

## PHYSICO-CHEMICAL AND PETROGRAPHICAL RESEARCH ON THE LIME MORTARS OF THE ANATOLIAN FORTRESS

### SUMMARY

This study aims to analyze petrographical, chemical, physical and mechanical properties of specific lime mortars used during the construction of the historical Anatolian Fortress. Chemical composition of the mortars is identified by ICP analysis, whereas their mineralogical structure is determined by XRD analysis. Petrographical analysis of thin section samples is executed under polarizan microscope. Mechanical tests are performed with the samples adjusted to appropriate dimensions. Ultrasound speed of samples is measured before mechanical experiments and their dynamic elasticity modules are calculated on the basis of this data. In accordance with data obtained, mortars of Fortress consist of lime binder with a rate of 30-40% and resting part includes various natural and artificial aggregates. Mortars have hydraulic features and associated feature of pink mortars is achieved by means of brick dusts added. As for cream colored mortars, it is anticipated that this feature is obtained by means of cystic and tuffic materials. Protein is identified in some mortar samples during spot tests. This identification indicates that organic additives are used during production of mortars. In addition, mortars have superior characteristics in mechanic sense. Data obtained also represent a guide for new materials to be used during repair works.

# Anadolu Hisarı Harçlarının Fiziko-Kimyasal ve Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi

SEDAT KURUGÖL\*,  
AHMET GÜLEÇ\*\*

## 1. Giriş Tarihi Bilgiler

Osmanlı döneminin ilk askeri mimari eserlerinden biri olan Anadolu Hisarı, İstanbul Boğazı'nda, Gökusu Deresi'nin Boğaz'a karıştığı alanda bulunan tarihi bir kaledir. Çevreye de ismini vermiş olan bu tarihi hisar, Osmanlı padişahlarından Yıldırım Bayezid tarafından 1395 yılında yaptırılmıştır. O sıralarda kıyıları dolmamış olan Gökusu üzerinde ve güneyinde Boğaz'a dayalı büyük bir kaya çıkıntısının üstüne inşa edilmiştir. Düzgün bir iç kule ile onu çevreleyen ve üzerine oturduğu kayanın biçimine kesinlikle uyan bir çevre duvarından oluşmaktadır (Kuban, 2007). Fatih Sultan Mehmed, Rumeli Hisarı'nı yap-

tırırken bu kaleye de bazı kule ve surlar ilave ettirmiştir (Eyice, 1978). İstanbul'un fethinden sonra bu kalenin eski işlevi bitmiş ve bir süre suçlu Yeniçeriler için hapisane olarak kullanılmıştır. Boğaz girişindeki kale ve istihkamların yapılması ile de zamanla önemini yitmiştir. Asıl kalenin surları, doğu-batı yönünde 65 metre, kuzey-güney yönünde 80 metre boyunca uzanmaktadır (Şekil 1). Günümüzde bazı duvarları yıkılarak, kalenin ortasından Beykoz sahil yolu geçirilmiştir (Şekil 2). Hisar'ın, bazı tarih kitaplarında *Güzelce-Hisar*, *Gözlüce Hisar*, *Yenice-Hisarı* ve *Yeni-Hisar* gibi çeşitli isimler altında da adı geçmektedir (Eyice, 1978).

Anadolu Hisarı, Osmanlı kale mimarisine göre yapılmış olup, ilk yapımında kare planlı bir kule ve bunu çev-



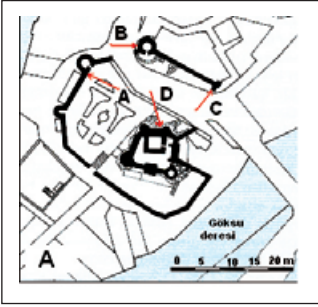
Şekil 1. Asıl kale ve burçlar (sahil tarafı)



Şekil 2. Kara tarafındaki burç ve duvarlar

\* Yrd.Doç.Dr. SEDAT KURUGÖL, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, e-posta: sedatkurugol@gmail.com

\*\* Doç.Dr. AHMET GÜLEÇ, İstanbul Üniversitesi, e-posta: gulecah@istanbul.edu.tr



Şekil 3. [a] Anadolu Hisarı, 1984 (Kuban), Kırmızı okla işaretli kısımlar örneklerin alındığı bölgelere işaret etmektedir. [b] A. Gabriel'in gravürlerinde Anadolu Hisarı (Gabriel, 1941)

releyen duvarlardan meydana gelmiştir. Hisar, dört ayrı bölümden oluşmaktadır. Bunlar: Asıl Kale (İç Kale), İç Kale duvarı, Dış Kale duvarı ve Dış Kale duvarındaki kulelerdir. Asıl Kale, bazı yerlerde toprakla düzleştirilerek kayalık üzerine oturtulmuştur; kare planlı ve oldukça yüksek bir yapıya sahiptir (Şekil 3a).

İç Kale'den sonra inşa edilmiş olan Dış Kale'nin duvarları, tamamen kesme ve moloz taştan örülmüştür. İç Kale duvarlarına göre daha ince olan Dış Kale duvarları, İç Kale'ye güneydoğu ve kuzeydoğu köşelerinden bağlanmıştır. Mazgallı korkuluklarla sonuçlanan Dış Kale duvarlarının üç köşesine de si-

lindirik, yarım yuvarlak ve at nalı biçiminde kuleler yerleştirilmiştir (Pekin, 2008).

1830'lara kadar, Hisar'ın baş kulesi ile bütün burçlarının üstlerinde, dış yüzeyleri kurşunla kaplı sivri ahşap külahlar bulunmaktaydı. A.Gabriel, G.Sandis, A.J.Melling ve Ch.Pertusier'in seyahatnamelerinin gravürlerinde, bu külahlar açıkça gözükmektedir (Şekil 3b). İstanbul'a 1830 yılında gelen Thomas Allom'un gravürlerinde ise, Hisar külahsız olarak görülmektedir. Bu da gösteriyor ki, kalenin külahı 1830 yılından önce yıkılmıştır (Eyice, 1993).

Kale, çeşitli kireç taşları, mer-

mer ve kumtaşı gibi değişik tür ve boyutlardaki doğal taşların yanında, yer yer tuğla da kullanılarak inşa edilmiştir. Ayrıca, kulelerde ve duvarlarda devşirme malzemelere rastlanmaktadır. Kalenin taş ve tuğlalardan oluşan duvar kalınlığı, 1,5-3m arasında değişmektedir. Kuleleri ve kale duvarlarını oluşturan taşların aralarındaki boşluklar, moloz taş ve tuğla parçaları ile desteklenmiş; bağlayıcı olarak da tuğla kırığı katkılı ve katkısız kireç harçları kullanılmıştır. Asıl kalenin kule eteklerinde, taş-tuğla sıraları ile aralarında dekoratif olarak dizilmiş balık sırtı biçimindeki tuğla örgüleri de dikkati çekmektedir.

## 2. Anadolu Hisarı Harçları

Hisar'ın kule ve surlarında kullanılan özgün harçlar, kireç bağlayıcı, agrega olarak kum, çakıl ve tuğla kırığı karışımından üretilmiş,

krem-beyaz renkli hidrolik harçlardan oluşmaktadır. Bu harç üzerinde sonraki dönemlerde onarım amacıyla yapılan bazı müdahalelerde,

tuğla kırığı ve tozları ile hazırlanmış pembe-kırmızı renkte Horasan harcı örneklerine de rastlanmaktadır. Bu uygulamalar, genellikle ku-

lelerde yer yer görülmektedir. Son dönem onarım çalışmalarında ise, özgün malzemelerle iyi bir uyum sağlamadığı ve tuzlanma, ayrışma gibi çeşitli malzeme sorunlarına neden olduğu gözlenen çimento bağlayıcı harçlarla derz ve dolgu uygulamaları yapılmıştır. Bu onarımlar, Hisar duvarlarında oldukça fazladır. Geç dönemde yapılan çimento bağlayıcı bu son uygulamalar dikkate alınmazsa diğer tüm harçlar, kendi dönemleri içinde özgün ve sağlıklı onarımlar olarak kabul edilebilir.

Hisar'ın taş-tuğla örgü sistemindeki derzlerin kalınlıkları, yer yer 3-10cm arasında değişmektedir. Taşların aralarındaki boşluklar harçla ve tuğla parçalarıyla iyice desteklenmiş ve arada hiç boşluk bırakılmamaya çalışılmıştır. Kule ve duvarın zemine yakın yerlerinde, bir tür hafif beton diyebileceğimiz ve içinde çeşitli iri agregaları bulunan harç örneklerine de rastlanmaktadır. Bu tespitler doğrultusunda, Anadolu Hisar'ının inşasının



Şekil 4. Kalede kullanılan özgün krem (A) ve pembemsi (B) renkli horasan harcı örnekleri

da ve onarımlarında kullanılan tüm harçlar genel olarak iki grupta toplanabilir:

**a.** Genellikle beyaz-krem renklerde olan, kireç bağlayıcı, sağlam görümlü, özgün örgü harçlarıdır (Şekil 4a). Bu grubun içinde yer yer pembe renkli, kireç bağlayıcı harçlara da rastlanmaktadır (Şekil 4b).

**b.** Gri ve pembe-kırmızı renklerle sahip, 200-250 dozlu portland çimentosu ile üretilmiş çeşitli onarım harçlarıdır. Yakın zamanlarda uygulanmış olan bu harçlara, kalede yaygın bir şekilde rastlanmaktadır.

Günümüzde, Hisar'ın ayrışmaya uğramış çeşitli bölgelerinde onarım çalışmalarının yapılması söz konusudur. Bu nedenle, harçların karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi, bu çalışmanın amacını oluşturmuştur. Hisar'ın kendi özgün harçları olmaları nedeniyle, burada sadece [a] grubunu oluşturan harç örnekleri incelenmektedir. Diğer gruptaki harçlar [b], yakın zamanlarda onarım amacıyla yapılan çimento bağlayıcı uygulamalar olduklarından, çalışma dışında tutulmuşlardır.

### 3. Deneysel Çalışma ve Yöntem

#### 3.1. Örnekler

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, Hisar'ın Şekil 3'te gösterilmiş olan 4 değişik yerinden [A, B, C ve D], çeşitli boyutlarda toplam 12 adet harç örneği toplanmıştır. Örneklerin yüzeylerinde bulunan yabancı maddeler yarı sert plastik fırça ile temizlendikten sonra, uygun olanlar 40x40x120mm ( $\pm 3$  mm) boyutlarında kesilerek prizma şekline getirilmiş, bunlar üzerinde mekanik deneyler; her grubun kesim sırasında kalan parçaları üzerinde de fiziksel, kimyasal ve petrografik analizler yapılmıştır.

#### 3.2. Kimyasal Analizler

Harçların genel kimyasal kompozisyonunu tespit etmek için, her grubun 125 mikron elek altı incelekte ve 0,200g ağırlığındaki birer örneği, lityum metaborat-lityum tetraborat ( $\text{LiBO}_2\text{-Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) füzyonu ile çözünürleştirilerek bunlar üzerinde ICP-ES (Inductively Co-

upled Plasma Emission Spectroscopy, ICP-ES (ACME Labs)) analizleri yapılmış; sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

#### 3.3. Suda Çözünebilir Tuzlar ile Protein ve Yağ Analizleri

Harç örnekleri üzerinde suda çözünebilir tuzların (klor, sülfat, karbonat ve nitrat tuzları) niteliklerini belirleyebilmek ve sabunlaşabilir yağ, protein gibi maddelerin katılıp katılmadığını tespit etmek üzere, spot testlerle analizler yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

#### 3.4. Kızdırma Kaybı, Asitle (HCl) Muamele ve Granülometri Analizleri

Örneklerin termal davranışlarını tespit etmek için, 105, 550 ve 1050 ( $\pm 5$ ) °C'de kalsinasyon (kızdırma kaybı) analizleri yapılmıştır. Sıcaklık aralıklarına göre meydana gelen kütle kayıplarından hareketle, örneklerin % olarak nem içerik-

leri ve kalsiyum karbonat miktarları tespit edilmiştir. Agrega/bağlayıcı ve karbonatlı malzeme oranlarını tespit etmek için, 50g ağırlığındaki örnekler %10 seyreltilmiş HCl asidiyle muamele edilmiş, asitte çözünmeden kalan malzeme filtre edilip süzülükten sonra 105 ( $\pm 5$ )°C'de kurutulmuş kütle kayıpları ölçülmüştür. Asitle reaksiyona girmemiş silikatlı agregalar standart eleklerden geçirilerek, bunların granülometrik analizleri yapılmıştır.

#### 3.5. X-Işını Difraksiyonu (XRD Analizi)

Harçların genel mineralojik kompozisyonları, karakteristik iki harç örneği üzerinde "Philips X-Pert Pro X-Ray Diffractometer" cihazı ile yapılan XRD analizleri ile belirlenmiştir (İYTE, MAM Lab.,  $2\theta$ The-ta açıları 5°-70°, exploration hızı 2,12°/min, 45 KV ve 40 mA).

### 3.6. Fiziksel, Petrografik ve Mikroskopik Analizler

Harç örneklerinin Arşimet metodu-na göre, birim hacim ağırlık, porozite, su emme gibi temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde; EN 1936 ve TS EN 13755 standartları esas alınmıştır. Vakum altında epoksi-ye gömülen örnekler 1mm inceltile-rek kesitleri hazırlanmış (RAKU tool EL-2200 ve EH-2900) ve bu ince di-limler lama yapıştırılarak “STRU-RES Dicoplan -TS” model ince ke-sit cihazıyla 30µ’a kadar inceltilmiş-tir. Bu örneklerin genel ve mikros-kobik dokuları ile mineral içerikleri-ni tespit etmek için yapılan gözlem

ve analizlerde stereo mikroskop (tek nikel), harçların ince kesit örnekle-rinde ise soif polarizan (çift nikel) mikroskop kullanılmıştır. Fotoğraflar, “Olympus SP-350 Compact Di-gital Camera” ile çekilmiştir.

### 3.7. Mekanik Analizler ve Ultrases Hızı Ölçümleri

Mekanik deneylerin öncesinde, uygun özellikte ve 40x40x120mm (±3 mm) boyutlarında kesilmiş olan örneklerin ultrases hızı ge-çiş süreleri uzunlamasına (longitu-dinal) ölçülerek, buradan dinamik elastik modülleri  $[E_d]$  belirlenmiş-tir (transducer frekans 54kHz). Ult-

rases süreleri, “PUNDIT” marka (CNS. Electronics Ltd.) ultrases ci-hazı ile tespit edilmiş ve bu ölçüm-lerde TS EN 14579 standardından yararlanılmıştır. Bu örnekler son-ra tek eksenli eğilme deneyleri-ne tabi tutulmuşlardır; kalan par-çaların biri yarmada çekme, diğeri ise basınç deneyinde kullanılmıştır. Mekanik deneyler, 6-60kN kapa-siteli “AMSLER Universal Pres”te yapılmıştır. Eğilme ve basınç de-neylerinde TS EN 1015-11, yarma-da çekme deneylerinde de TS EN 12390-6 standardı esas alınmıştır. Fiziksel ve mekanik analiz sonuç-ları, Tablo 4’te verilmiştir.

## 4. Deney Sonuçları ve Değerlendirmeler

### 4.1. Harçların Kimyasal Özellikleri

Her grubun karakteristik birer ör-neği üzerinde yapılan ICP ana-lizleri ile, harçların genel kimya-sal yapıları oksit (%) olarak, içe-riklerinde bulunan eser miktar-daki diğer maddeler de element (ppm) olarak tespit edilmiş; so-nuçlar Tablo 1 ve Tablo 2’de gös-terilmiştir.

ICP analizi sonuçları, harçların CaO oranlarının yaklaşık %27-31 arasında değiştiğini ve genel olarak birbirine benzer oranlar-

da kalsit içerdiklerini göstermek-tedir. MgO oranları ise %1,0-1,6 arasındadır. Yüksek kalsiyum içe-riğine karşın az magnezyum içe-riği, bağlayıcının kalsitik bir ki-reç özelliği taşıdığını ifade etmek-tedir. Harçlar, genel olarak yük-sek oranda  $CaCO_3$  içermektedir. Diğer yandan, bağlayıcının  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  bileşiklerini içe-rmesi, puzolanik tepkimenin var-lığına da işaret etmektedir. Ayrıca bu oksit bileşik konsantrasyonları, harçların hidrolik özellikleri hak-kında önemli bilgiler vermekte-

dir. ICP analiz sonuçlarından ha-reketle, harçların hidrolik (HI) ve çimento (CI) indisleri aşağıda ve-rilmiş Boynton formülüne (Böke, vd., 2008) göre hesaplanarak, elde edilen veriler Tablo 1’de gösteril-miştir.

[1]

$$HI = \frac{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3 + \%SiO_2}{\%CaO + \%MgO}$$

[2]

$$CI = \frac{1.1\%Al_2O_3 + 0.7\%Fe_2O_3 + 2.8\%SiO_2}{\%CaO + 1.4\%MgO}$$

Tablo 1. Harçların genel kimyasal kompozisyonları

Harç	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	MnO %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	kk %	TOP %	T/C %	T/S %	HI	CI
A	26,17	6,64	2,55	1,58	31,34	0,64	0,84	0,38	0,12	0,05	0,012	29,5	99,95	7,28	0,09	1,07	11,3
B	32,06	6,76	1,67	1,06	29,98	0,83	0,6	0,19	0,09	0,05	0,003	26,6	99,96	5,68	0,12	1,30	11,5
C	32,74	7,18	2,82	1,44	27,3	1,46	2,15	0,22	0,14	0,06	0,003	24,3	99,97	5,91	0,11	1,49	13,0
D	28,47	5,6	2,07	1,41	30,6	0,54	1,02	0,3	0,08	0,05	0,007	29,7	99,97	7,16	0,19	1,13	10,1

Tablo 2. Harçların iz element içerikleri

Harçlar	Cu ppm	Ba ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Sr ppm	Zr ppm	Ce ppm	Y ppm	Nb ppm	Sc ppm	Ta ppm
A	26	171	66	30	<20	288	90	31	17	<5	7	<20
B	15	114	58	<20	<20	226	51	<30	8	<5	3	<20
C	24	391	39	<20	<20	461	84	<30	11	<5	5	24
D	19	245	43	23	<20	230	98	<30	11	<5	5	19

Harçların elde edilen Hl ve Cl indisleri, genel olarak birbirine yakın olup, bu veriler bağlayıcının hidrolik ve çimentolaşma karakteristiklerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi, indisi yüksek değerler alan bağlayıcının hidrolik özelliği de yüksektir (Banfill ve Forrester, 2000; Callebaut, vd., 2001), bu durum puzolanik özellikleri hakkında da önemli bilgiler vermektedir. Literatürde, puzolanik harçların SiO<sub>2</sub> miktarının yüksek, MgO miktarının ise düşük değerler aldığı ifade edilmektedir (Maravelaki-Kalaitzaki, vd., 2003). Tüm harç örneklerinin SiO<sub>2</sub> minerali bakımından zengin yapıda olmaları, hidrolik ve puzolanik karakter taşıdıklarını göstermektedir. Bu durum, harçlardaki bağlayıcılarda puzolanik reaksiyonun ve dolayısıyla puzolan katkılarının kullanılmasına da işaret etmektedir.

#### 4.2. Suda Çözünabilir Tuzlar ile Protein ve Yağ Analizleri

Literatürde, tarihi kireç harçlarının üretiminde kazein, üre, albümin, yağ gibi çeşitli organik maddelerin katkı olarak kullanıldığı ifade edilmektedir (Davidovits, 1995; Pavia ve Caro, 2008). Bunun için, harçlara sabunlaşabilir yağ, protein gibi organik maddelerin katılıp katılmadığını belirlemek ve içeriklerinde bulunabilecek suda çözünabilir tuzların (klor, sülfat, karbonat ve nitrat tuzları) niteliklerini tespit etmek üzere, spot testlerle kalitatif ve kabaca semi-kantitatif analizler yapılmış; elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

Hemen hemen her örnekte rastlanan klor [Cl<sup>-</sup>] tuzlarının denizden, topraktan ve malzemenin bünyesinden, bazı örneklerde tespit edilen nitrat tuzunun [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] yapının içinde barınan kuşlar ile böcek, vb. canlı organizmaların kalıntılarından, birkaç örnekte az miktarda bulunan sülfat [SO<sub>4</sub><sup>=</sup>] tuzunun ise hava kirliliğinden ileri geldiği düşünülmektedir. Krem-beyaz ve pembemsi renkteki bazı numunelerde tespit edilen protein ise, büyük bir ihtimalle üretimleri sırasında har-

Tablo 3. Örneklerin tuz ve organik madde içerikleri

Grup	Örnekler	Tuz				Organik madde	
		Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Protein	Yağ
A	A1	+++	++	-	-	+	-
	A2	++	±	-	-	-	-
	A3	++	-	±	-	+	-
B	B19	+++	++	+	-	-	-
	B2	++	-	-	-	+	-
	B3	+++	++	++	-	-	-
C	C1	±	+++	-	-	-	-
	C2	++	-	-	-	+	-
	C3	+++	+	-	-	+	-
D	D1	+++	+	-	-	-	-
	D2	+++	±	-	-	+	-
	D3	+++	+	-	-	-	-

Lejand: - = yok, ± = var-yok, + = az var ++ = var +++ = fazla var

cın içerisine eklenmiş olan organik esaslı katkılardan kaynaklanmaktadır. Geleneksel kireç harçlarına, bağlayıcının karbonizasyonunu hızlandırmak amacıyla çeşitli organik maddelerin katıldığı bilinmektedir (Böke, vd., 2004; Sickels, 1981). Yapılan spot testlerde, örneklerin hiçbirinde yağ tespit edilmemiştir.

#### 4.3. Harçların XRD Analizleri

Bağlayıcının kimyasal kompozisyonunu belirleyebilmek için, A ve B grubu harçların agregaları arasındaki kalsit kütlelerinden örnekler alınmıştır. Alınan örnekler 45 mikron elekten geçirildikten sonra, üzerlerinde XRD analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir.

Örneklerin X ışını difraksiyonları, bağlayıcının büyük oranda kalsiyum karbonattan (kalsitten) oluştuğunu ve *kuvars*, *kyanit* ve *vaterit* gibi mineraller içerdiğini göstermektedir. XRD analizinde kuvars piklerinin bulunması, üretim sırasında bağlayıcıya eklenen puzolanik katkılardan kaynaklanmakla birlikte; aynı zamanda kirecin çok zayıf da olsa hidrolitik bir özellik taşıdığını, yani kireç üretiminde kullanılan kireçtaşının az da olsa killi bir karakterde olduğunu da ifade edebilir. Pembemsi renkteki harçta (B1) tespit edilen *kyanit* minerali, harca katılmış olan tuğla tozlarının varlığına işaret etmektedir. Krem/beyaz renkli A grubu harç örneğinde ise (A1), *vaterit* minerali tespit edilmiştir.

Doğada, kalsiyum karbonatın *kalsit*, *aragonit* ve *vaterit* olmak üzere üç değişik kristal fazına rastlanmaktadır (Martinez-Ramirez, vd., 2003). Yapılan çeşitli araştırmalarda, kalkerli sedimanter (Benton, vd., 1963), ile metamorfik taşlarda (McConnel, 1960) ve milli çamurlarda (Friedman ve Schultz, 1994) vaterit minarellerine rastlanabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca, portland çimentosu (Cole ve Krowe, 1959), Kudüs'teki Siolam tünelinin eski tarihi sıvaları (Frumkin, vd., 2003) ve Vatikan'daki Floransa Katedrali'nin mozaik harçları (Signorelli, vd., 1996) gibi çağdaş ve tarihi yapı malzemelerinin bağlayıcılarında da vaterit mineralleri tespit edilmiştir. Bu araştırmada, vaterit mineralinin, mozaik harçlarına eklenen organik katkılardan kaynaklandığı saptanmıştır. Organik kökenli çeşitli katkıların da vaterit oluşumuna neden olabileceği, literatürde de belirtilmektedir. Diğer bir araştırmada da, vateritin stabilitesi üzerinde surfaktanların, polimerlerin ve proteinlerin etkili olduğu gösterilmiştir (Fiori ve Vandini, 2009). Başka bir araştırmada ise, amino asit ve alkollerin de vaterit formasyonunu kolaylaştırdığı tespit edilmiş; bu oluşumda alanin, glisin, lisin, poliglisin, polimetionin ve polisin gibi amino asit grubu organik katkıların etkili olduğu belirtilmiştir (Manoli, vd., 2002).

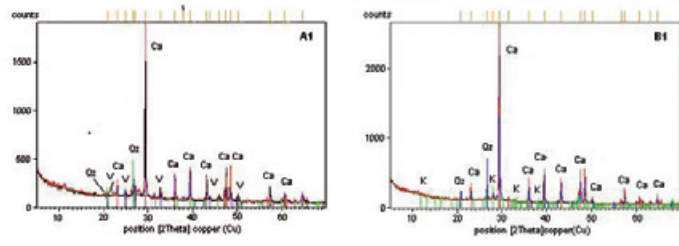
A grubu örneğinin (A1) protein

ve yağ analizi sonucunda proteinin tespit edilmesi ve aynı örneğin XRD analizinde de vaterit mineralinin belirlenmesi, bunun organik bir katkıdan kaynaklanabileceğini göstermektedir. Çünkü, yukarıda da belirtilmiş olan ilgili referanslarda, organik katkıların vaterit formasyonunda önemli bir rol oynadığı ifade edilmekte; dolayısıyla bu, görüşümüzü güçlendirmektedir. Eski horasan harçlarının üretiminde, yumurta akı, kazein, üre gibi çeşitli organik kökenli katkıların kullanıldığı bilinmektedir. Bu, gerek spot analizlerle tespit edilen proteinin gerek de XRD analizinde belirlenen vateritin, harçların hazırlanmasında kullanılan ve protein içeren organik bir katkıdan ileri geldiğine işaret etmektedir.

#### 4.4. Harçların Fiziksel Özellikleri

Numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık, su emme ve porozite gibi temel fiziksel analizlerle elde edilen sonuçlar, Tablo 4'te topluca gösterilmektedir.

Bu testlerin sonucunda, harçların yoğunluklarının 1,50 ile 1,81g/cm<sup>3</sup>, porozite değerlerinin ise %27-37 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu değerlerin genel ortalaması alındığında, harçın birim hacim ağırlığının 1,6g/cm<sup>3</sup> civarında olduğu kabul edilebilir. Ağırlıkça su emme oranları ise %15-24 arasındadır. Tarihi yapılar da kullanılan kireç harçlarının birim ağırlıklarının kullanılan kirecin ve puzolanların tipine göre 1,5-2,1g/cm<sup>3</sup>, porozite oranlarının ise %18-45 arasında değişebileceği, literatürde ifade edilmektedir (Moropolou, vd., 2005). Dolayısıyla harçların su emme kapasiteleri ve poroziteleri, kullanılan malzemelerin kompozisyonuna ve harcın üretim teknolojisine göre çeşitli değerler alabilmektedir. Elde edilen bu değerler, harçların fiziksel özelliklerinin tarihi kireç ve horasan harçlarına ait değerlerden (Güleç, 1992) çok da farklı olmadığını ve benzer niteliklere sahip olduklarını göstermektedir.



Şekil 5. Harç örneklerinin X ışını difraksiyonları ve patern analizleri

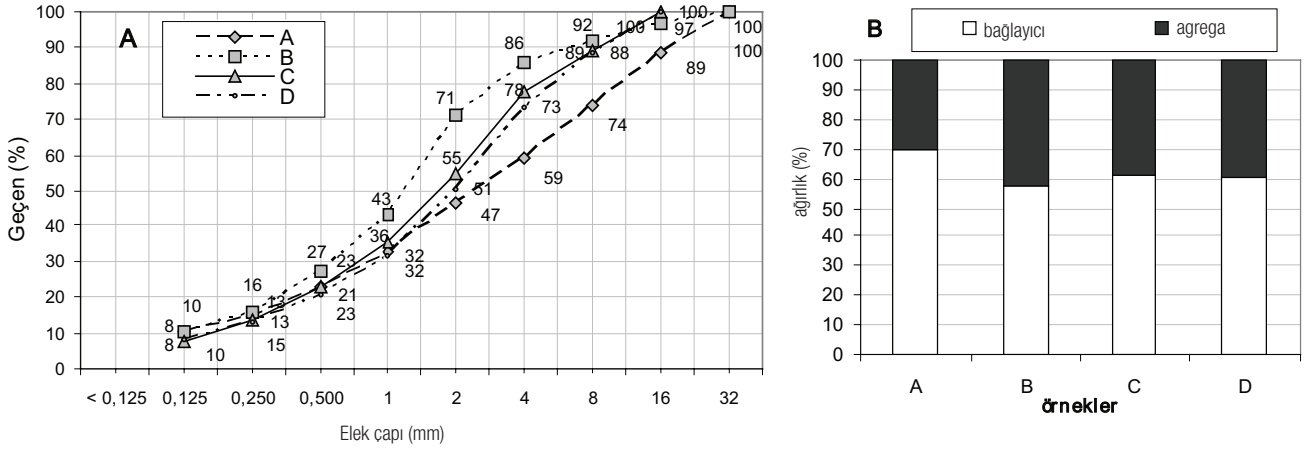
Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem.Formula	
01-083-1762	73	Calcite (Ca)	0,000	0,977	Ca(CO <sub>3</sub> )	A1	
00-024-0030	47	Vaterite (V)	0,000	0,059	CaO <sub>3</sub>		
01-070-3755	37	Quartz (Qz)	0,000	0,190	SiO <sub>2</sub>		
01-072-1937	81	Calcite (Ca)	0,000	0,967	CaCO <sub>3</sub>	B1	
01-070-3755	40	Quartz (Qz)	0,000	0,225	SiO <sub>2</sub>		
01-083-1567	6	Kyanite (K)	0,000	0,073	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>		

Tablo 4. Harçların temel fiziksel ve mekanik özellikleri

Grup	örnekler	Birim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Görünen porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)	Ultrases hızı (km/sn)	Elastik Modülü (kN/mm <sup>2</sup> )	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Yarma dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
A	A1	1,50	36,7	24,4	2,41	9,3	5,5	2,5	2,9
	A2	1,50	36,9	24,5	-	-	-	-	-
	A3	1,70	30,2	17,8	2,48	9,6	6,2	2,4	3,7
B	B1	1,56	33,9	21,7	2,53	10,6	5,3	2,2	3,6
	B2	1,67	31,4	18,8	2,46	10,1	8,5	2,7	3,2
	B3	1,65	29,7	18,0	-	-	-	-	-
C	C1	1,63	32,8	20,2	-	-	-	-	-
	C2	1,81	26,6	14,7	2,69	11,2	7,5	2,8	2,7
	C3	1,58	36,7	23,2	2,33	10,5	6,6	1,9	3,0
D	D1	1,74	26,9	15,4	-	-	-	-	-
	D2	1,56	37,1	23,8	-	-	-	-	-
	D3	1,65	31,7	19,2	2,56	10,9	6,3	2,2	3,3

Tablo 5. Kızdırma kaybı ve asitle muamele analiz sonuçları

Grup	Örnekler	Kızdırma kaybı (%)			Asitle (HCl) muamele (%)	
		105°C	550°C	CaCO <sub>3</sub>	kayıp	kalan
A	A1	5,96	5,37	58,17	68,9	31,1
	A2	1,52	4,11	68,15	87,7	12,3
	A3	2,35	4,69	63,01	68,9	31,6
B	B1	5,19	7,44	44,48	78,7	21,2
	B2	1,24	3,45	48,59	39,4	60,7
	B3	5,26	6,62	42,41	55,1	44,9
C	C1	10,64	7,06	64,3	93,5	6,5
	C2	4,32	3,56	40,42	38,9	61,1
	C3	29,92	5,4	33,9	50,8	49,2
D	D1	7,91	4,16	54,23	53,7	46,3
	D2	6,8	3,2	73,18	75,1	24,9
		7,77	5,0	47,21	52,4	47,6



Şekil 6. [a] Silikatlı agregaların elek analizi [b] Harçların ortalama bağlayıcı/agrega oranları

#### 4.5. Kızdırma Kaybı, Asitle Muamele ve Elek Analizleri

Harç örnekleri üzerinde 105, 550 ve 1050 ( $\pm 5$ )°C'de yapılan kalsinasyon (kızdırma kaybı) analiz sonuçları ile asitle muamele sonucunda reaksiyona girmeyerek parçalanmadan kalmış olan silikatlı agregaların oranları Tablo 5'te; bu agregaların ortalama granülometrik dağılım oranlarını gösteren granülometri grafiği de Şekil 6a'da gösterilmiştir.

Bilindiği gibi, harçlarda sıcaklık aralıklarına göre çeşitli oranlarda ağırlık kayıpları ortaya çıkmaktadır. Bazı örneklerin 105°C'de fazla miktarda kütle kaybına uğramaları, bünyelerindeki fazla nem içeriğini göstermektedir. Bu aralık, fiziksel suyun ayrıştığı bölgeyi ifade etmektedir. 550°C'deki ağırlık kayıpları ise %3,2-7,4 arasındadır. 200°C'den sonra, kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminat hidrat gibi hidrolik ürünlerin kimyasal bağları bünyeyi terk etmektedir (Bakolas, vd., 1995). 200-550°C arasında, bünye suyunun yanında, harçlarda bulunan çeşitli organik katkılar da kaybolmaktadır. Harçların 1050°C'deki kızdırma kaybı oranları %34-77 arasında olup, bu değerler yüksek oranda kalsiyum karbonat içeriğini göstermektedir. Aynı zamanda bu oranlar, harçlarda ayrılan toplam kalsiyum karbonat (kalsit), vaterit ve magnezyum karbonat miktarlarının toplamını ifade etmektedir. Sonuç olarak, harçların kızdırma kaybı değerlerinin yer yer yüksek olması, kireç bağlayıcının yanında içeriklerindeki karbo-

natlı agregaların da fazla olmasının bir göstergesidir.

Asitle muamele sonucunda çözünmeden kalmış olan silikatlı agregaların tane dağılım oranları ise Şekil 6a'da gösterilmiştir. Harçlarda her tane grubu agregaya rastlanabilmektedir ve granülometri eğrileri hemen hemen birbirine benzer niteliktedir. Tüm örneklerin 1mm'nin altındaki tane dağılım oranları genel olarak birbirine yakın olup, iri agrega bölümlerini oluşturan tanelerin karışım oranlarında ise farklılıklar görülmektedir. Özellikle [B] ve [C] grubu örneklerin tane dağılım oranları, birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. Sonuçta bu oranların, Hisar harçlarında kullanılan agregaların en genel tane dağılımını ifade ettiği ileri sürülebilir.

Bazı harç örneklerinin agregalarında çeşitli kavkılara ve deniz canlılarının kabuklarına da rastlanması, bunların deniz kaynaklı ve muhtemelen Göksu Deresi'nin denize döküldüğü kısımlardan elde edilmiş olduklarını düşündürmektedir. Agregasyon oranlarında ve türlerinde görülen küçük çaplı değişimler, harcın üretimi sırasında kullanılan kaynakların çok farklı olmadığını, bununla birlikte tek bir kaynağa da bağlı kalınmadığını göstermektedir.

Her grubun ortalama bağlayıcı/agrega oranları ise Şekil 6b'de verilmiştir. %5-15 oranındaki asitle çözünen karbonatlı taneciklerin varlığı da dikkate alındığında, harçlardaki bağlayıcı oranının ağırlıkça %30-40 arasında olduğu ve bağlayıcı/agrega oranının 1:2,5 ile 1:3

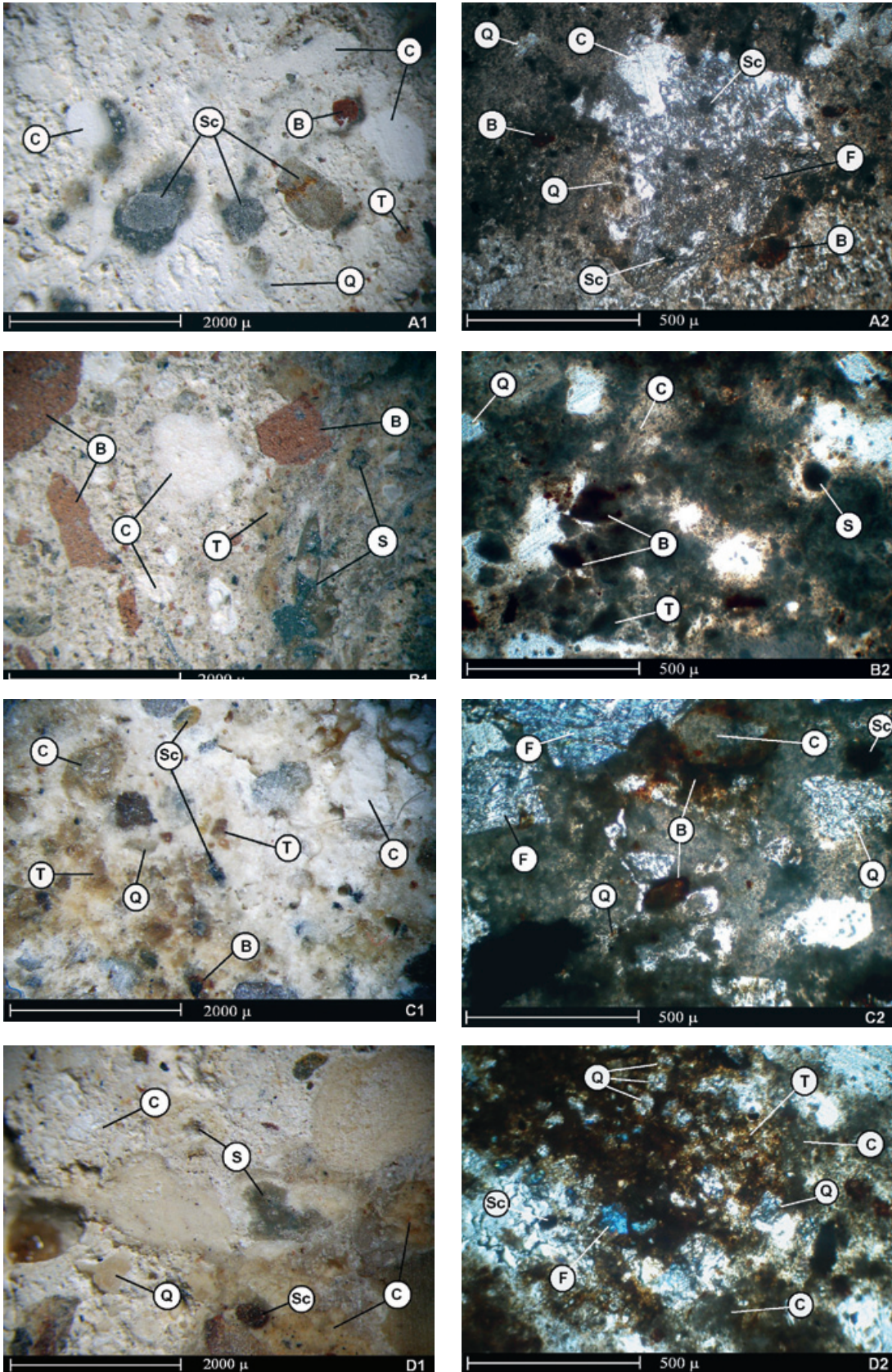
arasında değiştiği söylenebilir. Genel olarak, tarihi yapılarda kullanılan harçlarda kireç/agrega oranlarının 1:1 ile 1:4 arasında değişiklik gösterebildiği, doğal puzolan katkılı bazı Bizans harçlarında ise, bu oranın 1:5'e kadar çıkabildiği literatürde de ifade edilmektedir (Moropoulou, vd., 2005).

#### 4.6. Harçların Petrografik Analizleri

Örneklerin epoksiye gömülerek hazırlanan ince kesitleri soif stereo mikroskop (tek nikol) ve soif polarizan mikroskop (çift nikol) altında incelenerek, dokuları ve mineral içerikleri ile bunların genel oranları tespit edilmiştir. Her grubun karakteristik özelliklerini yansıtan birer örneğinin petrografik analiz sonuçları şu şekildedir;

**A.** Krem rengindeki bu grup harçlarının 2mm boyuta kadar olan agregalarının %5-10'u sistik parçacık, %5-10'u kuvars, %35-40'ı kalsit, %5-10 kadarı ise toz boyutlu tuğla kırığı parçacıklarından oluşmaktadır. Bağlayıcı alanı %35 kadar olan örneğin agrega/bağlayıcı fazı iyi olup, bağlayıcısı sağlam bir yapıdadır (Şekil 7; A1, A2).

**B.** Pembemsi renkteki örneğin 10-15mm boyutlu tuğla çakılı harcında 3mm boyuta kadar olan agregalarının azı siyah cüruf parçacığı, %10 kadarı tufik parçacık, %15-20'si tuğla kırığı ve çoğunluğu toz boyutlu olmak üzere %10-15 kadarı karbonatlı parçacıktır. İri agregaların haricindeki bağlayıcı alanı %30 civarında olan örneğin bağlayıcı/agrega ve bağlayıcı/bağlayıcı fazları da



Şekil 7. A, B, C ve D grubu örneklerin genel dokuları ve mineral içerikleri (B= tuğla parçacıkları, Sc= şistik parçacıklar, Q= kuvars, C= kalsit, T= tüfik parçacıklar, S= cüruf, F= feldspat) (A1, B1, C1, D1: tek nikol, soif stereo mikroskop; A2, B2, C2, D2: çift nikol, polarizan mikroskop görüntüleri)

sağlamdır (Şekil 7; B1, B2)

**C.** Krem/beyaz renkteki örneğin, 9-20mm boyutlarındaki şist haricindeki bağlayıcı alanı %40 kadar olup, agregalarının %15 kadarı kalsit ve karbonatlı tanecikler, %5-8 kadarı

feldspat, az miktarı şistik parçacık ve %3-5'i kuvars ve tuğla kırığıdır. Agrega/bağlayıcı fazı ise nispeten iyidir (Şekil 7; C1, C2). Polarizan mikroskopta tespit edilen feldspatlar, tüfik katkılardan gelmektedir.

**D.** Krem/beyaz renkteki örneğin 4mm boyuta kadar olan agregalarının az miktarı siyah cüruf, %10 kadarı şistik parçacıklar, %5-10 kadarı karbonatlı ve %3-5 kadarı tüfik parçacık olup, geri kalanı kuvarştır.



Bağlayıcı alanı %30 kadar olan örneğin bağlayıcı/agrega fazı iyi olup, agregasız bağlayıcı kısımları biraz zayıftır (Şekil 7; D1, D2). Örneğin dokusunda yer yer kapalı ve uzunlamasına boşlukları mevcuttur.

Genel olarak tüm örneklerde, iri boyutlu çeşitli taş ve tuğla kırıklarına da rastlanabilmektedir. Petrografik analizlerle, agregaların yaklaşık %25-30 kadarının karbonatlı taşlardan, %5-10 kadarının tuğla kırığı ile tozlarından, %15-30 kadarının da kum ve tufik karakterdeki parçacıklardan oluştuğu tespit edilmiştir. Örneklerde tuğla kırığı kökenli feldspat minerallerinin yanında, çeşitli oranlarda siyah cüruf, kuvars, kalsit ve şistik parçalara da rastlanmaktadır. Kalsit, kirecin karbonatlaşması sonucu oluşmuş mineraldir. Kuvars ise, kullanılan puzolanik tuğla kırığı ve tozlarında ya da diğer puzolanik katkılarda bulunan minerallerden ileri gelmektedir. Kullanılan bağlayıcının hidrolik kireç olmamasına rağmen, harçlar hidrolik bir karakter taşımaktadır; harcın, bu özelliğini doğal ve yapay puzolanik malzeme olan tuğla tozları ile şistik ve tufik parçacıklar sayesinde kazandığı düşünülmektedir. Nitekim bir araştırmada, hidrolik olmayan kireçle üretilmiş tarihi Roma harcına tespit edilmiş

olan seramik ve tuf parçacıklarının harçlara hidrolik özellik kazandırdığı, yapılan analizlerle belirlenmiştir (Pavia ve Caro, 2007).

Harç örneklerinin dokuları stereo ve polarizan mikroskop altında incelendiğinde, kireç ile yukarıda belirtilmiş çeşitli boyutlardaki agregaların birbirlerine yer yer çok iyi bağlandıkları görülmektedir. Bu durum, üretim sırasında bağlayıcı ile agregaların çok iyi karıştırıldıklarını, böylece bağlayıcının agregalarla adezyonunun çok iyi sağlandığını, dolayısıyla agrega boy dağılımının uygun olduğunu ve agregalar arasında geniş ve zayıf bağlayıcı faz kalmadığını göstermektedir.

#### 4.7. Harçların mekanik özellikleri

Mekanik deneylerin öncesinde, prizma şekilli örneklerin ultrases hızları ölçülerek dinamik elastik modülleri belirlenmiş ve bu değerlerin 9,3-11,2 kN/mm<sup>2</sup> arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ultrases hızları ise 2,3 ile 2,7km/sn arasında ölçülmüştür. Mekanik deneyler sonucunda, basınç dayanımlarının 5,3-8,5N/mm<sup>2</sup>, eğilme dayanımlarının ise 1,9-2,8 N/mm<sup>2</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 4). Bu değerler, bazı tarihi yapılar-

da kullanılan puzolanik harçların mekanik özelliklerine benzer niteliktedir (Degryse, vd., 2007; Papianni ve Stefanidou, 1997). Basınç dayanımı değerlerinin, genel olarak kireç harçlarında 0,5-2,0N/mm<sup>2</sup>, hidrolik kireçle üretilmiş harçlarda ise 2,0-15N/mm<sup>2</sup> arasında (Lawrence, 2006; Stewart, vd., 2001; Valek ve Veiga, 2005) olduğu göz önüne alındığında; Hisar harçlarının, hidrolik kireçlerle üretilmiş harçların mekanik özelliklerine yakın değerler taşıdıkları söylenebilir. Tarihi yapılarda kullanılan harçların mekanik özellikleri, dönemin üretim teknolojileri ve karışıma giren malzemelerin kompozisyonuna göre değişik değerler alabilmektedir (Moropoulou, vd., 2005). Bağlayıcı kirecin özelliklerinin yanında, agrega tipinin, granülometrik dağılımının ve özellikle kullanılan puzolanik katkıların da burada etkili olduğu kuşkusuzdur. Harçlarda gözlemlenen agrega boy dağılım oranlarının uygun olması da, mekanik özellikler üzerinde etkili olmuştur. Bu değerler göz önüne alındığında, günümüzde bazı ayrışmalara uğramakla birlikte, Hisar'ın özgün harçlarının mekanik açıdan yer yer üstün özelliklere sahip oldukları ve uygun tekniklerle üretiltikleri anlaşılmaktadır.

## 5. Sonuç

Yapılan bu deneysel çalışma sonucunda, genel olarak Hisar'ın inşasında kullanılan özgün harçların, düşük yoğunluğa sahip malzemeler olmalarına karşın günümüzde mekanik özellikler açısından hala iyi durumda oldukları söylenebilir. Kullanılan bağlayıcı %30-40 oranında hava kirecidir; bununla birlikte, harçlar hidrolik özelliğe sahiptirler. Pembe renkli harçlarda, bu özellik puzolanik karakterdeki tuğla kırıkları ve tozları sayesinde sağlanmıştır. Krem-beyaz renkli harçlar ise, daha çok doğal şistik ve

tufik parçacıklar sayesinde bu özelliği kazanmışlardır. Ayrıca, bu grubun bazı örneklerinde spot testlerle tespit edilen protein, harcın özelliklerini iyileştirmek amacıyla ilave edilmiş olan kazein, albümin gibi organik katkılardan kaynaklanmaktadır. Bu gruba ait bir örneğin XRD analizinde tespit edilen vaterit oluşumunun da, bu organik katkıdan ileri geldiği anlaşılmaktadır.

Günümüzde çeşitli nedenlerle, özellikle son dönem onarımlarında kullanılmış olan malzemeler nedeniyle bozulmaya uğramış bölgelerde,

bakım ve onarım gereği de kendisini hissettirmektedir. Özellikle kulelerin iç yüzeylerindeki tuğla ve taş örgüler ile kara tarafındaki duvarların örgü harçlarında ortaya çıkan ayrışmalar dikkati çekmektedir. Bununla birlikte, yeni restorasyon harçlarının eski malzemelerle ve mimari yüzeyle fiziko-kimyasal, mekanik ve estetik bakımdan gerekli uyumu sağlaması gerekeceği için; yapılan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar, gelecekte üretilen onarım malzemelerinin sahip olması gereken özellikler için bir referans oluşturabilecektir.

## REFERANSLAR

- 1- Bakolas, A., Biscontin, G., Contardi, V., Franceschi, E., Moropoulou, A., Palazzi, D., 1995, "Thermoanalytical research on traditional mortars in Venice", *Thermochimica Acta*, 269 (270), Elsevier, pp.817-828.
- 2- Banfill, P.F.G., Forrester, A.M., 2000, "A relationship between hydraulicity and permeability of hydraulic lime", *Proceedings of the International RILEM Workshop "Historic Mortars: Characteristics and Tests"*, Paisley, pp.173-183.
- 3- Benton, Y.K., Gross, S., Heller, L., 1963, "Some unusual minerals from the 'mottled zone' complex", *Israel. Am. Miner.*, 48, pp.924-930.
- 4- Böke, H., Akkurt, S., İpekoglu, B., 2004, "Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcının Özellikleri", *Yapı Dergisi*, No: 269, İstanbul.
- 5- Böke, H., Çizer, Ö., İpekoglu, B., Uğurlu, E., Şerifaki, K., Toprak, G., 2008, "Characteristics of lime produced from limestone containing diatoms", *Construction and Building Materials*, 22, Elsevier, pp.866-874.
- 6- Callebaut, K., Elsen, J., Van Balen, K., Viaene, W., 2001, "Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium), Natural hydraulic lime or cement?", *Cement and Concrete Research*, 31, Pergamon, pp.397-403.
- 7- Cole, W.F., Kroone, B., 1959, "Carbonate minerals in hydrated portland cement", *Nature*, 184, p.57.
- 8- Davidovits, E., 1995, "Les Mortiers de pouzzolanes artificielles chez Vitruve evolution et historique architecturale", *These de D.E.A Les Cultures de L'Antiquite Classique (1992-93)*, Universite Paris X-Nanterre, France.
- 9- Degryse, P., Elsen, J., Waelkens, M., 2002, "Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation", *Cement and Concrete Research*, 32, Pergamon, pp.1457-1463.
- 10- EN 1936, 2006, *Natural Stone Test Methods- Determination of Real Density and Apparent Density, and of Total and Open Porosity*, Brussels.
- 11- Eyice, S., 1978, "Anadolu Hisari", *İslam Ansiklopedisi*, I.Cilt, MEB, İstanbul, s.253.
- 12- Eyice, S., 1993, "Anadolu Hisari", *İstanbul Ansiklopedisi*, I.Cilt, İstanbul.
- 13- Fiori, C., Vandini, M., 2009, "Vaterite in the mortars of a mosaic in the Saint Peter Basilica, Vatican (Rome)", *Journal of Cultural Heritage*, 10, Elsevier, pp.248-257.
- 14- Friedman, G.M., Schultz, D.J., 1994, "Precipitation of vaterite (CaCO<sub>3</sub>) during oil-field drilling", *Miner. Mag.*, 58, pp.401-408.
- 15- Frumkin, A., Shimron, A., Rosembaum, J., 2003, "Radiometric dating of the Siloam Tunnel, Jerusalem", *Nature*, 425, pp.169-171.
- 16- Gabriel, A., 1941, *İstanbul Türk Kaleleri*, (Çev.: Alp Ilgaz), Tercüman 1001 Temel Eser, İstanbul.
- 17- Güleç, A., 1992, *Bazı Tarihi Ant Harç ve Sıvalarının İncelenmesi*, (Characterization of Mortars and Plasters of Some Historic Monuments, Ph.D. Thesis, Turkish), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, İstanbul.
- 18- Kuban, D., 2007, *Osmanlı Mimarisi*, YEM Yayınları, No:134, İstanbul.
- 19- Lawrence, R.M.M., 2006, *A Study of Carbonation in Non-Hydraulic Lime Mortars*, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Engineering and Design Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, October 2006, UK.
- 20- Manoli, F., Kanakis, J., Malkaj, P., Dalas, E., 2002, "The effect of aminoacids on the crystal growth of calcium carbonate", *Journal of Crystal Growth*, 236, pp.363-370.
- 21- Maravelaki-Kalaitzaki, P., Bakolas, A., Moropoulou, A., 2003, "Physico-chemical study of Cretan ancient mortars", *Cement and Concrete Research*, 33, Pergamon, pp.651-661.
- 22- Martinez-Ramireza, S., Sanchez-Cortesa, S., Garcia-Ramosa, J.V., Domingoa, C., Fortesb, C., Blanco-Varela, M.T., 2003, "Micro-Raman spectroscopy applied to depth profiles of carbonates formed in lime mortar", *Cement and Concrete Research*, 33, Pergamon, pp.2063-2068.

- 23- McConnel, J.D.C., 1960, "Vaterite from Ballycraigy, Larne, Northern Ireland", *Miner. Mag.*, 32, pp.534-544.
- 24- Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S., 2005, "Composite Materials in Ancient Structures", *Cement and Concrete Composites*, 27, Elsevier, pp.295-300.
- 25- Papayianni, I., Stefanidou, M., 1997, "Repair mortars suitable for interventions of Ottoman Buildings", (Ed.: G.Özsen), *Proceedings of Conference on Studies in Ancient Structures*, Yıldız Technical University, İstanbul, pp.255-263.
- 26- Pavia, S., Caro, S., 2008, "An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archeological material", *Construction and Building Materials*, 22, Elsevier, pp.1807-1811.
- 27- Pekin, F., Yılmaz, H.F., 2008, *Türkiye'nin Kültür Mirası 100 Kale*, NTV yay., 24-25, İstanbul.
- 28- Sickels, L.B., 1981, "Organics and Synthetics: Their Use as Additives in Mortars", *Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings*, Rome, pp.25-52.
- 29- Signorelli, S., Peroni, C., Camaiti, M., Fratini, F., 1996, "The presence of vaterite in bonding mortars of marble inlays from Florence Cathedral", *Miner. Mag.*, 60, pp.663-665.
- 30- Stewart, J., Glover, R., Houston, J., Seeley, N., Proudfoot, T., 2001, "Field and laboratory assessment of lime-based mortars", *Journal of Architectural Conservation*, 7 (1), Donhead, pp.7-41.
- 31- TS EN 1015-11, October 2000, *Methods of Test Mortar for Masonry- Part 11: Determination of Compressive and Flexure Strength of Hardened Mortars*, TSE, Ankara.
- 32- TS EN 12390-6, April 2002, *Testing Hardened Concrete- Part 6: Tensile Splitting Strength for Test Specimens*. TSE, Ankara.
- 33- TS EN 13755, January 2003, *Natural Stone Test Methods- Determination of Water Absorption at Atmospheric Pressure*, TSE, Ankara.
- 34- TS EN 14579, October 2006, *Natural Stone Test Methods - Determination of Sound Speed Propagation*, TSE, Ankara.
- 35- Valek, J., Veiga, R., 2005, "Characterisation of mechanical properties of historic mortars: testing of irregular samples", *International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture*, No.9, MALTE 2005, Vol.83, Malta, pp.365-374.