel özelliklerinde görülen ortalama değerlere baktığımızda (Tablo 5.1) kütlece su emme yüzdesi saraylarda % 23–35, dini yapılarda % 19–42, su yapılarında % 15–39, kara surlarında % 13–50, Marmara surlarında % 18–35, Haliç surlarında % 23–37, Sampson hastanesi ve Hipodrom'da %20–28 aralığındadır. Örneklerin birim hacim kütlesi saraylarda 1,32–1,52 g/cm^3, dini yapılarda 1,23–1,90 g/cm^3, su yapılarında 1,26–1,77 g/cm^3, kara surlarında 1,14–1,90 g/cm^3,Marmara surlarında 1,30–1,66 g/cm^3, Haliç surlarında 1,25–1,59 g/cm^3, Sampson Hastanesi ve Hipodrom'da ise 1,45–1,66 g/cm^3 olduğu görülmüştür. Harçların porozite oranları genel olarak % 26–50 arasında değişmektedir. Bu oran daha önce Erken dönem yapılarında, kara ve deniz surlarında yapılmış çalışmalarda bulunan oranlara benzemektedir **(Ersen ve diğ., 1995; Ahunbay ve diğ., 2003; Özkaya ve diğ., 2006).** Bölgelere göre harçların porozite değerlerine baktığımızda Edirnekapı bölgesinde yer alan karasurlarının en düşük değerlere (%26–45), Mevlanakapı- Samatya arasında yer alan karasurlarının ise en yüksek değerlere (% 39–53) sahip olduğu görülmüştür. Sultanahmet, Fatih ve Marmara deniz surlarında görülen oranlar birbirine benzer ve %32–48 aralığındadır.

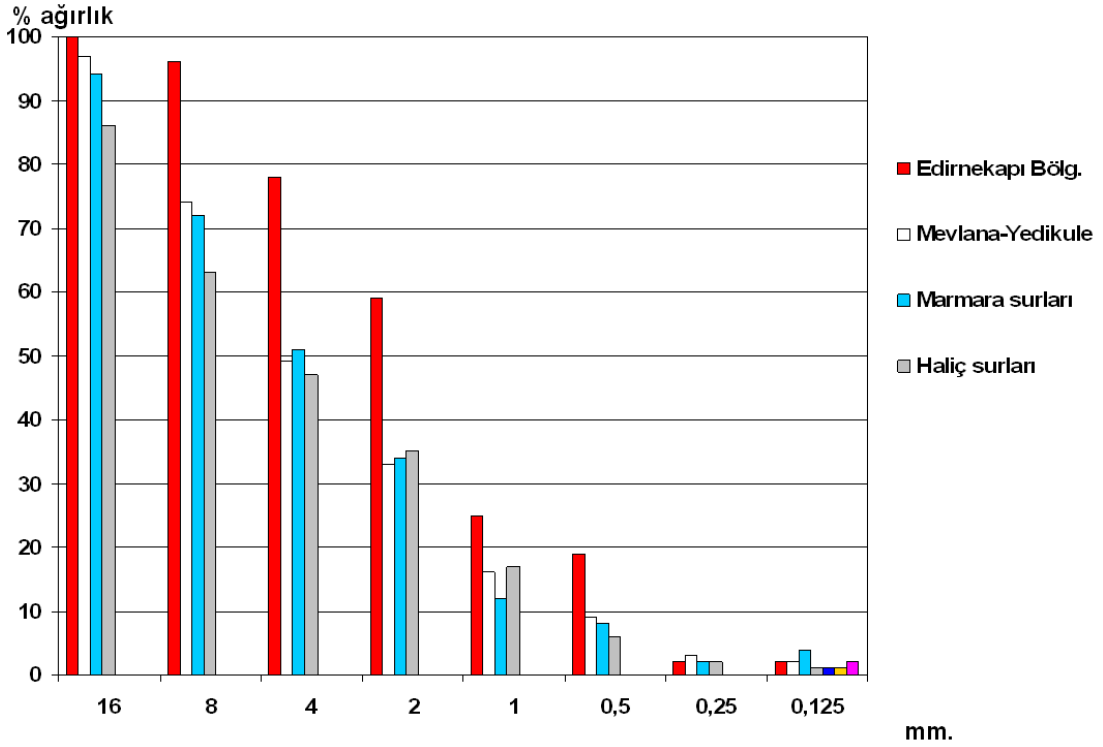
Harçlarda yapılan asit kaybı analizinde % 10 oranında hazırlanmış HCl ile silisli agrega ve diğer çözünmeyen malzemeler ayrıştırılmıştır. Kalan agregada elek analizi yapılıp her elek grubunda kalan agregalar incelenmiştir. Şekil 5.15'te görüldüğü gibi

saray ve dini yapılarda agrega miktarı bağlayıcıdan daha fazladır. Bu yapılarda 1/3–1/4 oranı daha fazla görülmektedir. Diğer yapılardaki bağlayıcı/agrega oranı 1/2–1/3 aralığındadır. Özellikle Sultanahmet ve Fatih bölgesinde bağlayıcı/agrega oranı 1/4, diğer bölgelerde ise bu oran ortalama 1/2–1/3'tür. Saray yapılarının ve dini yapıların daha çok yer aldığı Sultanahmet bölgesinden alınan harçlar aynı zamanda diğer bölgelerden alınan örneklere göre daha serttir. Ahunbay ve diğerleri, Ersen, Moropoulou gibi birçok uzman tarafından incelenen Erken Bizans dönemi yapılarında bağlayıcı/agrega oranları bu çalışmada olduğu gibi 1/2–1/4 aralığında bulunmuştur. 1/4 ve 1/5 oranında bulunan bağlayıcı/agrega oranının 1500 yıllık bir tarihi olan bu yapıların tuğla kireç ara yüzeylerinde oluşan silikatlaşma ile kirecin agrega ile iyi bir bağ kurduğunu göstermektedir.



Şekil 6.1: Yapıların yer aldıkları yerlere göre elekten geçen malzeme yüzde dağılım grafiği

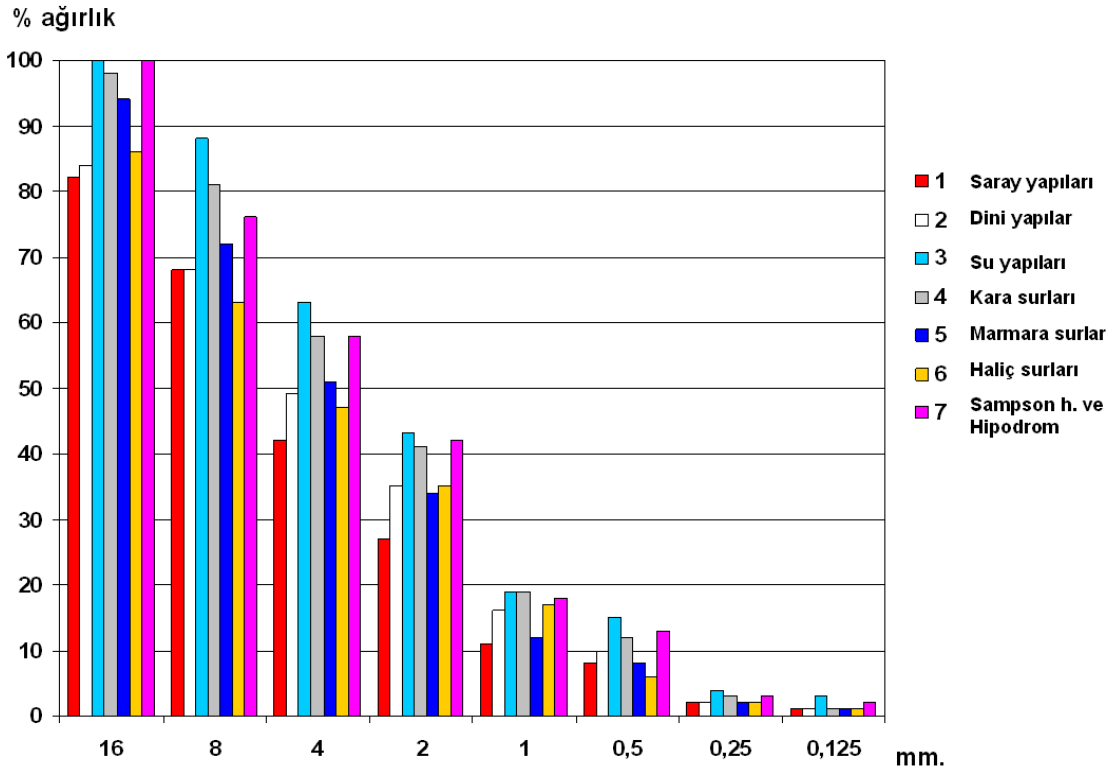
İncelenen yapıların yer aldıkları bölgelere göre Şekil 6.1'deki elekte kalan malzeme yüzde dağılım grafiklerine bakıldığında, Fatih ve Edirnekapı bölgesinde yer alan yapıların daha ince agregalı harçlardan oluştukları, Fatih civarında 4 mm.deki agrega miktarının fazla, Haliç Surları ve Samatya civarında yer alan yapıları ise daha iri agregalı harçlardan oluştukları (16- 8 mm.) Şekil 6.1'deki grafik değerlerinden görülmektedir. Mevlanakapı-Yedikule arasındaki bölgede de 8 ve 4 mm.deki agregaları daha küçük boyutlu agregalara göre fazladır. Sultanahmet civarında yer alan yapılarda 16 mm- 4 mm. aralığındaki agrega miktarının daha fazla olduğu, özellikle saray yapılarında iri agregaların daha baskın oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 6.2: Surların elekten geçen malzeme yüzde dağılım grafiği

Surları ayrıca incelediğimizde (Şekil 6.2) Edirnekapı kara surlarından Haliç'e uzanan tarihi yarımada da ince boyutlu agregadan daha iri boyutlu agregaya doğru bir dağılım görülmektedir. Edirnekapı bölgesinde en ince agrega boyutu görülürken bu bölgeden itibaren bunu Mevlanakapı-Yedikule, Marmara ve Haliç surlarına doğru daha iri boyutlu agrega tipi görülmektedir. Tuğla ve çakıl agregadan oluşan bu harçlarda özellikle Mevlanakapı- Yedikule arasında yer alan sur dizinde tuğla tozu ve kırığının daha yaygın olarak kullanıldığı, çakılın yer almadığı görülmüştür.

Yapıları, yapı grupları şeklinde incelediğimizde Saray yapılarının Şekil 6.3'deki agrega dağılım grafiğinde ve Tablo A.4'te en iri agrega tipine sahip oldukları görülmektedir. Bu yapılarda 16 mm. ve 8 mm.deki agregalar görülürken, en çok agrega 4 mm.de yoğunlaşmıştır. Ayrıca bu yapılarda kullanılan tuğla agregalar diğer yapılardakine göre daha koyu renkli ve boşluksuz yapıya sahiptir, mekanik dayanımları da yüksek değerdedir. Saray yapılarından sonra dini yapılar ve Haliç surları iri agregaya sahip, su yapıları ise en ince agregaya sahip yapı grubunu oluşturmaktadırlar. Sampson Hastanesi ve Hipodrom'dan alınan örneklerde 8 mm. ve 1 mm. boyutundaki agregalarının diğer agrega dağılımlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Harçlarda diğer çalışmalarda da görülen bir sonuç olarak çekirdek harcı agregalarının, derz harcı agregalarına göre daha iri olduklarıdır.



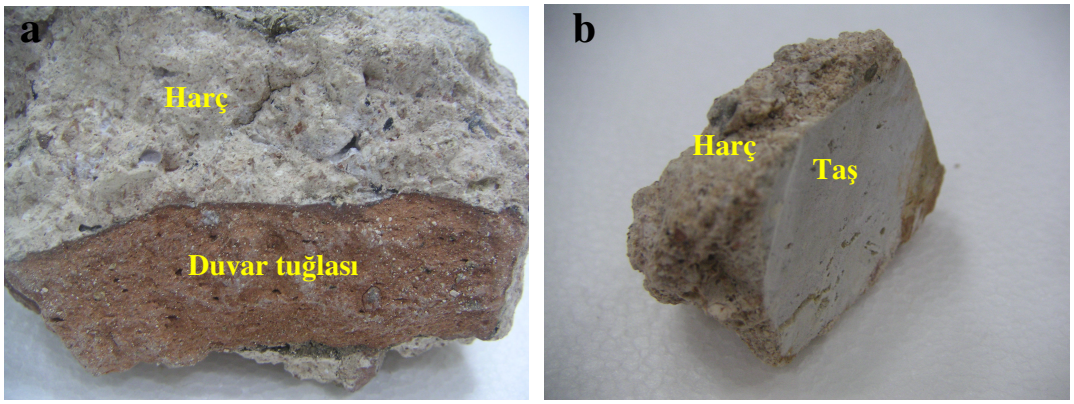
Şekil 6.3: Yapı gruplarına göre elekten geçen malzeme yüzde dağılım grafiği

Kızdırma kaybı analizinde harç örneklerinin 550 °C'deki kızdırma kaybında kireç ve tuğla arayüzeyindeki hidrolik ürünlerin kimyasal suyunun kaybı, 1050 °C'deki kızdırma kaybında ise karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu ile karbondioksit (CO_2) kaybı olur. Bu sonuçlardan CO_2 / H_2O oranı harcın hidroliklik özelliğini verir. Ayrıca Bölüm 5.1.3'te değinildiği gibi, Moropoulou'nun Aya Sofya'da ve diğer farklı yapılarda yaptığı çalışmalardan elde ettiği sonuçlarla harçlarda bulunan CO_2 ve kimyasal su yüzdeleri ile CO_2 / H_2O oranlarından elde edilen değerlere göre harçları kireç harcı, hidrolik kireç harcı, tuğla kırıklı kireç harcı ve puzolanik harçlar olmak üzere 4 gruba ayırmıştır. Şekil 5.18 ve 5.19'da, eklerde Tablo A.3'teki değerlere bakılarak harçların 550°C'de kimyasal su kaybı ve 1050 °C'de CO_2 kaybı değerlerine ve bunların oranlarına göre, incelenen harçların puzolanik ve tuğla kırıklı harçlar grubuna girdikleri görülmüştür. Yine yapı grupları olarak baktığımızda Şekil 5.18'deki % $CaCO_3$ grafiğinden saray yapılarının en düşük yüzdeye sahip olduğu kireç bağlayıcının az tuğla agreganın yoğun olduğu sonucu görülmektedir.

Paloma ve Böke'nin yaptığı çalışmalardan yararlanılarak puzolanik aktivite değerleri harçların doygun kalsiyum hidroksit çözeltisiyle karıştırılmadan önce ve sonra sahip oldukları elektrik iletkenliklerinin ölçülmesi ve aradaki farkın belirlenmesi ile tespit edilmiştir. Buna göre Tablo Ek A.5'teki değerlere bakılarak elektrik iletkenlik değerleri arasındaki farkın 0,4 mS/cm'den büyük olması harçların puzolanlık özelliği

taşıdığını 1,2 mS/cm'den büyük olması ise iyi puzolan olduğunu göstermektedir. Yapılardan alınan harç örneklerinin puzolanik katkılı ve analizlerin birbirini doğrular nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır. Çok genel bir sonuç olmasıyla birlikte bu harçların hidrolik özellikli harçlar oldukları görülmektedir.

Aynı zamanda XRD analizinde bu harçlarda kalsiyum silikat hidrat (CSH) piklerinin tespit edilmesi, harçların hidrolik özellik taşıdığını, bu özelliğin tuğla kireç ara yüzeyinde oluşan puzolanik reaksiyonlardan ya da puzolanik katkılardan geldiğini söyleyebiliriz.



Şekil 6.4: a) Hagios Polyeuktos **b)** Aspar Su Sarnıcı derz harcının yapı tuğlası ve taşıyla olan ilişkisi

Horasan harçlarında örnek almadaki zorluk nedeniyle basınç dayanımı testi için ancak bazı örneklerden uygun boyutlu numuneler elde edilebilmiştir. Diğer örneklerde ise nokta yükleme (point-loading) analizi yapılarak iki analiz sonuçları arasında bir korelasyon değeri bulunarak sonuçlar Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Sonuçlara göre örneklerin 3-8 MPa aralığında basınç dayanımları olduğu, en yüksek basınç dayanımı değerlerinin Sultanahmet civarında yer alan yapılarda olduğu görülmüştür. Yine bu oran saray yapılarında en yüksek değerdedir. Şekil 6.4'de de görüldüğü gibi harçların yapı tuğlası ve yapıda kullanılan taş ile iyi bir aderans oluşturdukları, harç numunesi alırken yapıda kullanılan diğer malzemelerle beraber koptukları görülmüştür.

Petrografik analiz sonuçlarında tuğla kırığının baskın agrega olduğu, bununla beraber farklı renkteki agregalar ve opak mineraller içerdiği görülmüştür. Bağlayıcı matrisinde kuvars mineralinin bulunduğu, bazı örneklerde de feldspat görülmüştür.

Bunların kırılmış taşlardan veya kumdan geldiği düşünülmektedir. Tuğlaların içinde bulunan kuvars mineralleri, tuğlanın yapımında kullanılan malzemelerden ve kil içeriğinden ileri gelmektedir. Kuvars mineralinin bağlayıcı matrisinde bulunmuştur ve bu harçların asit kaybı analizinde filtre kâğıdında kalan malzemeleri incelendiğinde tüfsü malzemeler görülmüştür. Bu sonuçlar harçlarda puzolan kullanıldığını göstermektedir. Kireç matrisinde karbonatlaşmış yığınlar görülmektedir. Bu karbonatlaşma Lausos Sarayı derz harcı ve Aspar Su Sarnıcı derz harcında görülmüştür, Aspar Su Sarnıcı derz harcında yapılan SEM analizlerinde de karbonatlaşmalar petrografik analizleri destekler niteliktedir.

Sarnıç yapılarının yapım amacının farklı olmasından dolayı bu harçların özellikleri diğer yapılardan alınan örneklere göre farklıdır. Sarnıç harçları daha az tuğla kırığı ve tozu daha fazla dere çakılı agrega içerdiği görülmüştür. Bununla birlikte bu harçlar sert bir yapıya sahiptir. Yapılan mineralojik ve petrografik analizlerde bu harçların puzolanik katkı içerdiği, kimyasal analiz sonunda tüfsü malzemelerin varlığı harçların suya karşı dirençli harçlar olduklarını göstermektedir. XRD analizi sonuçlarında kalsiyum silikat hidratlı bileşikler ve SEM analizlerinde jelsi yapılar bu harçların hidrolik karakterli harçlar olduklarını göstermektedir. Şekil Ek B.11'de Aya İrini derz harcının daha çok tuğla kırığı ve tuğla tozundan oluştuğu, kuvarsın yoğun olarak yer aldığı koyu renkli agregalara sahip olduğu görülmüştür. Bu harç matrisindeki kuvars yoğunluğu ve XRD analizinde orthoclase bulunması harcın puzolanik katkı içerdiğini göstermektedir. Şekil Ek B.13'te Hipodrom derz harcı örneğinde tuğla agrega çevresinde silikatlaşma görülmüştür.

XRD analizlerinde kalsit, kuvars piklerinin belirgin olması, çok miktarda olduğunu göstermemektedir. Bu minerallerin kristal şeklinin düzgün olmasından dolayı X-ışınlarını daha iyi yansıtması nedeni ile pik şiddetinin fazla çıkması olağan bir durum olarak yorumlanmaktadır. Kalsit minerali bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını, kuvars minerali ise agregaların genellikle kuvars minerali içerdiğini göstermektedir. Bununla birlikte incelenen örneklerde CSH piki (kalsiyum silikat hidrat) bulunmuştur ve Moropoulou'nun daha önce Aya Sofya ve Rodos'ta yer alan Erken Bizans dönemi yapılarındaki çalışmalarda da CSH pikleri tespit edilmiştir (Şekil B.18,19 ve 20). Bu sonuç harçların hidrolik karakterli puzolanik malzemeler kullanılarak hazırlanmış sağlam harçlar olduklarını göstermektedir.

SEM-EDS analizlerinde ise harçların mineralojik yapılarında kalsit kristallerinin yer aldığı, bazı örneklerde bağlayıcı matrisinde mikro çatlaklar bulunan kireç bağlayıcılı harçlar oldukları görülmüştür. SEM görüntülerinde bağlayıcı agrega ara yüzeyinde oluşmuş olan jelsi yapıların kalsiyum silikatlı bileşikler olduğunu söyleyebiliriz. Bu sonuca XRD analizlerinde aynı yapılarda CSH piklerinin görülmesine bağlanabilir. EDS analiz sonuçlarından elde edilen harçların kimyasal kompozisyonlarından alüminyum, silisyum, demir, magnezyum içeren agregalar kullanıldıkları görülmüştür. İncelenen örneklerden Bukoleon Sarayı derz harcında kalsit kristalleriyle beraber alçı kristallerinin olmasını karbonatlı bağlayıcının zeminden gelen sülfatlı tuzlarla sülfatlanmasından dolayı bozulma sonucu oluştuğunu söyleyebiliriz. EDS taramasında da harcın bağlayıcı kısmından alınan bu görüntüye karşılık sülfat iyonunun tespit edilmesi bu sonucu doğrulamaktadır. Harçlarda kalsitin kristal yapıda olduğu gibi levhamsı yapıda da olabileceği görülmüştür. Petrografik analizlerde de tespit edildiği gibi karbonatlaşmış yığınlar olduğu bunun agreganın çevresinde oluşmuş kireç birikimleri oluşturduklarını görmekteyiz. Yine EDS analizinde harçlarda az miktarda da sodyum klorür tuzuna rastlanmıştır.

Harçlarda yapılan yarı kantitatif tuz analizlerinde yapıların yer aldıkları bölgelere göre tuz oranları değişmektedir. Tablo Ek A.6'daki sonuçlara da bakıldığında yapının deniz kenarında bulunması, hava kirliliğinden etkilenmesi gibi faktörler tuz oranını artırmaktadır. Cl iyonunun fazlaca görüldüğü yapılar deniz kenarında yer alan denizden etkilenen yapılardır. Sülfat iyonları ise hava kirliliğine maruz kalan bölgelerde daha yoğun olarak görülmektedir, aynı zamanda bu iyonlar zeminden gelen tuzlarla da yapıya girmektedirler.

Bu sonuçlar ile İstanbul'da yer alan Erken Bizans Dönemi yapılarından alınan harçlar üzerinde bir malzeme karakterizasyonu ve tespit çalışması yapılmıştır. Sonuçlar yapı gruplarına ve yer aldıkları bölgelere göre grafiklerle ve ayrıca tablolarla ifade edilmiştir. Bölgelere göre kullanılan malzeme farklılıkları, bağlayıcı/agrega dağılımı, harçların agrega dağılımları ve mineralojik yapıları ayrıca incelenmiştir. Özellikle Sultanahmet civarında yer alan yapıların kendi içinde benzer ve diğer yapı gruplarına göre ise farklı özellikler taşıdıklarını görmekteyiz. Yapı grupları olarak da saray yapıları ve su yapılarından alınan örneklerin daha farklı özelliklere sahip oldukları görülmüştür. Erken Bizans Dönemi harçları Roma

betonundan horasan harcına geçiştir ve bu harçlar Roma'da da kullanılan puzolanik katkılar içeren hidrolik özellikli harçlardır.

Çalışmanın bu sonuç bölümünde yapılardan alınan örneklerde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ortalama değer olarak karşılaştırılmış olmakla birlikte, eklerdeki tablolar ve şekiller, aynı zamanda metin içerisinde yer alan ayrıntılı anlatımlarda sonuçlar ayrı ayrı incelenmiştir. Böylece ileride bu yapılarda yapılacak deneysel çalışmalarda bu tez bir deney akış şeması, deneysel yöntem vermesi, deneysel çalışma sonuçlarının da diğer çalışmalar için referans olması düşünülmüştür. Yapılacak onarım harcı çalışmalarında bu yapılar ve bu numuneler için daha ayrıntılı bina bazında yapılacak çalışmalarda deneysel çalışma sonuçlarının kaynak oluşturması amaç edinilmiştir.

KAYNAKLAR

Adam, J.P., 1994. Roman Building- Materials and techniques, Indiana University Pres, London.

Ahunbay, M., 2005. Bizans Dönemi Yapım Teknikleri, *Anadolu'da Malzeme ve Mimarlık Sempozyumu, UIA 2005 İstanbul 22. Dünya Mimarlık Kongresi*, İstanbul ,Türkiye, Temmuz 2005.

Ahunbay, Z., 1998. Pilot Projeler İstanbul, Kano Ltd., Ankara.

Ahunbay, Z., Ersen, A., Gürdal, E., Acun, S., Güleç, A., Erdoğan, M. and Geçkinli, A.E., 2003. FORTMED, Research on the characterisation and deterioration of the Stones, brick and the khorasan mortars of the Tower 4 (T4) of the Land Walls of İstanbul (Constantinople), ITU., İstanbul.

Akman, S.M., Güner, A. ve Aksoy, İ. H., 1986. Horasan harcı ve betonun tarihi ve teknik özellikleri, *2. Uluslararası Türk- İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi*, İTÜ, İstanbul, 28 Nisan- 2Mayıs.

Allen, G., Allen, J., Elton, N., Farey, M., Holmes, S., Livesey, P. and Radonjic, M., 2003. Hydraulic lime mortar for Stone, brick and block masonry, Donhead Publishing Ltd., Shaftesbury, Bristol.

Anabolu, M.U., 2001. İstanbul ve Anadolu'daki Roma İmparatorluk Dönemi Mimarlık Yapıtları, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.

Ashurst, J., 1997. The technology and use of hydraulic lime, The Building Conservation Directory.

Ashurst, J., 2007. Conservation of Ruins, Elsevier Ltd., Oxford.

Ashurst, J. and Ashurst, N., 1990. Practical building conservation, English Heritage Handbook, Volume 2, Gower Technical Press, England.

Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A. and Zendri, E., 1998. Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis, *Thermochimica Acta*, **321**, 151-160.

Baronio, G., Binda, L., Tedeschi, C. and Tiraboschi, C., 2003. Characterisation of the materials used in the construction of Noto Cathedral, *Construction and Building Materials*, **17**, 557-571.

Baronio, G., Binda, L. and Lombardini, N., 1997. The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks, *Construction and Building Materials,* **Vol. 11. No.1**, pp.33-40.

Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B., 2004. Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvaların özellikleri, *Yapı Dergisi*, **69,** 2004 Nisan, 90-95.

Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. ve Uğurlu, E., 2007. Onarım amaçlı horasan harç ve sıvaların hazırlanması, *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, **3**, 68-72.

Budak, M., Akkurt, S. ve Böke, H., 2004. Manisa'da bulunan bazı Selçuklu dönemi yapılarının harç ve tuğlalarının onarım amaçlı incelenmesi, *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 6-8 Ekim, s. 506-516.

Candeias, A.E., Nogueira, P., Mirao, J., Silva, A. S., Veiga, R., Casal, M.G., Ribeiro, I. and Seruya, A. I., . Characterization of ancient mortars: Present methodology and future perspectives, *Chairmen of the European Research Councils' Chemistry Comittee*, Evora University, National Laboratory of Civil Engineering (LNEC), www.conservarcal.lnec.pt.

Çizer, Ö., Böke, H. ve İpekoğlu, **B.,** 2004. Bazı Osmanlı dönemi hamam yapılarının kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçlarının özellikleri, *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 6-8 Ekim, s. 469-481.

Ellis, P., 2002. The analyses of mortar: the past 20 years, *Historic Churches.* www.buildingconservation.com.

Eriç, M., 2002. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayınları, İstanbul.

Ersen, A., 1988. Korumada malzeme sorunu, *İnşaat Dergisi*, **8**, İstanbul, 22-25.

Ersen, A., 1995. Scientific research prior to the repair of the Land Walls of Constantinople, the case of the Porta Pempton, *Architectural Science Review*, **38/4**, s.163-171, Sydney.

Ersen, A. ve Güleç A., 1991. Geleneksel harçlar konusunda bir araştırma, Tahtakale Hamamı, *TAÇ Vakfı Yıllığı I*, İstanbul, s.55-75.

Ersen, A., Karagüler, M. and Güleç, A., 1994. The restoration of the Sulukule Kapı (Porta Pempton): Research and chronological analysis before intervention, *The Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry* , 9-14 May, Ankara, published by TÜBİTAK 1996, s. 663-671.

Ersen, A., Karagüler, M. and Güleç, A., 1995. Possible substitutes for Khorasan mortar in Byzantine and Otoman monuments in *Methods of Evaluating Products for the Conservation of porous Building Materials in Monuments,* International Colloquieum, 19-21 June, Rome.

Ersen, A., Karagüler, M., Gürdal, E. ve Güleç, A., 1996. Hoca Ahmet Yesevi Külliyesi restorasyon harç, sıva ve enjeksiyon şerbetleri, *Yapı Dergisi*, **176**, 120-126.

Esen, Y., Tunç, N., Telatar, S., Tavukçuoğlu, A., Caner Saltık, E. N. ve Demirci, Ş., 2004. Manisa Çukur Hamam'ın onarımına yönelik malzeme araştırmaları, *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 6-8 Ekim, s. 494-505.

Eyice, S., 2005. Eski İstanbul'dan Notlar, Küre Yayınları, İstanbul.

Eyice, S., 2006. Tarih Boyunca İstanbul, Etkileşim Yayınları, İstanbul.

Falter, H. and Reinhards, H.-W., 1998. Tests on reproduced Byzantine masonry. *Otto- Graf- Journal,* **Vol.9**, pp.114–122.

Goins, E.S., 2002. Standard practice for determining the components of historic cementitious materials, University of Delaware, USA.

Güleç A., 1992. Bazı tarihi anıt harç ve sıvaların incelenmesi, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Güleç A., Acun, S., Ersen, A., Gürdal, E. And Koçu, N., 2003. Evaluation of Konya region volcanic tuff as a pozzolanic additive in conservation mortars, *Industrial Materials and Building Stones*, *September 15-18*, 507-517.

Güleç A. and Ersen, A., 1998. Characterization of ancient mortars: Evaluation of simple and sophisticated methods, *Journal of Architectural Conservation*, **Vol.4, No.1**, March., 56-67.

Güleç A. and Tulun, T., 1997. Physico-chemical and petrographical studies of old mortars and plasters of Anatolia, *Cement and Concrete Research***, Vol.27, No. 2,** pp.227-234.

Güleç, A., Acun, S. and Ersen, A., 2005. A Characterization method fort he fifth-century traditional mortars in the Land Walls of Constantinople, Yedikule, *Studies in Conservation*, **50**, 295-306.

Gürdal, E. ve Acun, S., 2005. Tarihi yapılarda kullanılmış horasan harçları ve Eyüp'teki eski eser yapıların restorasyon ve onarımları için harç önerisi, *10. Eyüp Sempozyumu,* Eyüp, İstanbul, s.98-105.

Gürdal, E. ve Ersen, A., 2000. Tarihi yapılarda duvar onarımları ve tarihsel otantikliğin korunması, Eyüp Sokollu Mehmet Paşa Medresesi Örneği, *5. Eyüp Sempozyumu,* Eyüp, İstanbul, s.126-129.

Gürdal, E., Özgünler, S.A. ve Kahraman, G., 2007. Anemas Zindanlarında kullanılmış olan harçların incelenmesi ve onarım harcı önerileri hakkında çalışma raporu, *1.Uluslararası Karasurları Sempozyumu*, İstanbul

Gyllius P., 1997. İstanbul'un Tarihi Eserleri, Eren Yayıncılık, İstanbul.

Hale, J., Heinemeier, J., Lancester, L., Lindroos, 1. and Ringbom, A., 2003. Dating ancient mortars, *American Scientists, Volume 91, March-April 2003*, s.130-137.

Hooper, W.D. and Ash HB. Marcus Porcius Cato Marcus Terentius Varro, 1939. De Re Rustica, William Heinemann Ltd., Harvard University Pres, London.

Hughes J.J., Leslie A. and Callebaut, K., 2001. The petrography of lime inclusions in historic lime based mortars, *Proceedings of the 8th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*, Athens, Greece, p.359-364.

Kılıç, D.O., Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B., 2004. Tarihi St. Jean Kilisesinde kullanılan horasan harçlarının özellikleri, *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 6-8 Ekim, s. 607-615.

Koçu, N., 1997. Konya çevresindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kretzschmer, F., 2000. Resimlerle Antik Roma'da Mimarlık ve Mühendislik, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.

Kuban D., 2004. İstanbul Bir Kent Tarihi, Türkiye Ekonomik ve Toplumsal Tarih Vakfı, İstanbul.

Lamprecht, H.-O., 1984. Opus Caementicium, Bautechnik der Römer, by Beton-Verlag GmbH, Duesseldorf.

Livingstone, R.A., 1993. Materials analysis of the masonry of the Hagia Sophia Basilica, İstanbul, *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings 111,* s. 15-31, Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston.

Mac Donald, W.L., 1982. The Architecture of Roman Empire. Volume 1: An Introductory Study, Yale University Press, London.

Mango, C., 1976. Byzantine Architecture, New York.

Mathews, T.F., 1995. Art and Architecture in Byzantine and Armenia; Liturgical and Exegetical Approaches, Ashgate Publishing Limited, Great Britain.

Maravelaki- Kalaitzaki, P., Bakolas, A. and Moropoulou, A., 2003. Physico-chemical study of Cretan ancient mortars*, Cement and Concrete Research,* **33**, 651-661.

Margalha, M.G., Veiga, R. and De Brito, J. The maturation time factor in lime putty quality.

Millingen, A.V., 1899. Byzantine Constantinople, The Walls of the City and Adjoining Historical Sites, Londra.

Millingen, A.V., 1912. Byzantine Churches in Constantinople, Their History and Architecture, Londra.

Moropoulou, A., Bakolas, A. and Bisbikou, K., 2000. Investigation of the technology of historic mortars, *Journal of Cultural Heritage*, **1**, 45-58.

Moropoulou, A., Cakmak, A., Biscontin, G., Bakolas, A. and Zendri, E., 2002. Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia, *Construction and Building Materials*, **16**, 543-552.

Moropoulou, A., Cakmak, A., Labropoulos, K.C., Van Grieken, R. and Torfs, K., 2004. Accelerated microstructural evolution of a calcium,silicate-hydrate (C-S-H) phase in pozzolanic pastes using fine siliceous sources: Comparison with historic pozzolanic mortars, *Cemenet and Concrete Research*, **34**, 1-6.

Moropoulou, A., Polikreti, K., Bakolas, A. and Michailidis, P., 2003. Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivarite statistics, *Cement and Concrete Research*, **33**, 891-898.

Mourenbrecher, . H. P., Trischuk, K., Rousseau, M. Z. And Suberaseaux, M. I., 2007. Key consideration for repointing mortars for the conservation of older masonry, *Institute for Research in Conservation***,** January,Canada.

Mutlu, B., 2001. Mimarlık tarihi ders notları 1, Mimarlık Vakfı Yayınları, İstanbul.

Müller-Wiener W., 1977. İstanbul'un Tarihsel Topografyası, Wasmuth Verlag, Tübingen, yeni basım, Yapı Kredi Yayınları, 1998, İstanbul.

Özkaya Ö., A., Böke, H. ve İpekoğlu, B., 2006. Roma dönemi tuğla ve harçların özellikleri: Bergama Serapis Tapınağı örneği, *3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 15-17 Kasım, s. 616-627.

Palomo A., Blanco-Varela, M. T., Martinez-Ramirez, S., Puertas, F. and Fortes, C. Historic mortars: characterization and durability, new tendencies for research, www.arcchip.cz/w09/w09_palomo.pdf.

Pavía, S. and Caro, S., 2008. An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material, *Construction and Building Materials*, **22**, 1807-1811.

Procopius, 1961. Buildings, çev. B.Dewing ve G. Downey, LOED Classical Library, Cambridge.

Rampazzi, L. and Bugini, R., 2006. St. Lorenzo Basilica in Milan: integral approach to characterization of historical mortars, *Morana RTD d.o.o. Yayını*, 21-26.

Reyhan, K. ve İpekoğlu, B., 2004. Osmanlı dönemi bir grup hamam yapısında malzeme kullanımı, *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 6-8 Ekim, s. 482-493.

RILEM, 2005. Investigative methods fort he characterisation of historic mortars, in Materials and Structures 38, Part 1 and Part 2, s.761-769, 771-780.

Riccardi ,M.P., Duminuco, P., Tomasi, **C. and Ferloni, P.,** 1998. Thermal, microscopic and X-ray Diffraction studies on some ancient mortars, *Thermochimica Acta*, **321**, 207-214.

Rodriguez-Navarro, C.,Doehne, E. and Sebastian, E., 2000. How does soodium sulphate crystallize? Implications fort he decay and testing of building materials, *Cement and Concrete Research*, **30**, p. 1527-1534.

Satongar Ş. L., 1994. İstanbul şehir surları üzerine bir araştırma, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Silva, A.S., Paiva, M., Ricardo, J., Salta, M., Monteiro, A.M. and Candeias, A.E. Characterisation of roman mortars from the archeological site of Troia (Portugal), www.conservarcal.lnec.pt.

Silva, A.S., Ricardo, J.M., Salta, M., Adriano, P., Mirao, J., Candeias, A. E. and Macias, S., 2004. Characterization of Roman mortars for the historical town of Mertola, *Eduardo Tooroja Institute (CSIC),* Madrid, Spain, www.conservarcal.lnec.pt.

Silva, D.A., Wenk, H.R. and Monteiro, P.J.M., 2005. Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern, *Thermochimica Acta,* **438***,* 35-40.

Stefanidou, M. and Papayianni, I., 2005. The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars, *Cement and Concrete Composites*, **27**, 914-919.

Şimşek, O., 2003. Yapı Malzemesi, Beta Yayınları, İstanbul.

Teutonico, J. M., 1988. A Laboratory Manual for Architectural Conservators, ICCROM, Rome.

Tezcan, H., 1991. Topkapı Sarayı ve Çevresinin Bizans Devri Arkeolojisi, Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu, İstanbul.

TS-25, 1975. Tras, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

TS-699/T1, 2000. Tabii yapı taşları, muayene ve deney metotları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

TS-4312, 1985. Deney elekleri ve elek analizi- Terimler, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

Torraca, G., 1982. Porous Building Materials- Materials Science for Architectural Conservation, ICCROM, Italy.

Uğurlu, E. ve Böke, H., 2006. Osmanlı dönemi hamam yapılarında kullanılan horasan sıvalarının özellikleri, *3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 15-17 Kasım, s. 585-596.

Veiga, M.R., Aguiar, J., Silva, A.S. and Carvalho, F., 2001. Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings, *Historical Constructions,* 353-362

Velosa, A.L., Coroado, J., Veiga, M.R. and Rocha, F., 2007. Characterisation of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair, *Materials Characterization*, **58**, 1208-1216.

Velosa, A.L. and Veiga, R., 2002. Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation adapted testing methods, *9DBMC-2002*, pp.174/1-7.

Velosa, A.L., Coroado, J. and Rocha, F. Characterization of Stone and mortar decay- Casa Major Pessoa, Aveiro, LNEC Publishing.

Vicat, L.J., 1837. Mortars and Cements, High Holborn, London.

Virginia Lime Works. An introduction to traditional lime Works, Monroe. www.virginialimeworks.com.

Virginia Lime Works. X-Ray Diffraction analyses, Monroe. www.virginialimeworks.com.

Vitruvius, M.Ö. 25 . Mimarlık Üzerine On Kitap, yeni basım, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, 1990, İstanbul.

Ward-Perkins, J.B., 1970. Roman Imperial Architecture, Yale University Press, London.

Ward-Perkins, J.B., 1974. History of World Architecture: Roman Architecture, Electa Architecture, Milano.

Wells, J.C., 2004. History and characterization of mortars in spanish new world fortifications: a case study on El Castillo de San Cristóbal, San Juan, Puerto Rico, master thesis, University of Pennsylvania, Garduate program in Historic Preservation.

EKLER

EK.A-TABLOLAR

Tablo A.1: Harç örneklerinin fiziksel özellikleri

Örnek Numarası ve Adı	Sk (%)	Sh (%)	Δ (gr/cm³)	δ (gr/cm³)	p(%)
D11- Büyük Saray derz harcı	29	43	1,45	2,53	43
D30- Büyük Saray derz harcı (four seasons arkası)	32	45	1,42	2,58	45
D19- Bukoleon Sarayı derz harcı	33	46	1,38	2,54	48
D20- Bukoleon Sarayı çekirdek harcı	33	46	1,39	2,56	46
D14- Lausos Sarayı derz harcı- 1	35	46	1,32	2,50	47
D15- Lausos Sarayı derz harcı- 2	23	37	1,61	2,54	37
D16- Lausos Sarayı çekirdek harcı	23	35	1,52	2,43	37
D10- Aya İrini derz harcı	36	48	1,35	2,57	48
D18- Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı	19	32	1,63	2,41	32
D17- Euphemia Kilisesi derz harcı	22	34	1,58	2,50	37
A3 - Studios Manastırı çekirdek harcı	31	43	1,40	2,63	46
D13- Studios Manastırı derz harcı	36	47	1,30	2,58	49
D6- Karpos Papylos Martyrionu derz harcı	21	34	1,64	2,51	35
D7- Karpos Papylos Martyrionu çekirdek harcı	20	32	1,65	2,49	34
D3- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 1	19	32	1,66	2,55	35
D4- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 2	42	51	1,23	2,53	52
D5- Hagios Polyeuktos derz harcı	29	43	1,46	2,66	45
D8-Hagios Mokios Sarnıcı çekirdek harcı	26	40	1,52	2,55	41
D9- Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı	15	27	1,77	2,52	30
A7- Aspar Su Sarnıcı çekirdek harcı	34	46	1.35	2,50	46
A8- Aspar Su Sarnıcı derz harcı	33	47	1,42	2,72	48
B9- Aetios Sarnıcı çekirdek harcı	28	39	1,40	2,64	34
B10- Aetios Sarnıcı derz harcı	22	32	1,43	2,63	33

Örnek Numarası ve Adı	Sk (%)	Sh (%)	Δ (gr/cm³)	δ (gr/cm³)	p(%)
A6 -Valens Su Kemeri çekirdek harcı	39	49	1.26	2,46	49
D1- Valens Su Kemeri derz harcı	32	44	1,40	2,60	45
D2- Valens Su Kemeri çekirdek harcı	33	45	1,39	2,58	46
B1- Kara surları T90 no.lu kule	20	28	1,42	2,49	29
C13-Kara surları T91 no.lu kule çekirdek harcı2	25	37	1,48	2,47	40
B3- Kara surları T91 no.lu kule derz harcı	23	35	1,54	2,41	36
B4- Kara surları T92 no.lu kule çekirdek harcı	31	43	1,4	2,50	44
B5- Kara surları T92 no.lu kule derz harcı	27	40	1,49	2,52	41
B6- Karasuları T93 no.lu kule derz harcı	13	25	1,90	2,57	26
B7- Kara surları T93 no.lu kule çekirdek harcı	16	24	1,52	2,81	27
B8- Kara surları T95 no.lu kule çekirdek harcı	23	34	1,48	2,69	45
C1- Kara surları Mevlanakapı çekirdek harcı	33	45	1,37	2,78	51
C2- Kara surları Mevlanakapı derz harcı	29	43	1,52	2,62	43
C3- Kara surları Belgradkapı derz harcı	23	35	1,5	2,45	39
C6- Kara surları Silivrikapı derz harcı	32	43	1,37	2,50	45
C7- Kara surları Silivrikapı çekirdek harcı	32	43	1,33	2,49	47
C8- Kara surları Silivrikapı derz harcı-2	43	52	1,22	2,53	52
C9- Kara surları Silivrikapı çekirdek harcı-2	44	51	1,16	2,40	53
D24- Marmara suru 37 no.lu kule civarı derz harcı	25	39	1,56	2,64	41
D25- Marmara S. 37 no.lu kule civarı çekirdek h.	26	39	1,53	2,63	42
D26-Marmara S. 97 ve 99 no.lu kuleler arası çekirdek harcı	32	45	1,40	2,53	45
D27-Marmara S. 97-99 no.lu kuleler arası derz	18	31	1,66	2,54	34

Örnek Numarası ve Adı	Sk (%)	Sh (%)	Δ (gr/cm³)	δ (gr/cm³)	p(%)
D28- Marmara suru Çatladıkapı derz h	35	46	1,30	2,42	46
D29- Marmara suru Çatladıkapı çekirdek h.	33	45	1,37	2,50	45
D31- Haliç surları Cibalikapı derz harcı	36	45	1,25	2,55	51
D32- Haliç surları Cibalikapı çekirdek harcı	37	47	1,28	2,41	47
D33- Haliç surları Fener civarı derz harcı	23	37	1,59	2,66	40
D34-Haliç surları Fener civarı çekirdek harcı	24	38	1,54	2,59	40
D35-Haliç surları Petrikapı civarı derz harcı	36	46	1,28	2,43	47
D36-Haliç surları Petrikapı civarı çekirdek harcı	29	41	1,44	2,56	44
D37-Haliç surları Balatkapı civarı çekirdek h.	34	47	1,38	2,58	47
C10- Sampson Hastanesi derz harcı	20	33	1,66	2,54	35
C11- Sampson Hastanesi çekirdek harcı	28	41	1,45	2,48	42
D23- Sampson Hastanesi derz harcı	21	34	1,64	2,69	39
A1 - Hipodrom derz harcı	23	35	1,65	2,52	35
A2 - Hipodrom çekirdek harcı	26	28	1,46	2,59	44

Sk: Kütlece su emme oranı (%) Sh: Hacimce su emme oranı (%)

Δ: Birim hacim kütlesi (g/cm^3) δ: Özgül kütle (g/cm^3) p: Porozite (%)

Tablo A.2: Asit kaybı deneyi sonuçları

Örnek Numarası ve Adı	İlk Kütle Kuru (g)	Kalan İnce Malz. (g)	Kalan Kaba Agrega (g)	Kalan Toplam Malz. (g)	Asitte Kayıp (%)	Bağlayıcı /Agrega Oranı
D11- Büyük Saray derz harcı	39,01	2,61	18,21	20,82	47	1/1
D12- Büyük Saray çekirdek harcı	40,06	1,57	22,5	24,07	40	1/2
D30- Büyük Saray derz harcı (four seasons arkası)	27,2	5,13	16,07	21,20	22	1/3,5
D19- Bukoleon Sarayı derz harcı	44,04	3,29	28,52	31,81	28	1/3
D20- Bukoleon Sarayı çekirdek harcı	60,58	3,29	37,08	40,37	33	1/2
D14- Lausos Sarayı derz harcı- 1	36,29	0,83	26,06	26,89	26	1/3
D15- Lausos Sarayı derz harcı- 2	48,02	5,85	31,22	37,07	23	1/3,5
D16- Lausos Sarayı çekirdek harcı	53,13	2,14	40,89	43,03	19	1/4
D41- Ayasofya derz harcı	35,80	6,40	6,99	13,39	20	1/4
D42- Ayasofya sıva harcı	39,21	4,78	14,32	19,10	37	1/2
D10- Aya İrini derz harcı	69,72	5,24	50,84	56,08	20	1/4
D18- Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı	59,63	2,70	45,27	47,97	20	1/4
D40- Acem Ağa Mescidi derz harcı	58,85	1,91	45,14	47,05	20	1/4
D17- Euphemia Kilisesi derz harcı	46,47	2,92	31,64	34,56	26	1/3
A3 - Studios Manastırı çekirdek harcı	30,34	3,69	15,5	19,19	37	1 / 2
D13- Studios Manastırı derz harcı	42,33	3,55	20,65	24,2	43	1/1,5
D6- Karpos Papylos M. derz harcı	57,14	1,52	46,28	47,8	16	1/5
D7- Karpos Papylos M. çekirdek harcı	48,54	2,03	35,5	37,53	23	1/3
D3- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 1	54,65	2,4	37,84	40,24	26	1/3
D4- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 2	36,65	5,51	22,67	8,18	23	1/3
D5- Hagios Polyeuktos derz harcı	50,72	1,7	37,93	39,63	22	1/3,5

Örnek Numarası ve Adı	İlk Kütle Kuru (g)	Kalan İnce Malz. (g)	Kalan Kaba Agrega (g)	Kalan Toplam Malz. (g)	Asitte Kayıp (%)	Bağlayıcı /Agrega Oranı
D8-Hagios Mokios Sarnıcı çekirdek h.	73,01	1,06	57,28	58,34	20	1/4
D9- Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı	47,39	1,88	23,39	25,17	47	1/1
A7- Aspar Su Sarnıcı çekirdek harcı	24,30	1,11	14,92	16,03	34	1 / 2
A8- Aspar Su Sarnıcı derz harcı	7,84	0,71	2,74	3,45	56	1 / 1
B9- Aetios Sarnıcı çekirdek harcı	29,8	1,25	21,09	22,34	25	1/3
B10- Aetios Sarnıcı derz harcı	46,69	2,79	34,48	37,27	20	1/4
A5 - Valens Su Kemeri derz harcı	35,76	7,22	9,68	16,9	53	1 / 1
A6 -Valens Su Kemeri çekirdek harcı	32,18	6,57	11,98	18,55	42	1 / 2
D1- Valens Su Kemeri derz harcı	43,97	1,68	20,32	22	50	1/1
D2- Valens Su Kemeri çekirdek harcı	59,19	4,25	31,07	35,32	40	1/2
B1- Kara surları T90 no.lu kule	21,46	1,48	4,69	6,17	27	1/3
B2-Karasurları T91 no.lu kule çekirdek harcı	17,67	1,76	7,72	9,48	46	1/1
B3-Kara surları T91 no.lu kule derz h	14,08	2,22	5,5	7,72	45	1/1
C12- Kara surları T91 no.lu kule derz harcı- 2	34,23	3,35	21,24	24,59	28	1/3
B4- Kara surları T92 no.lu kule çekirdek harcı	21,71	1,44	13,57	15,01	31	1/2
B5-Kara surları T92 no.lu kule derz h	7,21	0,8	1,71	2,51	65	1/2
B6- Kara surları T93 no.lu kule derz harcı	19,36	1,08	12,81	13,89	28	1/2,5
B8-Kara surları T95 no.lu kule çekirdek harcı	29,3	3,6	17,08	20,68	29	1/2
C1- Mevlanakapı çekirdek harcı	56,95	5,32	37,1	42,42	26	1/3
C2- Mevlanakapı derz harcı	30,97	3,41	14,97	18,38	41	1/2
C3- Belgradkapı derz harcı	27,23	4,11	15,08	19,19	30	1/2
C6- Silivrikapı derz harcı	26,67	2,99	13,79	16,78	37	1/2

Örnek Numarası ve Adı	İlk Kütle Kuru (g)	Kalan İnce Malz. (g)	Kalan Kaba Agrega (g)	Kalan Toplam Malz. (g)	Asitte Kayıp (%)	Bağlayıcı /Agrega Oranı
C7- Silivrikapı çekirdek harcı	27,6	4,58	13,63	18,21	34	1/2
C8- Silivrikapı derz harcı-2	46,5	3,32	31,22	34,54	26	1/3
C9- Silivrikapı çekirdek harcı-2	22,77	1,98	12,59	14,57	36	1/2
D24- Marmara suru 37 no.lu kule civarı derz harcı	33,64	1,92	19,75	21,67	36	1/2
D25- Marmara suru 37 no.lu kule civarı çekirdek harcı	34,3	2,5	20,05	22,55	34	1/2
D26- Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası çekirdek harcı	32,69	3,63	16,83	20,46	37	1/2
D27- Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası derz harcı	60,95	2,59	42,62	45,21	26	1/3
D28-Marmara suru Çatladıkapı derz h	31,3	2,32	15,49	17,81	43	1/1
D29- Marmara suru Çatladıkapı çekirdek harcı	37,65	2,81	21,56	24,37	35	1/2
D31- Haliç surları Cibalikapı derz h.	42,27	2,23	24,6	26,83	37	1/2
D32- Haliç surları Cibalikapı çekirdek harcı	54,52	3,22	31,73	34,93	36	1/2
D33- Haliç surları Fener civarı derz h.	31,87	1,79	19,24	21,03	34	1/2
D34-Haliç surları Fener civarı çekirdek harcı	47,24	2,44	32,22	34,66	27	1/3
D36- Haliç surları Petrikapı civarı çekirdek harcı	31,69	1,33	18,18	19,51	38	1/2
D37- Haliç surları Balatkapı civarı çekirdek harcı	76,52	5,92	50,24	56,16	27	1/3
C10- Sampson Hastanesi derz harcı	23,74	2,74	13,31	16,05	32	1/2
C11- Sampson Hastanesi çekirdek harcı	36,22	3,15	15,82	18,97	48	1/1
D23- Sampson Hastanesi derz harcı	67,56	40,88	3,32	44,2	35	1/2
A1 - Hipodrom derz harcı	29,66	4,57	14,03	18,6	37	1 / 2
A2 - Hipodrom çekirdek harcı	57,63	6,25	37,75	44	24	1 / 3

Tablo A.3: Kızdırma kaybı analiz sonuçları

Örnek Numarası ve Adı	105°C'deki Kayıp (%)	550°C'deki Kayıp (%)	1050°C'deki Kayıp (%)	Karbonat Miktarı (%)	Hidrolik Özellik Değeri
D11- Büyük Saray derz harcı	7,40	5,79	19,81	45,03	3,4
D30- Büyük Saray derz harcı (four seasons arkası)	16,02	6,14	8,88	20,17	1,4
D19- Bukoleon Sarayı derz harcı	2,17	7,50	14,36	32,64	1,9
D20- Bukoleon Sarayı çekirdek harcı	19,29	13,56	14,65	33,30	1,1
D14- Lausos Sarayı derz harcı- 1	0,48	3,30	12,34	28,05	3,7
D16- Lausos Sarayı çekirdek harcı	3,59	3,34	7,13	16,20	2,1
D41- Ayasofya derz harcı	8,06	8,48	7,96	18,10	0,9
D42- Ayasofya sıva harcı	1,77	6,17	17,11	38,89	2,8
D10- Aya İrini derz harcı	11,94	3,49	10,09	22,94	2,9
D18- Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı	0,46	1,67	9,32	21,18	5,6
D40- Acem Ağa Mescidi derz harcı	3,85	4,10	9,82	22,32	2,4
D17- Euphemia Kilisesi derz harcı	3,10	4,46	10,62	24,13	2,4
A3 - Studios Manastırı çekirdek harcı	1,36	5,32	18,10	41,14	3,4
D13- Studios Manastırı derz harcı	12,09	10,6	20,36	46,26	1,9
D6- Karpos Papylos M. derz harcı	0,67	2,94	7,81	17,74	2,7
D7- Karpos Papylos M. çekirdek harcı	0,91	2,53	9,46	21,31	3,7
D3- Hagios Polyeuktos çekirdek h. 1	1,76	3,65	10,80	24,54	3,0
D4- Hagios Polyeuktos çekirdek h. 2	9,58	4,88	10,27	23,34	2,1
D5- Hagios Polyeuktos derz harcı	1,05	4,32	10,73	24,33	2,8
D8-Hagios Mokios Sarnıcı çekirdek h.	0,75	5,47	7,97	18,12	1,5
D9- Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı	1,11	4,75	19,96	45,37	4,2

Örnek Numarası ve Adı	105°C'deki Kayıp (%)	550°C'deki Kayıp (%)	1050°C'deki Kayıp (%)	Karbonat Miktarı (%)	Hidrolik Özellik Değeri
A7- Aspar Su Sarnıcı çekirdek harcı	1,62	1,65	10,83	38,25	10
A8- Aspar Su Sarnıcı derz harcı	5,02	7,91	22,73	51,65	2,9
B9- Aetios Sarnıcı çekirdek harcı	0,82	3,55	6,65	15,12	1,9
B10- Aetios Sarnıcı derz harcı	7,46	4,24	6,59	14,98	1,6
A5 - Valens Su Kemeri derz harcı	5,22	6,96	21,03	47,76	3,0
A6 -Valens Su Kemeri çekirdek harcı	1,47	3,03	18,75	42,62	6,2
B1- Karasurları T90 no.lu kule derz h	1,26	4,37	11,21	25,48	2,6
B2-Karasurları T90 no.lu kule çekirdek harcı	0,86	5,31	21,85	49,66	4,1
B3-Karasurları T91 no.lu kule derz h.	3,00	5,84	18,93	43,01	3,2
B4- Karasurları T92 no.lu kule çekirdek harcı	0,89	5,34	15,87	36,06	3,0
B5- Karasurları T92 no.lu kule derz h	0,47	4,31	27,79	63,16	6,5
C14-Karasurları T92 no.lu kule derz 2	0,63	1,59	20,08	45,63	12,6
B6- Karasurları T93 no.lu kule derz harcı	0,83	3,44	12,96	29,45	3,8
C17- Karasurları T93 no.lu kule derz harcı	13,11	7,93	7,40	16,82	0,9
B7-Karasurları T93 no.lu kule çekirdek harcı	0,99	6,18	20,35	46,25	3,3
C16- Karasurları T93 no.lu kule çekirdek harcı	4,37	2,37	4,13	9,38	1,7
B8-Karasurları T95 no.lu kule çekirdek harcı	1,24	4,82	15,00	34,09	3,0
C1- Mevlanakapı çekirdek harcı	1,10	3,41	12,65	28,74	3,7
C2- Mevlanakapı derz harcı	1,39	2,01	17,64	40,08	8,8
C3- Belgradkapı derz harcı	1,24	4,82	15,00	34,09	3,0
C6- Karasurları Silivrikapı derz harcı	1,80	3,61	27,45	62,38	7,6
C7- Karasurları Silivrikapı çekirdek harcı	1,02	4,32	10,69	24,30	2,5

Örnek Numarası ve Adı	105°C'deki Kayıp (%)	550°C'deki Kayıp (%)	1050°C'deki Kayıp (%)	Karbonat Miktarı (%)	Hidrolik Özellik Değeri
C8- Kara surları Silivrikapı civarı derz harcı	0,61	2,93	10,08	22,90	3,4
C9- Kara surları Silivrikapı civarı çekirdek harcı-2	5,50	10,07	15,95	36,24	1,6
D24- Marmara suru 37 no.lu kule civarı derz harcı	1,15	3,56	16,23	36,89	4,5
D27- Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası derz harcı	14,45	8,57	10,75	24,43	1,3
D28- Marmara suru Çatladıkapı derz harcı	1,08	5,46	19,81	45,03	3,6
D29- Marmara suru Çatladıkapı çekirdek harcı	1,42	4,51	17,31	39,35	3,8
D31- Haliç surları Cibalikapı derz harcı	2,69	4,13	17,11	38,90	4,1
D32- Haliç surları Cibalikapı çekirdek harcı	1,74	3,91	17,23	39,16	4,4
D33- Haliç surları Fener civarı derz h.	1,40	4,36	7,39	39,52	4,0
D34-Haliç surları Fener civarı çekirdek harcı	26,13	6,25	12,68	28,82	2,0
D35-Haliç surları Petrikapı civarı derz harcı	0,82	2,24	23,09	52,48	10
D37- Haliç surları Balatkapı civarı çekirdek harcı	16,99	11,42	17,97	40,84	1,6
C11- Sampson Hastanesi çekirdek harcı	0,68	3,70	21,68	49,27	5,9
A1 - Hipodrom derz harcı	6,22	4,55	16,61	37,75	3,6
A2 - Hipodrom çekirdek harcı	1,10	3,22	11,53	26,21	3,6

Tablo A.4: Elekten geçen malzeme yüzdesi

Örn No	32 mm %	16 mm %	8 mm %	4 mm %	2 mm %	1 mm %	0,5 mm %	0,25 mm %	0,125 mm ve altı %
D11	100	100	84	49	33	15	12	2	1
D12	100	100	81	39	22	4	2	1	0,6
D30	100	100	86	53	31	16	13	3	2
D19	100	72	39	24	21	10	6	1	0,5
D20	100	79	41	25	17	5	4	2	1
D14	100	55	43	24	14	5	4	1	0,5
D15	100	100	84	56	37	15	12	3	2
D16	100	100	82	62	44	16	11	2	1
D41	100	100	83	52	37	23	13	4	2
D42	100	100	100	63	41	25	13	5	2
D10	100	72	52	26	17	7	5	1	0,7
D18	100	75	64	52	40	14	9	1	0,3
D40	100	61	57	49	37	23	9	2	1
D17	100	100	65	43	35	19	15	2	1
A3	100	100	68	42	30	13	10	2	2
D13	100	78	74	59	38	14	11	3	2
D6	100	54	50	45	35	16	11	2	1
D7	100	79	69	63	45	14	9	1	0,3
D3	100	100	57	45	38	15	12	1	0,5
D4	100	100	73	43	28	12	9	2	1
D5	100	69	66	48	37	18	14	2	1
D8	100	100	61	43	24	5	3	1	0,3
D9	100	100	89	71	44	14	9	1	0,7

Örn No	32 mm %	16 mm %	8 mm %	4 mm %	2 mm %	1 mm %	0,5 mm %	0,25 mm %	0,125 mm ve altı %
A7	100	100	100	74	44	14	10	1	0,8
A8	100	100	100	71	44	17	12	2	2
B9	100	100	70	49	42	30	26	9	5
B10	100	100	88	50	44	33	29	10	5
A5	100	100	100	84	64	31	24	5	12
A6	100	100	100	85	55	22	18	4	3
D1	100	100	92	52	34	11	8	2	1
D2	100	100	76	49	34	15	11	2	1
B1	100	100	100	91	69	31	23	3	2
B2	100	100	100	85	66	29	21	2	1
B3	100	100	100	98	90	37	29	6	3
B4	100	100	58	32	20	7	5	1	0,6
B5	100	100	100	100	74	31	23	4	3
B6	100	100	78	66	42	15	11	1	1
B8	100	100	100	27	14	6	5	1	0,5
C1	100	100	60	39	27	15	5	1	0,5
C2	100	100	100	83	58	31	13	3	2
C3	100	100	57	21	11	3	2	1	0,5
C6	100	100	100	81	46	21	9	2,4	2
C7	100	100	73	36	21	8	5	1	0,4
C8	100	83	72	41	24	8	5	1	0,4
C9	100	100	66	40	26	13	12	9	8
C12	100	100	72	61	51	23	13	0,4	0,24
D24	100	100	85	58	33	12	9	3	2

Örn No	32 mm %	16 mm %	8 mm %	4 mm %	2 mm %	1 mm %	0,5 mm %	0,25 mm %	0,125 mm ve altı %
D25	100	100	85	56	35	14	10	3	2
D26	100	100	63	43	27	7	5	1	0,5
D27	100	100	98	85	69	26	16	2	1
D28	100	100	60	37	22	7	4	1	0,5
D29	100	62	39	27	17	6	4	2	1
D31	100	74	31	14	9	5	4	2	1
D32	100	78	36	16	8	3	2	1	0,5
D33	100	100	87	70	43	17	7	2	1
D34	100	100	100	78	58	19	12	2	1
D36	100	100	100	92	83	53	10	2	1
D37	100	66	21	11	6	3	2	1	0,5
C10	100	100	63	27	19	6	4	1	0,6
C11	100	100	52	45	33	16	12	3	2
D23	100	100	75	62	48	18	11	2	1
A1	100	100	100	85	59	30	25	9	7
A2	100	100	89	69	53	21	15	2	1

Tablo A.5: Protein, yağ, pH ve puzolanik aktivite deney sonuçları

Örnek Numarası ve Adı	Protein	Yağ	pH	Puzolanik Aktivite mS/cm
D11- Büyük Saray derz harcı	-	-	7,58	1,53
D12- Büyük Saray çekirdek harcı	-	-	7,63	1,50
D30- Büyük Saray derz harcı (four seasons arkası)	-	-	7,76	1,55
D19- Bukoleon Sarayı derz harcı	-	-	7,32	2,78
D20- Bukoleon Sarayı çekirdek harcı	-	-	7,74	1,45
D14- Lausos Sarayı derz harcı 1	-	-	8,05	1,62
D15- Lausos Sarayı derz harcı- 2	-	-	7,90	1,98
D16- Lausos Sarayı çekirdek harcı	-	-	7,92	1,73
D41- Ayasofya derz harcı	-	-	7,70	1,43
D42- Ayasofya sıva harcı	-	-	7,98	1,72
D10- Aya İrini derz harcı	-	-	8,00	1,36
D18- Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı	-	-	8,12	0,81
D40- Acem Ağa Mescidi derz harcı	+	-	8,11	1,61
D17- Euphemia Kilisesi derz harcı	-	-	7,87	0,68
A3 - Studios Manastırı çekirdek harcı	-	-	7,56	0,70
D13- Studios Manastırı derz harcı	-	-	7,40	0,78
D6- Karpos Papylos Martyrionu derz harcı	-	-	7,40	0,99
D7- Karpos Papylos Martyrionu çekirdek harcı	-	-	7,82	0,90
D3- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 1	-	-	8,03	1,56
D4- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 2	-	-	7,98	2,68
D5- Hagios Polyeuktos derz harcı	-	-	7,80	0,53
D8-Hagios Mokios Sarnıcı çekirdek harcı	-	-	7,65	0,78
D9- Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı	-	-	8,02	2,75

Örnek Numarası ve Adı	Protein	Yağ	pH	Puzolanik Aktivite mS/cm
A7- Aspar Su Sarnıcı çekirdek harcı	-	-	7,98	1,18
A8- Aspar Su Sarnıcı derz harcı	-	-	7,87	0,53
B9- Aetios Sarnıcı çekirdek harcı	-	-	7,69	2,13
B10- Aetios Sarnıcı derz harcı	-	-	7,90	1,57
A5 - Valens Su Kemeri derz harcı	-	-	7,88	0,80
A6 -Valens Su Kemeri çekirdek harcı	-	-	7,69	0,63
B1- Kara surları T90 no.lu kule	-	-	7,55	1,03
B2- Kara surları T91 no.lu kule çekirdek harcı	-	-	7,78	0,62
B3-Kara surları T91 no.lu kule derz harcı	-	-	7,92	0,78
B4- Kara surları T92 no.lu kule çekirdek harcı	-	-	7,64	0,83
B5- Kara surları T92 no.lu kule derz harcı	-	-	7,89	0,86
B6- Kara surları T93 no.lu kule derz harcı	-	-	7,96	0,60
B8-Kara surları T95 no.lu kule çekirdek harcı	-	-	7,87	0,59
C1- Kara surları Mevlanakapı çekirdek harcı	-	-	8,10	0,65
C2- Kara surları Mevlanakapı derz harcı	-	-	8,05	1,30
C6- Kara surları Silivrikapı derz harcı	-	-	8,09	0,65
C8- Kara surları Silivrikapı civarı derz harcı	-	-	8,11	0,82
C9- Kara surları Silivrikapı civarı çekirdek harcı	-	-	7,96	1,21
D24- Marmara suru 37 no.lu kule civarı derz harcı	-	-	8,00	1,23
D25- Marmara suru 37 no.lu kule civarı çekirdek harcı	-	-	7,89	0,85
D26- Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası çekirdek harcı	-	-	8,10	0,63
D27- Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası derz harcı	-	-	8,24	1,98

Örnek Numarası ve Adı	Protein	Yağ	pH	Puzolanik Aktivite mS/cm
D28- Marmara suru Çatladıkapı derz h	+-	-	7,89	0,83
D29- Marmara suru Çatladıkapı çekirdek harcı	-	-	8,31	1,73
D31- Haliç surları Cibalikapı derz h.	-	-	8,02	0,46
D32- Haliç surları Cibalikapı çekirdek h.	+-	-	7,64	0,66
D33- Haliç surları Fener civarı derz h.	-	-	7,82	0,73
D34-Haliç surları Fener civarı çekirdek h	-	-	8,14	0,79
D35-Haliç surları Petrikapı civarı derz harcı	-	-	7,87	0,98
D36- Haliç surları Petrikapı civarı çekirdek harcı	-	-	8,59	2,15
C10- Sampson Hastanesi derz harcı	-	-	7,99	0,63
C11- Sampson Hastanesi çekirdek harcı	-	-	8,20	0,21
D23- Sampson Hastanesi derz harcı-2	-	-	8,03	1,33
A1 - Hipodrom derz harcı	-	-	7,98	1,56
A2 - Hipodrom çekirdek harcı	-	-	8,03	1,08

Tablo A.6: Tuz analizi sonuçları

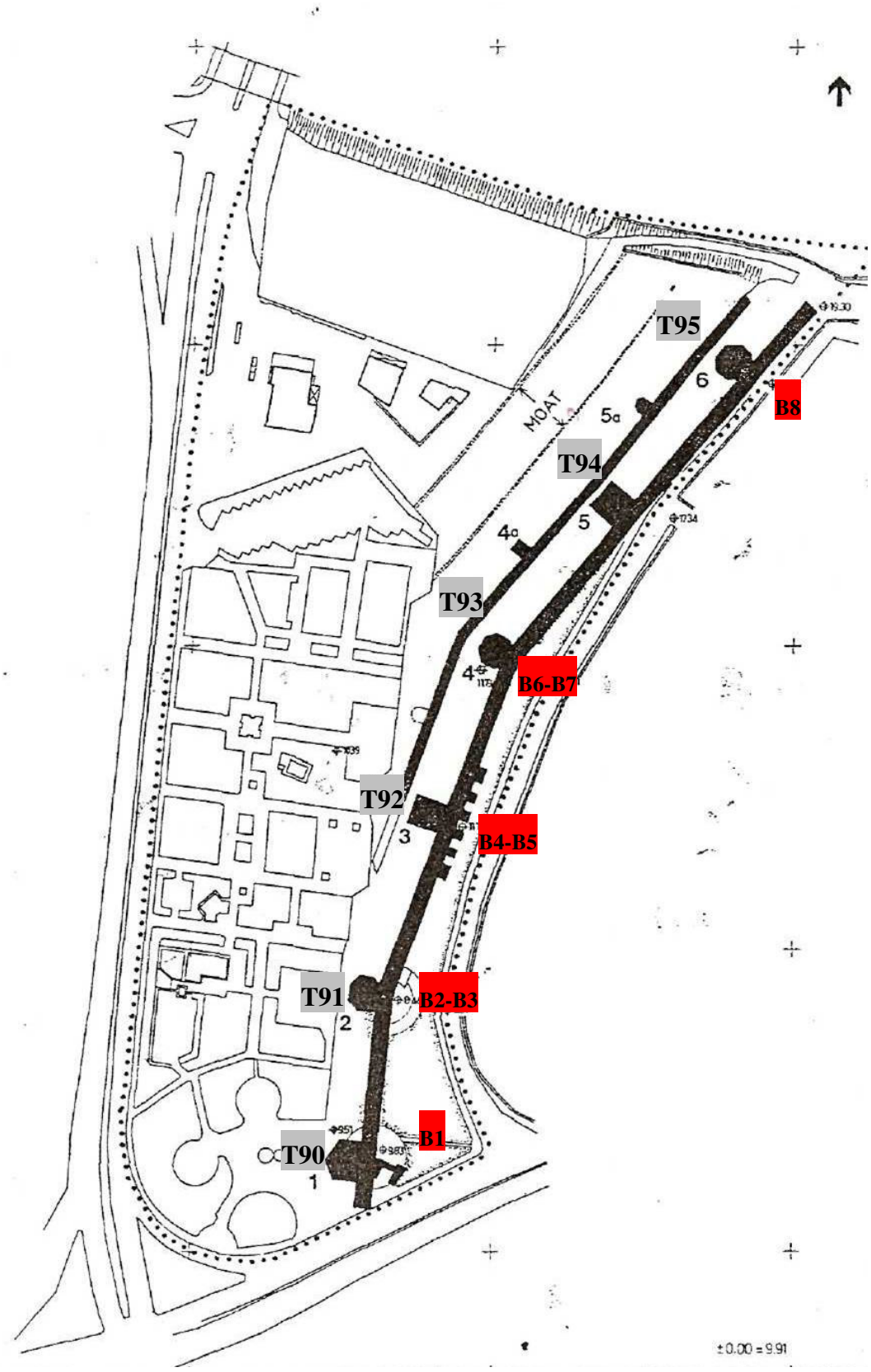
Örnek Numarası ve Adı	Cl^-	SO_4	NO_3	CO_3	İletkenlik (µs.)
D11- Büyük Saray derz harcı	+++	+++	+++	-	4090
D19- Bukoleon Sarayı derz harcı	++++	+-	+++	-	12910
D20- Bukoleon Sarayı çekirdek harcı	+++	+-	+++	-	3300
D14- Lausos Sarayı derz harcı 1	++	+-	+	-	400
D16- Lausos Sarayı çekirdek harcı	+-	+	++	_	295
D41- Ayasofya derz harcı	+	+++	+	_	638
D42- Ayasofya sıva harcı	++	++	++	_	832
D10- Aya İrini derz harcı	+++	+	++	_	445
D18- Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı	+	+-	+-	_	128,6
D40- Acem Ağa Mescidi derz harcı	++	+-	+	_	265
D17- Euphemia Kilisesi derz harcı	++	+-	++	_	384
D13- Studios Manastırı derz harcı	++	+++	+	_	831
D6- Karpos Papylos M. derz harcı	+	+++	+	_	4000
D7- Karpos Papylos M. çekirdek harcı	+-	+++	+++	_	457
D3- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 1	+++	++	+	_	420
D4- Hagios Polyeuktos çekirdek harcı 2	++	+	+	_	199,2
D5- Hagios Polyeuktos derz harcı	+	++	++	_	540
D8-Hagios Mokios Sarnıcı çekirdek h.	+++	++	+++	_	23000
D9- Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı	++	+	+	_	482
A8- Aspar Su Sarnıcı derz harcı	+++	+	+	_	462

Örnek Numarası ve Adı	Cl^-	SO_4	NO_3	CO_3	İletkenlik (µs.)
B9- Aetios Sarnıcı çekirdek harcı	+++	+	+++	_	1110
B10- Aetios Sarnıcı derz harcı	+++	+-	++	_	637
B1- Karasurları T90 no.lu kule	+-	++++	+	_	1372
B2-Karasurları T91 no.lu kule çekirdek harcı	+++	+-	-	_	1151
B3-Karasurları T91 no.lu kule derz harcı	+	+++	++	_	613
B4- Karasurları T92 no.lu kule çekirdek harcı	++	+-	-	_	162,5
B5- Karasurları T92 no.lu kule derz harcı	+++	+++	+	_	538
B6- Karasurları T93 no.lu kule derz harcı	++	+++	+-	_	1045
B7-Karasurları T93 no.lu kule çekirdek harcı	++	+	-	_	1106
B8-Karasurları T95 no.lu kule çekirdek harcı	++	++	+	_	392
C1- Mevlanakapı çekirdek harcı	++	+-	-	_	127,4
C2- Mevlanakapı derz harcı	++	+-	++	_	133,9
C6- Silivrikapı derz harcı	++	+	++	_	174,8
C7- Silivrikapı çekirdek harcı	++	+	+-	_	479
C8- Kara surları Silivrikapı civarı derz harcı	+++	+-	++	_	975
D24- Marmara suru 37 no.lu kule civarı derz harcı	++++	++	++	_	2540
D27- Marmara suru 97 ve 99 no.lu kuleler arası derz harcı	++	+-	++	_	172,8
D28- Marmara suru Çatladıkapı derz h	++	+-	++	_	318

Örnek Numarası ve Adı	Cl^-	SO_4	NO_3	CO_3	İletkenlik (µs.)
D29- Marmara suru Çatladıkapı çekirdek harcı	+-	+	+-	-	454
D31- Haliç surları Cibalikapı derz h.	+	++	++	-	708
D32- Haliç surları Cibalikapı çekirdek harcı	++	++++	++++	-	1591
D33- Haliç surları Fener civarı derz h.	+++	++	++	-	1013
D34-Haliç surları Fener civarı çekirdek harcı	++	++	++	-	525
D35-Haliç surları Petrikapı civarı derz harcı	++	+-	+++	-	475
D36- Haliç surları Petrikapı civarı çekirdek harcı	++	+-	+-	-	116,4
D37- Haliç surları Balatkapı civarı çekirdek harcı	+++	+-	+++	-	1840
C10- Sampson Hastanesi derz harcı	++	+-	++	-	180
C11- Sampson Hastanesi çekirdek harcı	++	+-	++	-	141,6
A1 - Hipodrom derz harcı	+++	+-	++	-	1023

* Distile su: 6.7 µs.

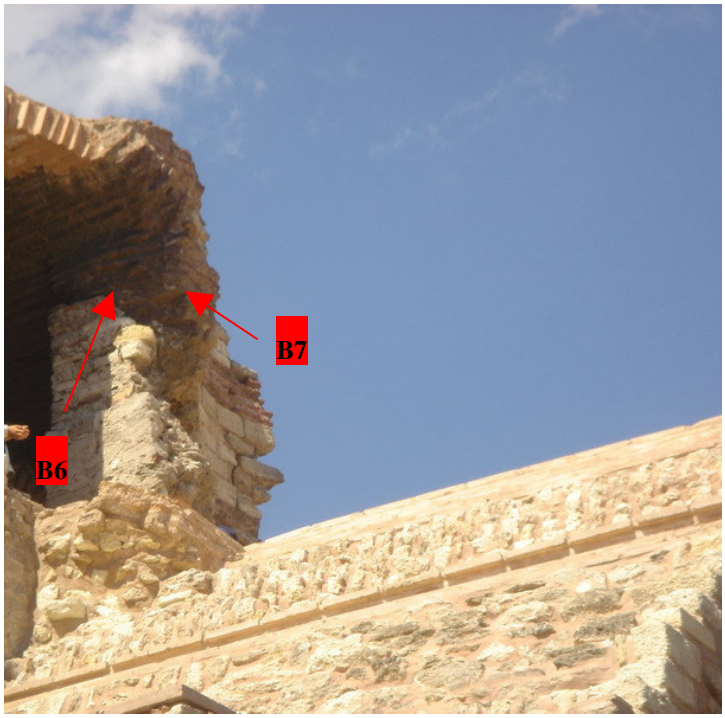
EK.B- ŞEKİLLER



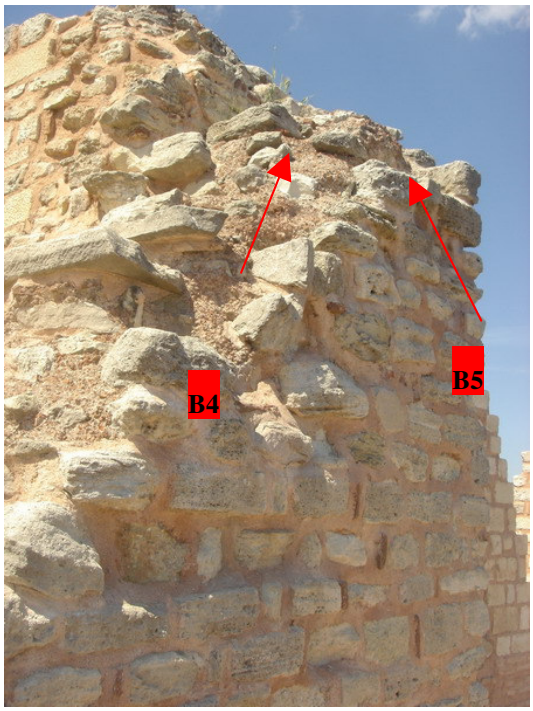
Şekil B.1: Kara surları B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8 numaralı harç örneklerinin alındığı yerler



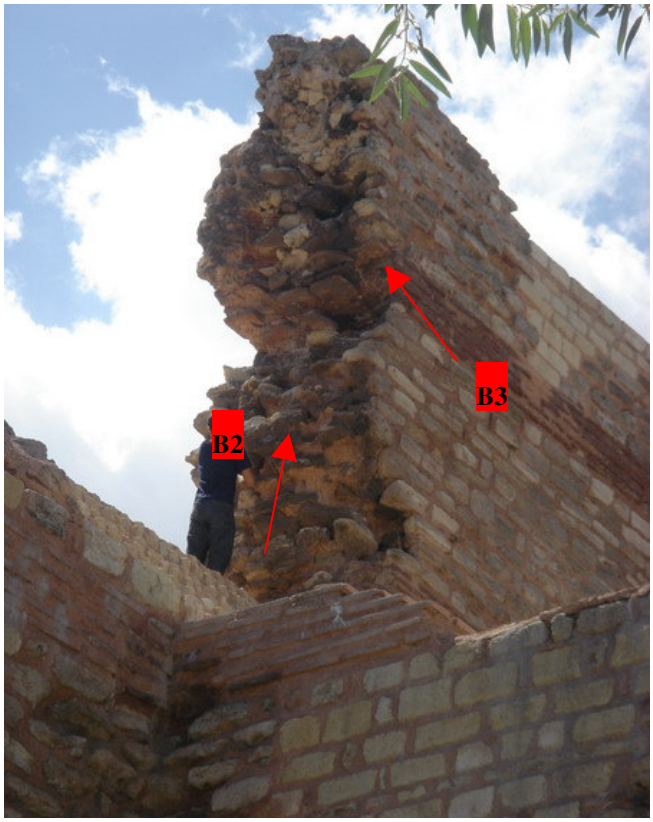
Şekil B.2.: Kara surları T95 no.lu kule B8 numaralı çekirdek harcı örneğinin alındığı yer



Şekil B.3.: Kara surları T93 no.lu kule B6 numaralı derz harcı ve B7 numaralı çekirdek harcı örneğinin alındığı yer



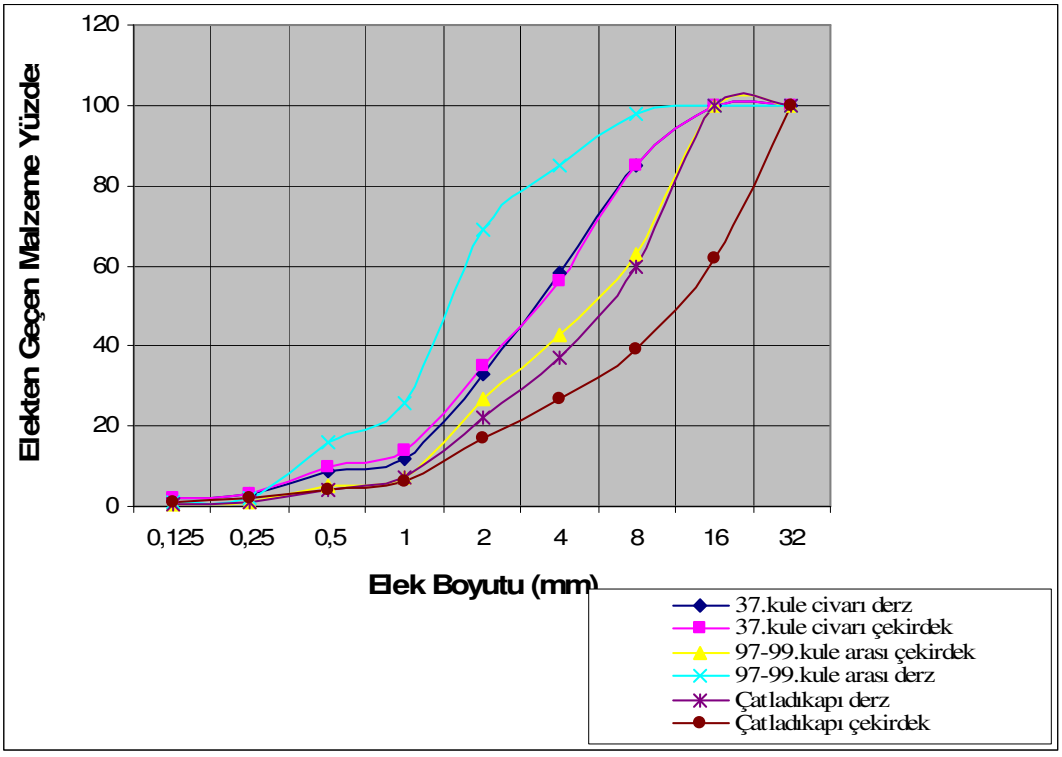
Şekil B.4: Kara surları T92 no.lu kule B4 numaralı çekirdek harcı ve B5 numaralı derz harcı örneklerinin alındığı yerler



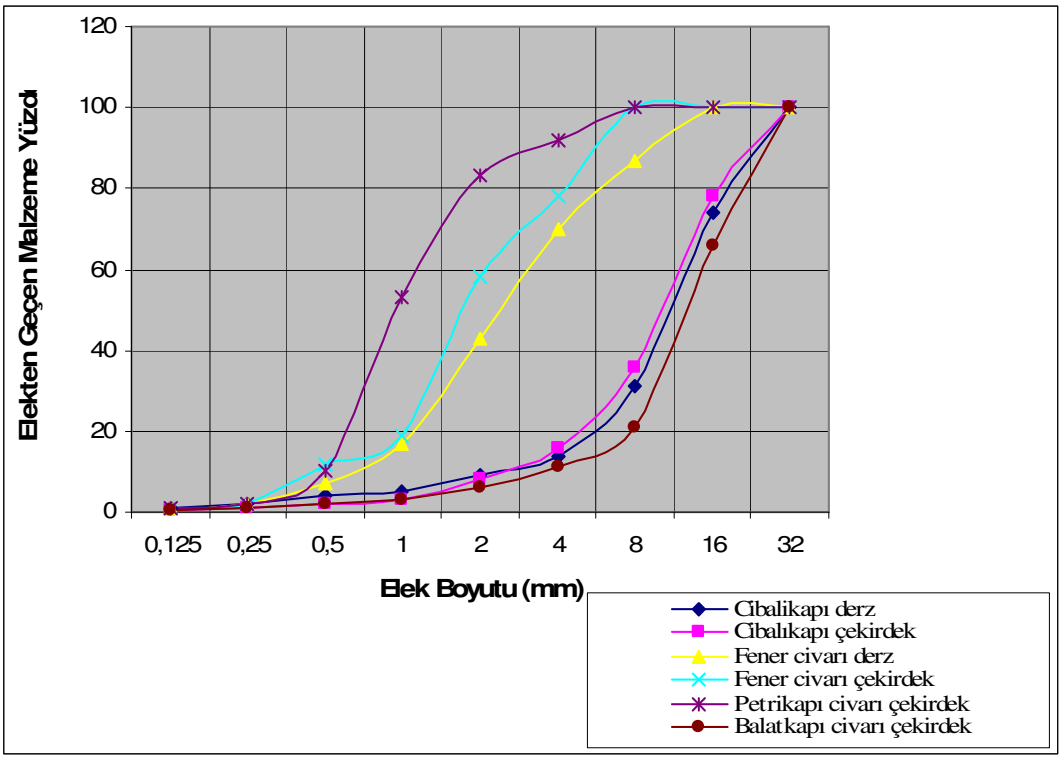
Şekil B.5: Kara surları T91 no.lu kule B2 numaralı çekirdek harcı ve B3 numaralı derz harcı örneklerinin alındığı yerler



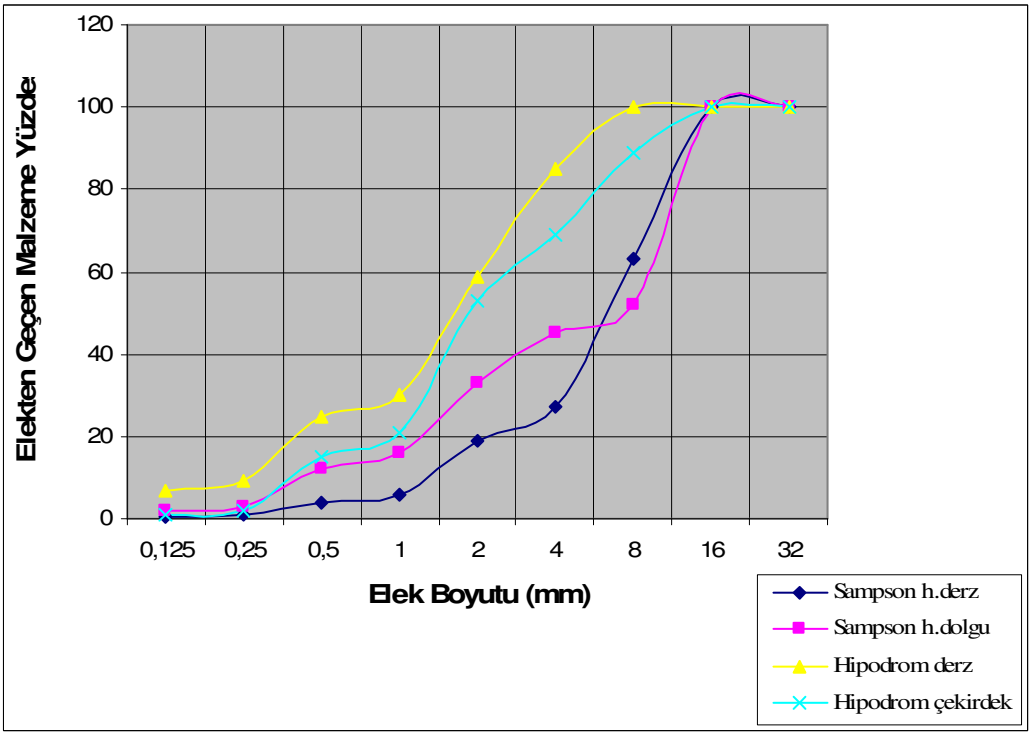
Şekil B.6: Kara surları T90 no.lu kule B1 numaralı derz harcı örneğinin alındığı yer



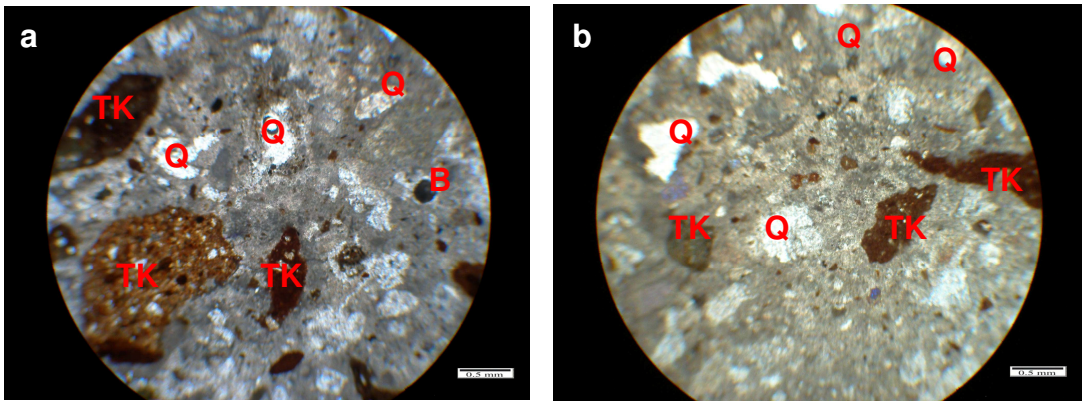
Şekil B.7: Marmara Surları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi



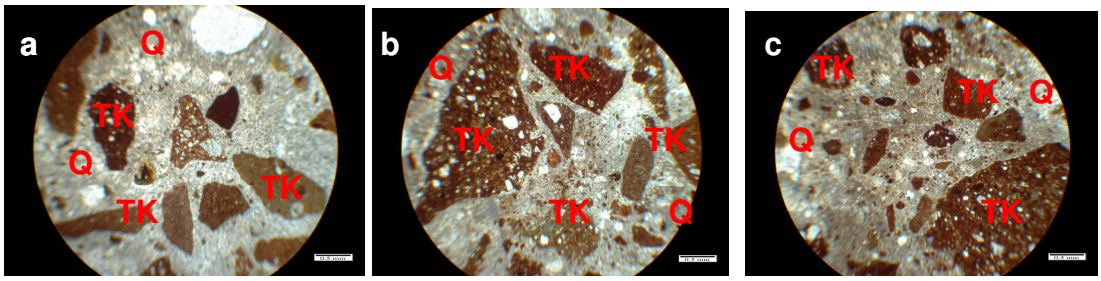
Şekil B.8: Haliç Surları derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi



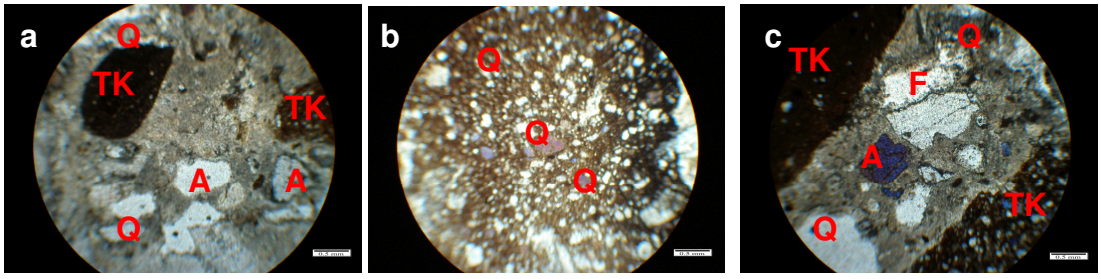
Şekil B.9: Sampson Hastanesi ve Hipodrom derz ve çekirdek harcı örnekleri agrega granülometri eğrisi



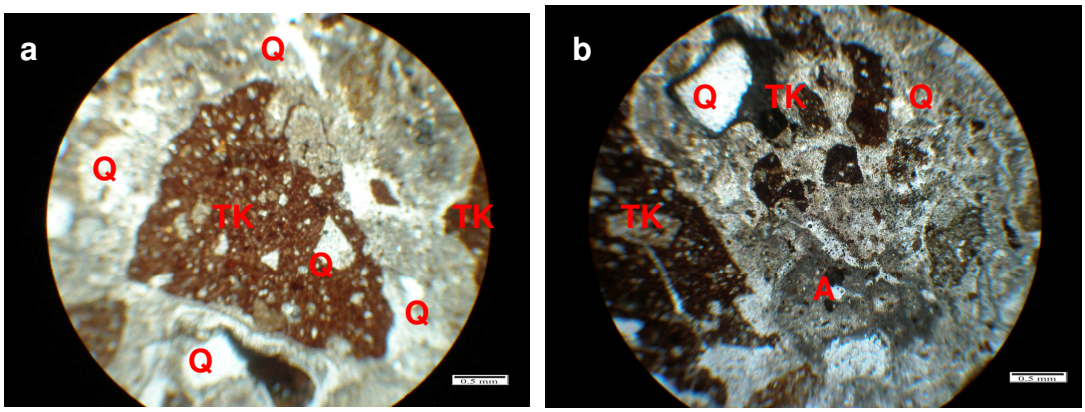
Şekil B.10: D20 Bukoleon Sarayı çekirdek harcı, **a)** Genel doku görüntüsü, **b)** Bağlayıcı matrisinin görüntüsü, (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, B: Boşluk)



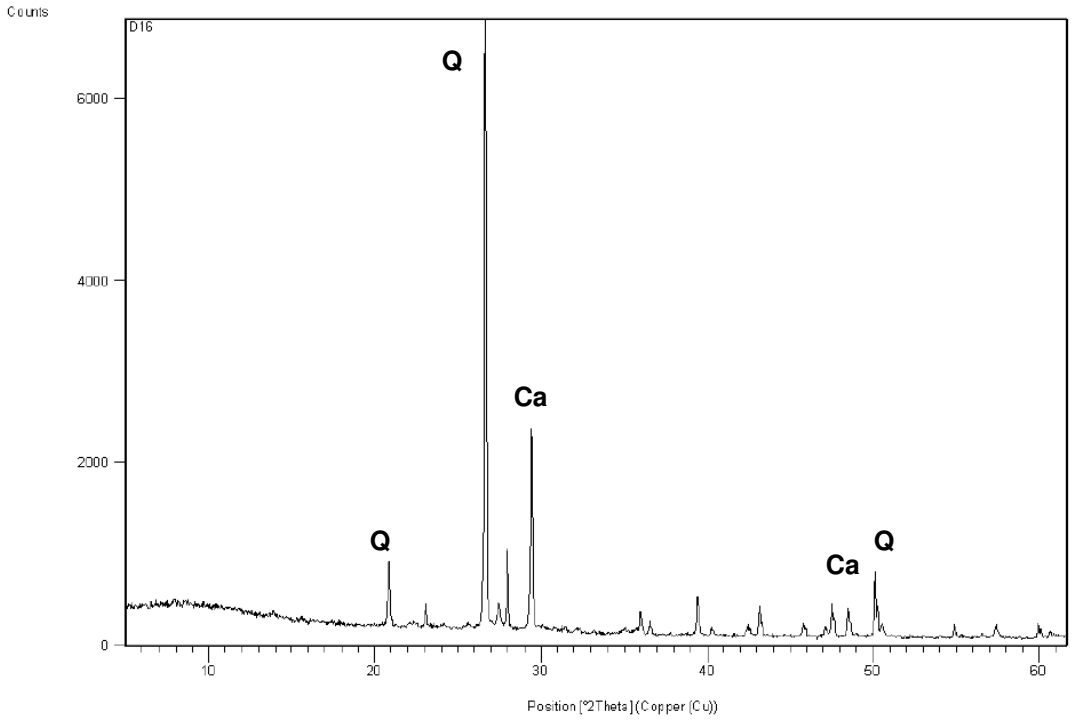
Şekil B.11: D10 Aya İrini derz harcı, **a)** Genel doku görüntüsü, **b)** Tuğla kırığı ve matrisin ilişkisi (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, F: Feldispat)



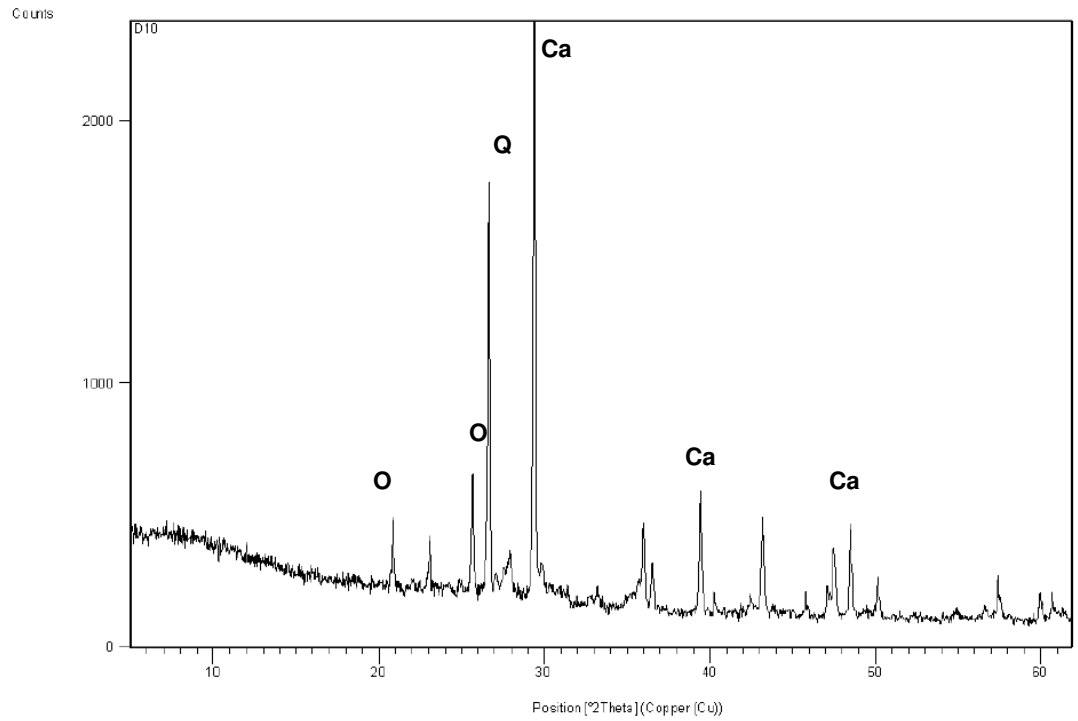
Şekil B.12: D8 Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı, **a)** Genel doku görüntüsü, **b)** Tuğla agreganın görüntüsü, c) Bağlayıcı matrisindeki karbonatlaşmanın görüntüsü (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, F: Feldispat, A: Farklı renkteki agrega)



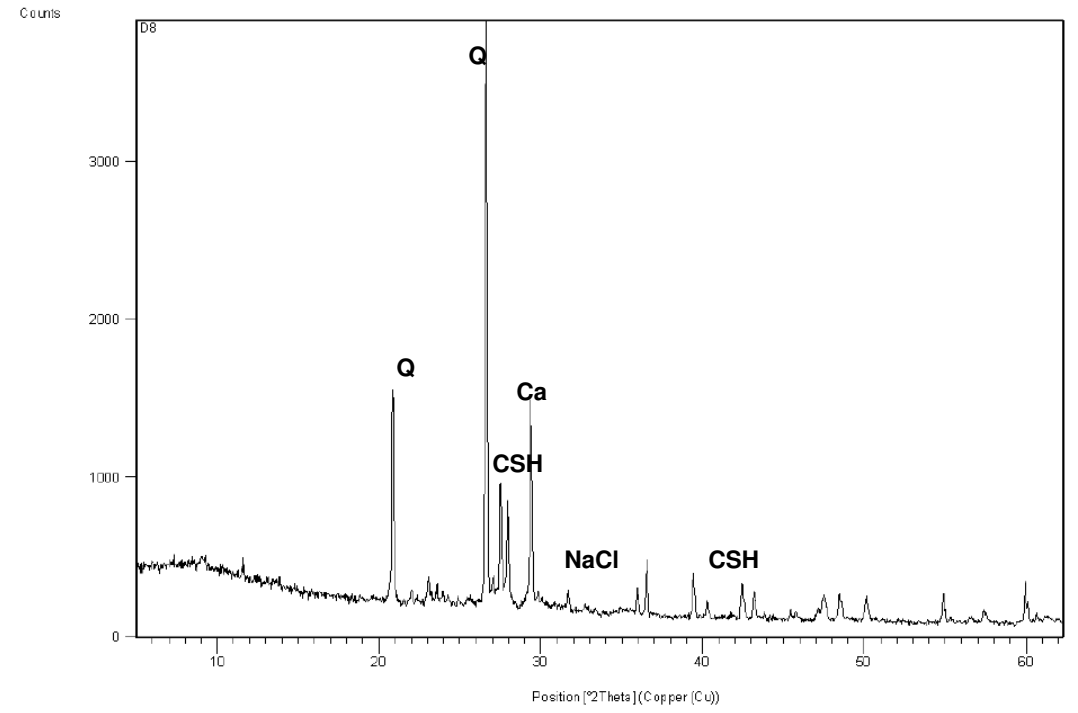
Şekil B.13: A1 Hipodrom derz harcı, **a)** Bağlayıcı matrisi içindeki tuğla kırığının görüntüsü, **b)** Bağlayıcı-agrega ilişkisi (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, A: Farklı renkteki agrega)



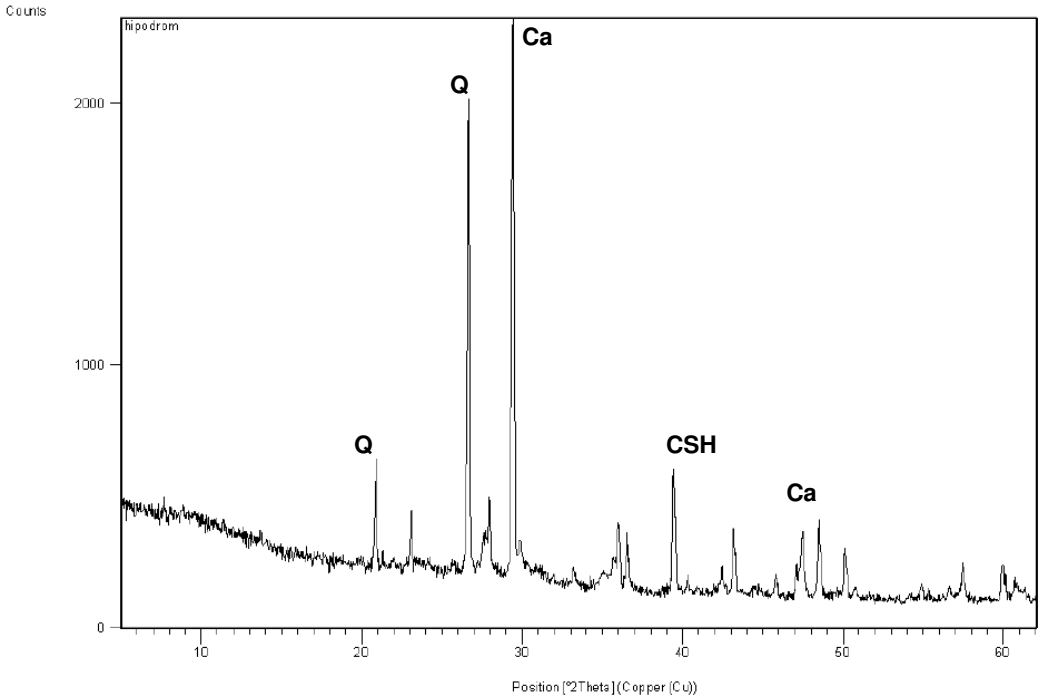
Şekil B.14: D16 no.lu Lausos Sarayı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği (Ca: Kalsit, Q: Kuvars)



Şekil B.15: D10 no.lu Aya İrini derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, O: Orthoclase)



Şekil B.16: D8 no.lu Hagios Mokios Sarnıcı derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, CSH: Kalsiyum Silikat Hidrat, NaCl: Sodyum Klorür)



Şekil B.17: A1 no.lu Hipodrom derz harcı numunesinin X-Işını Grafiği (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, CSH: Kalsiyum Silikat Hidrat)

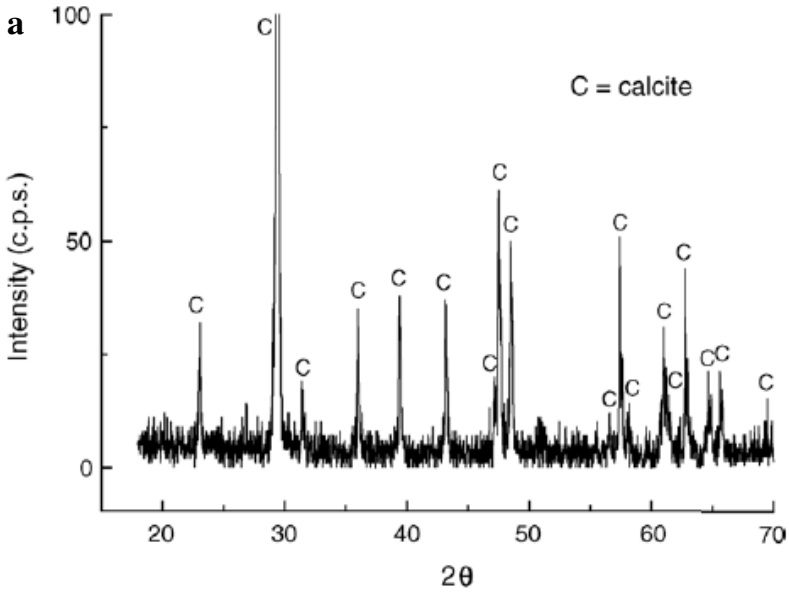


Fig. 3. XRD spectrum of Colosseum mortar with intense peaks of which most of them can be identified as calcite (c).

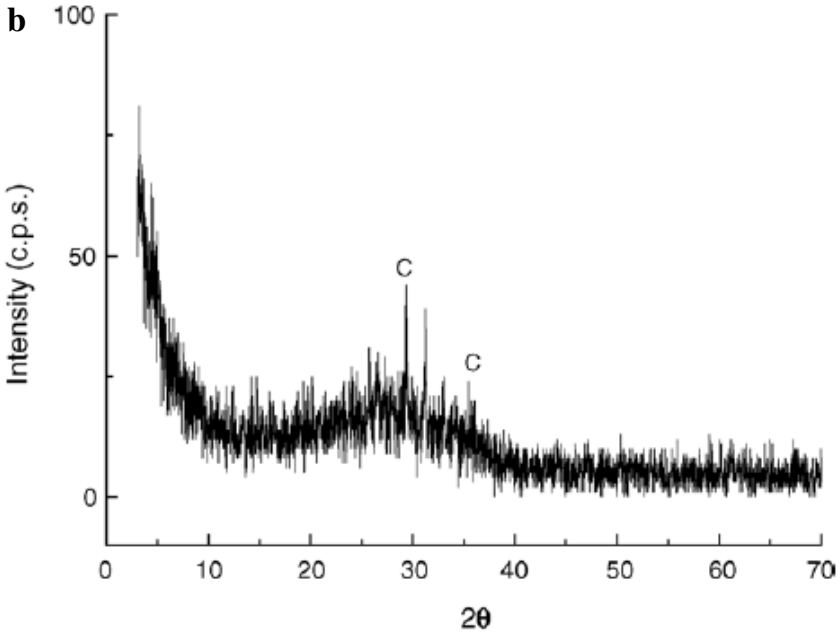


Fig. 4. XRD spectrum of the cistern mortar. The pattern shows no distinct diffraction peaks but only a diffuse maximum indicative of partially amorphous material. Conceivably a couple of peaks could be attributed to calcite (c).

Şekil B.18: a) Roma'da Albano Sarnıcı'ndan alınan horasan harcı XRD grafiği **b)** Roma Colosseum'undan alınan horasan harcı XRD grafiği **(Silva ve diğ., 2005).**

Table 2
X-Ray diffraction results

Sample	Q	Cc	Ar	An	San	Do	CaAH	CaSH	Mont.	K	Muse
2 (matrix)	+ + +	+ + + +		+ +	+ +			+	+		+
2 (ceramic)	+ + + +	+ + + +		+ +	+ +	+	+	+	+	+	+
3 (ceramic)	+ + + +	+ +		+ +	+ +	+	+		+	+	+
3b (matrix)	+ + +	+ + + +		+	+		+				

Quartz: SiO_2 (5-0490); Calcite: $CaCO_3$ (5-0586); Anorthite-plagioclase: $CaAl_2Si_3O_8$ (12-301); Sanidine: $NaO.6KO.4ArSi_3O_8$ (10-357); Calcium Silicate hydrate: 5 $Ca_2SiO_4.6H_2O$ (3-0248); Calcium aluminate hydrate: $Ca_3Al_2O_6.8H_2O$ (2-0083); Montmorillonite: $CaNaMgFeAlSi(OH)_2.8H_2O$; Kaolinite: $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (12-447); and Muscovite: $(K, Na)(Al, Mg, Fe)_2(Si_2Al)O_{10}(OH)_2$(7-14).

10.yy

.

6.yy.

Şekil B.19: Aya Sofya'dan alınan 6. yy. ve 10. yy.a ait horasan harçlarının XRD grafikleri **(Moropoulou ve diğ, 2002).**

Table 1
Thermal analysis and porosimetry results, strength values and mineralogical composition of the analysed samples

Sample	SBW (%)	CO_2/SBW	CO_2 (%)	Porosity (%)	Tensile strength (MPa)	Mineralogical composition[a]
Crushed brick						
Toplu7	6.47	1.6	10.25	25.13	0.65	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$
Metochi5	6.31	3.6	22.65	45.19	0.57	Cc, S, Pg
Rhodes10	3.74	9.1	33.85	38.79	0.57	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$, CAH, CACH, Tb
Rhodes11	4.85	6.2	30.14	40.20	0.62	Cc, S, Do, Pg, Msc, Tc, CACH, Tb
Rhodes12	4.40	6.2	27.09	42.80	0.55	Cc, S, Pg, Tb, $C_{1.1}SH_{2.1}$
Rhodes14	5.20	6.0	31.12	43.52	0.57	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$, Msc
Rhodes15	4.91	4.6	22.73	46.10	0.64	Cc, S, Pg
A. Sophia1.2	4.78	4.1	19.45	35.62	0.59	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$, Mnt
A. Sophia2.2	4.75	2.3	11.01	41.67	0.52	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$, Mnt
A. SophiaW2	3.52	4.0	13.99	37.90	0.59	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$
A. Sophia3.1	5.18	2.4	12.67	35.39	0.63	Cc, S, Pg, CAH
A. Sophia3.2	4.31	2.6	11.18	32.71	0.57	Cc, S, Pg, CAH
A. Sophia4	3.79	3.3	12.35	42.12	0.57	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$
Toplu8	5.21	3.3	17.00	26.94	0.58	–
Rhodes16	6.12	2.6	15.98	29.67	0.52	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$, Msc
Rhodes17	5.10	3.0	15.20	32.16	0.64	Cc, S, Do, Pg, Msc, Tc, CACH, Tb
Rhodes20	4.76	5.5	26.23	38.60	0.52	Cc, S, Pg, $C_{1.1}SH_{2.1}$, Msc
Rhodes21	5.67	4.3	24.48	42.37	0.53	Cc, S, Pg, Tb, $C_{1.1}SH_{2.1}$

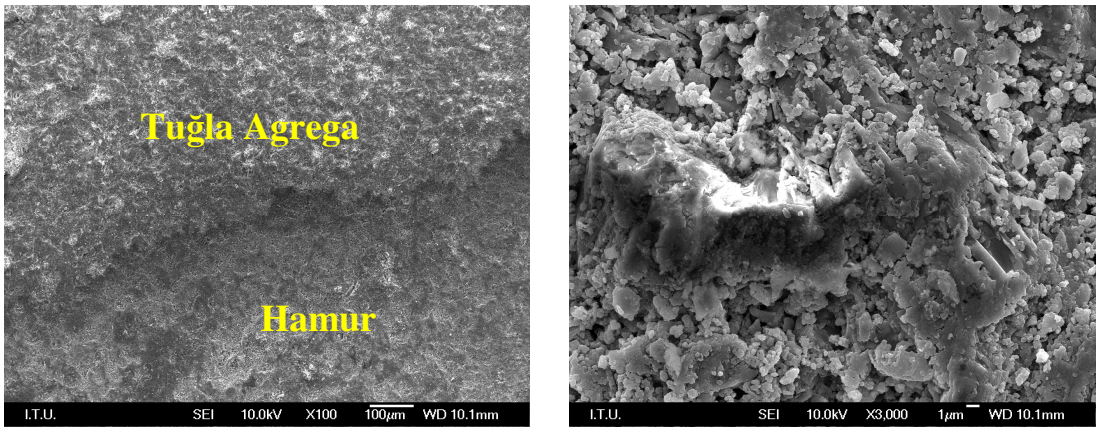
[a] Cc = calcite; S = silica; Dol = dolomite; Pg = plagioclase; Pt = portlandite; Chl = chlorite; Ms = muscovite; Tobe = tobermorite; Mm = montmorillonite; Tlc = talc; Ill = illite; Kao = kaolinite; CAH = calcium aluminate hydrate; $C_{1.1}SH_{2.1}$ = pozzolanic C-S-H; CACH = tetracalcium aluminate carbonate; CASH = calcium aluminum silicate hydrate.

Şekil B.20 Aya Sofya'da yapılan başka bir çalışmadaki XRD analizi sonuçları **(Moropoulou ve diğ, 2003).**

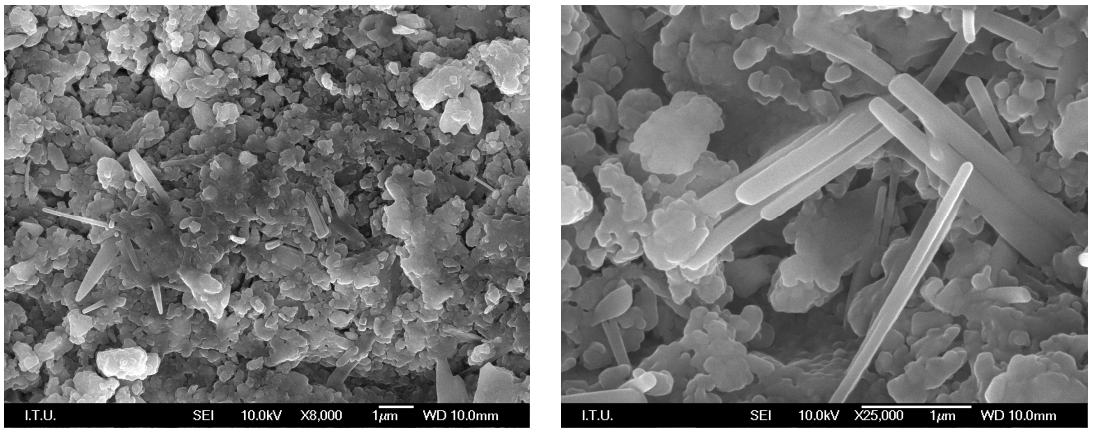
Table II. XRD results[a].

Sample	Composition
K2	calcite, quartz, dolomite
K3	calcite, quartz, dolomite, plagioclase
19p	calcite, quartz, dolomite, plagioclase, leucite
32	calcite, quartz, plagioclase, tobermorite, Halite
34	portlandite, calcite, quartz, chlorite, calcium aluminium hydrate
36	calcite, quartz, dolomite, plagioclase, gypsum
4 a	calcite, quartz, dolomite, plagioclase, gypsum, chlorite, calcium silicium hydrate
4 b	calcite, quartz, dolomite, plagioclase, gypsum, chlorite, calcium silicium hydrate
1c	calcite, quartz, plagioclase, calcium silicium hydrate, calcium aluminium chlorite hydrate, calcium orthosilicate hydrate, montmorillonite
6c	calcite, quartz, dolomite, plagioclase, muscovite, calcium orthosilicate hydrate, tobermorite
8	calcite, quartz, plagioclase, calcium silicium hydrate, muscovite
18	calcite, quartz, plagioclase, calcium silicium hydrate, muscovite
13	calcite, quartz, plagioclase, Halite
9	calcite, quartz, plagioclase, tobermorite, calcium silicium hydrate
7	calcite, dolomite, quartz, plagioclase, muscovite, portlandite, anthophyllite, antigorite, serpentine
10	calcite, quartz, dolomite, muscovite, plagioclase, chlorite, portlandite, anthophyllite, serpentine
13	calcite, quartz, dolomite, muscovite, serpentine, portlandite
15	calcite, quartz, dolomite, aragonite, plagioclase, leucite
19	calcite, dolomite, quartz, anhydrite, yoderite, tobermorite, portlandite

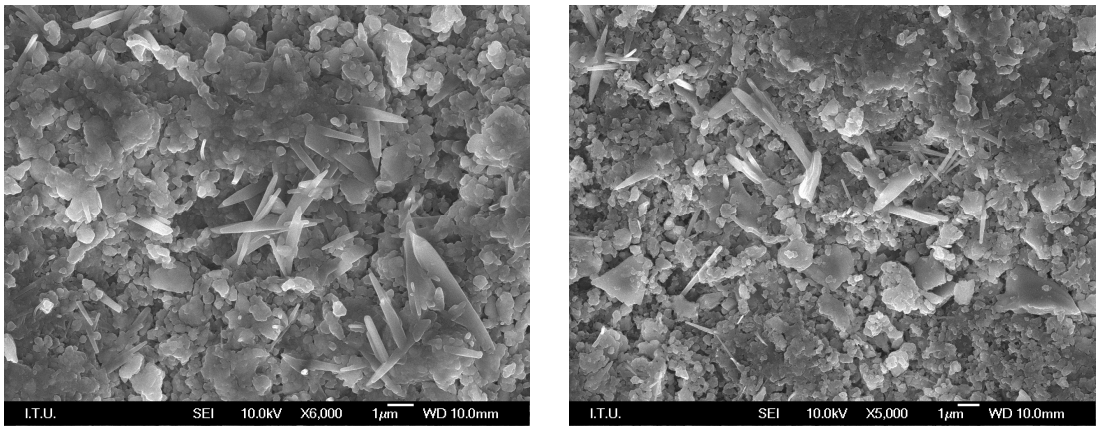
Şekil B.21: Rodos Adasında yer alan farklı yüzyıllara ait yapılardaki analizde 8 no.lu Erken Bizans dönemi horasan harcının XRD analizi sonuçları **(Moropoulou ve diğ, 1999).**



Şekil B.22: A8 no.lu Aspar Su Sarnıcı derz harcı numunesinin SEM görüntüleri (100X ve 3000X)

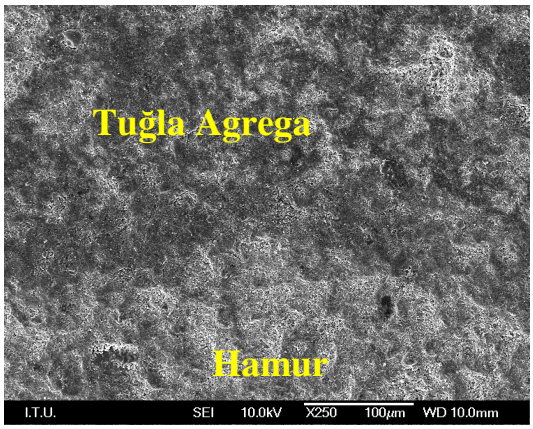


a) Bağlayıcı kısım 8000X **b)** Bağlayıcı kısım 25000X

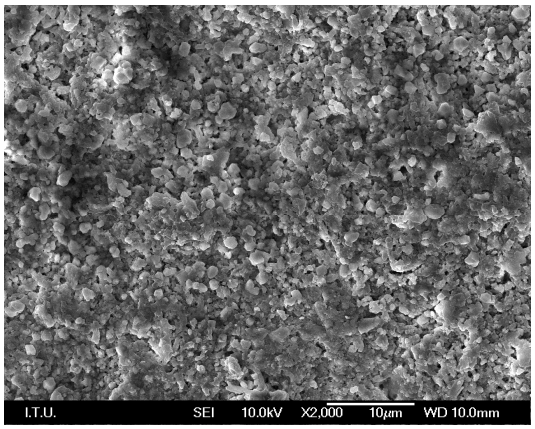


c) Bağlayıcı kısım 5000X **d)** Bağlayıcı kısım 5000X

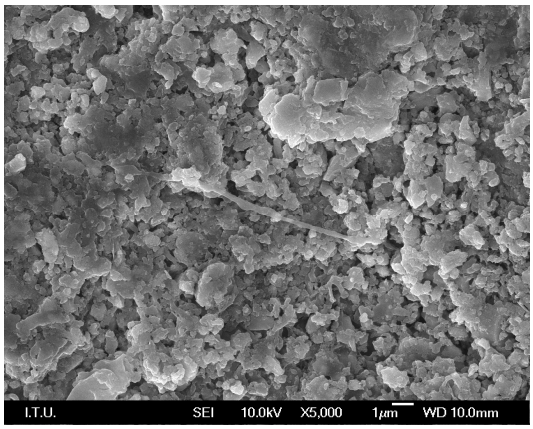
Şekil B.23: D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı örneğinin SEM görüntüleri



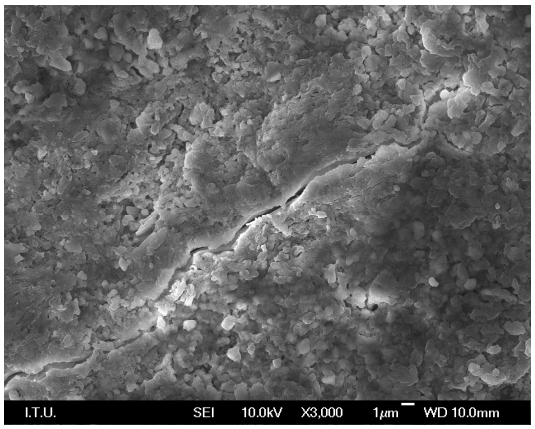
a) Genel doku 250X



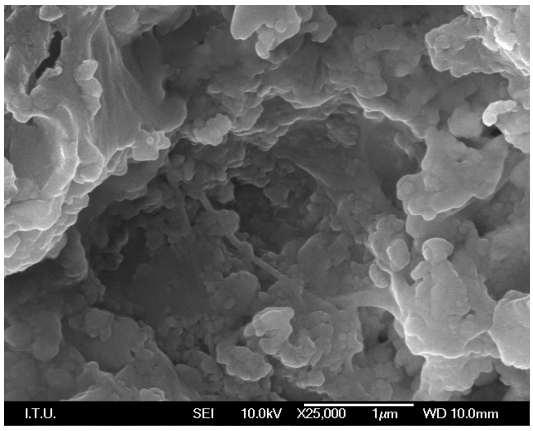
b) Agrega kısmı 2000X



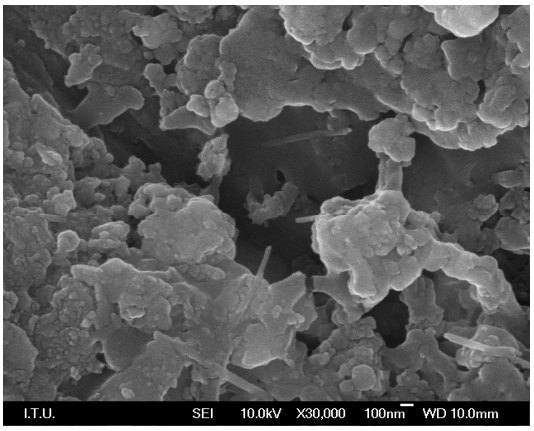
c) Bağlayıcı kısım 5000X



d) Mikro yapıdaki çatlak 3000X

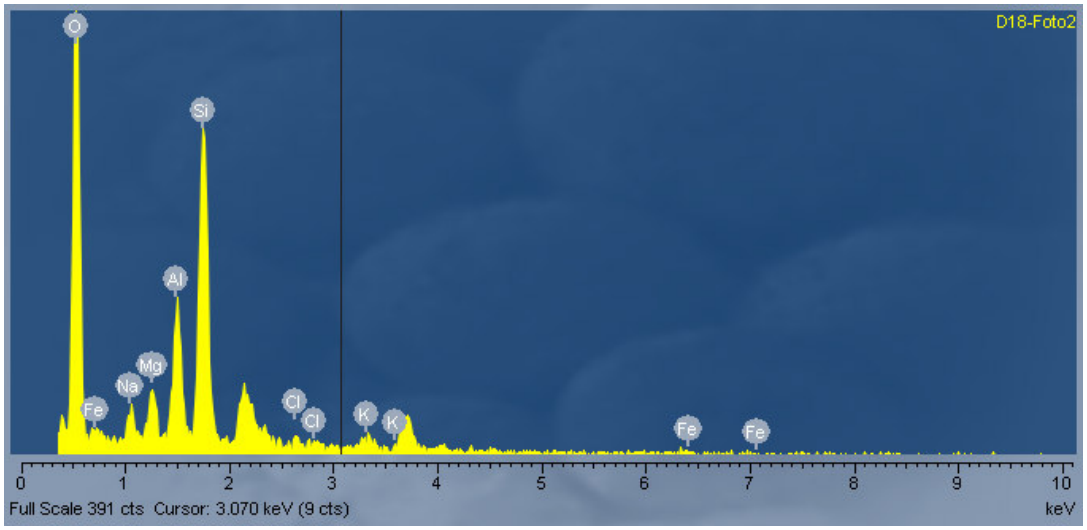


e) Bağlayıcı agrega ara yüzeyi 25000X

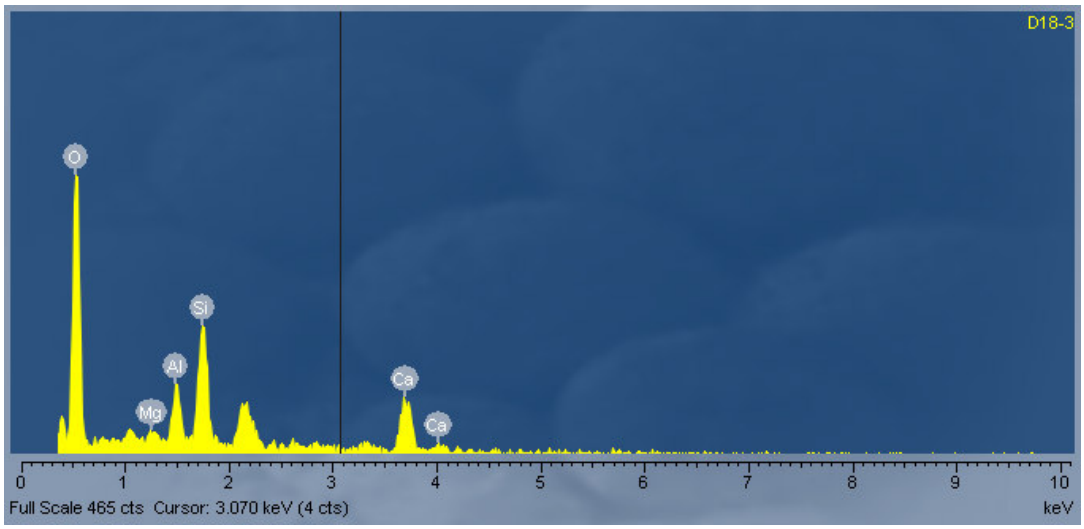


f) Bağlayıcı agrega ara yüzeyi 30000X

Şekil B.24: D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin SEM görüntüleri



Şekil B.25: D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin agrega kısmı EDS Diyagramı (2000X)



Şekil B.26: D18 no.lu Acem Ağa Mescidi çekirdek harcı örneğinin hamur kısmı EDS Diyagramı (5000X)

ÖZGEÇMİŞ

Gülçin Kahraman, 1982 yılında İstanbul'da doğdu. Orta Öğrenimini İstanbul'da Mustafa Itri İlkokulu'nun ardından Çapa Ortaokulunda, lise öğretimini ise Pertevniyal Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Yüksek Lisansına, 2005 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde başladı. Bu dönemde, Prof. Dr. Erol Gürdal ve Y. Mimar Seden Acun Özgünler ile birlikte 1. Uluslararası Kara Surları Sempozyumu 2007 ; "Anemas Zindanlarında Kullanılmış Olan Harçların İncelenmesi ve Onarım Harcı Önerileri" adlı araştırma projesini ve sunumunu hazırlamıştır.

Ekim, 2008 **Gülçin KAHRAMAN**