

THE EXPERIMENTAL STUDIES OF THE REPARATION MORTAR'S PRODUCTION FOR THE RESTORATION OF ANEMAS DUNGEONS

SUMMARY

In this study, the experimental works conducted for the purpose of the production of repair mortars designed by using traditional materials in the restoration of Anemas Dungeons located in Haliç-Ayvansaray region of the land walls of Istanbul are presented. First of all, the characterization works on the original mortar and plaster samples were conducted, then, according to test results (considering the material type and ratio of binder and aggregate), the repair mortar samples were prepared in the laboratory. By this purpose, firstly, the experimental works were conducted on the puzzolan material which was used in the production of repair mortars, after that, by using this puzzolan material, the repair mortars which have similar properties with original khorasan mortars were prepared in the lab. The physical, mechanical and micro structure properties of the repair mortars produced in the lab were determined. And then, these mortars were applied on the specific wall of the Anemas Dungeons.

After 1 year, the samples were taken from this wall and the physical and micro structure property tests were conducted. The test results of the repair mortars prepared in the lab and the site were compared. The durability performances of repair mortars were evaluated.

In the end of the evaluation, it was determined that the repair mortars performed similar properties like color, structure and durability with the original mortars.

Anemas Zindanları'nın Restorasyonunda Kullanılacak Onarım Harcının Üretimi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar

Prof. Dr. EROL GÜRDAL*
Aras. Gör. Dr. SEDEN A. ÖZGÜNLER**
Y. Mimar GÜLÇİN KAHRAMAN***

1. Giriş

İstanbul Surları'nın Ayvansaray, Haliç mevkiinde bulunan Anemas Zindanlarının 12.yy başlarına ait bir yapı olduğu literatürde belirtilmektedir. Anemas Zindanı olarak adlandırılan mahzenler, İstanbul'un kara tarafı surlarının bitişiğinde, Egrikapı yakınında bulunmaktadır. Mahzenler, İvaz Efendi Camii'nin bulunduğu burçtan başlayarak Haliç'e doğru inmektedir. Anemas Zindanları'nın, Blacherna Sarayı'nun da komşusu olduğu belirtilmektedir.

Literatürde de belirttiği gibi, Anemas Zindanları tarih boyunca çok müdahaleler geçirmiştir. Bunun sonucu olarak, yapıda Erken ve Orta Bizans ile Osmanlı dönemi-

ne ait farklı tiplerde harç ve sıva örnekleri tespit edilmiştir. Anemas Zindanları'ndan alınan 40 adet derz ve sıva harcı örneklerinde, daha önceden yapılan karakterizasyon çalışmalarını sonucunda, hepsinin kireç bağlayıcılı horasan harçları olduğu görülmüştür. Bunlardan 12 adedi sıva harcı, 7 adedi kemer ve tonozlardaki derz harcı, 18'i duvar derz örgü harcı olup; 1'i, taş-taş arası, 1'i de tuğla-tuğla arası derz örgü harcı, 1 adedi de sarnıçtaki zemin harcıdır. Alınan örneklerin 6 adedi erken dönem Blacherna Sarayı 11. yy başından, 5 adedi 2. Dönem Orta (Medieval) Bizans 12. yy, 10 adedi 3. Dönem Isaac Angelus Kulesi 13. yy, 2 adedi 4.dönem Anemas Kulesi 13. yy sonundan, 2 adedi 5. Dönem Paleologlar Dönemi 15.yy'dan, 6 adedi 6. Dönem Osmanlı dönemi ve 8 adedi Bizans dönemi sıvalarından oluşmaktadır. Harçların bileşimi

ve karakteri, dönemine ve uygulandığı yere göre, sıva veya derz harcı durumuna göre az çok farklılıklar göstermektedir.

Fiziksel özellikler bakımından harçların çoğu birbirine benzemektedir. Su emme oranları % 38-44 arasında değişmekte, sıkışmış ve ezilmiş olanlarda ise % 18'e kadar düşmektedir. Boşluk oranları % 40 ile % 49 arasında değişmektedir. Özgül kütlelerin 2,40-2,55 g/cm³ arasında olması, bütün harçlarda aynı tür malzeme kullanıldığını, bunların da kireç, tuğla tozu ve tuğla kırığı olduğunu göstermektedir. Özgün harç ve sıva örneklerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilerek, yapının restorasyonunda kullanılacak horasan harçlarının yerel malzemeler ile üretimi için yapılan deneysel çalışmalar, aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar, ilk olarak hidrolik harç elde etmek için kullanılacak puzolan malzemesinin araştırılması için yapılmıştır. Bunlar; kızdırma kaybı, XRF yöntemi ile kimyasal analiz XRD ve TS 25 standardına uygun olarak puzolanik aktivite deneyleridir. Puzolan kullanılarak yapılan onarım harcı üretimi için deneme dökümleri yapılmıştır. Üretilen onarım harcı numunelerinde; fiziksel, mekanik ve iç yapı özelliklerinin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Onarım harcı numunelerinde fiziksel özellik olarak; su emme, birim hacim kütle, özgül kütle ve porozite, mekanik özellik olarak; basınç ve eğilme dayanımı, iç yapı özellikle-

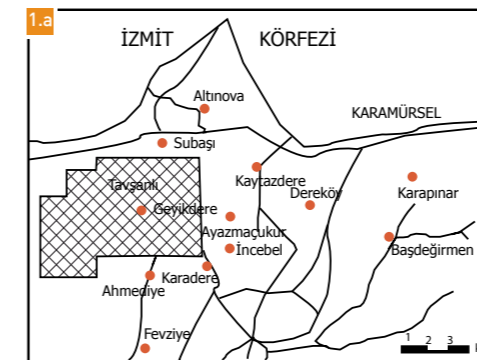
ri olarak; ince kesit üzerinde petrografik analiz, XRD, SEM-EDS ve TGA analizleri yapılmıştır. Şantiye ortamında uygulaması yapılan duvardan alınan onarım harcı örneğinde ise, asit kaybı, kızdırma kaybı, elek analizi, fiziksel özellikler, ince kesitte petrografik analiz ve SEM-EDS analizleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

2.1. Puzolan Araştırması

Ülkemiz doğal puzolan olan volkanik tüf türü taşların bulunması açısından çok zengindir. Büyük rezervlere sahip bu doğal puzolanların kireç harçlarında kullanımı, hem gelecekte malzemenin kullanımı, hem de ülke ekonomisi açısından faydalı

görülmektedir. Bu amaçla, tarihi tuf ocaklarının da yoğun olarak bulunması sebebiyle, İstanbul'a yakın bir yer olan Yalova-Karamürsel bölgesi, bu bölgeden alınan bazı tuf örneklerinde puzolanik aktivite çalışmalarını yapılmıştır. Özellikle Kaytazdere beldesinde bulunan tuf ocağından alınan, açık renkli, asit karakterli tuf örneğinin sonuçları başarılı bulunmuştur.

Bu bölgede yapılan araştırmalar sonucu, bu tüflerde bol miktarda höylandit-klinoptilolit türü zeolitler olduğu; bu nedenle de puzolanik aktiviteye sahip oldukları çeşitli bilimsel yayınlarda belirtilmektedir. (Esenli, 1993).



Sekil 1. a.) Karamürsel bölgesinin haritası, (Uz, vd., 1995), b.) Karamürsel bölgesindeki Kaytazdere'deki taş ocağı

2.1.1. Puzolanik Malzemenin Analiz Sonuçları

Bu puzolan örneğinde, XRF yöntemi ile kimyasal analiz, kızdırma kaybı ve X-ışını analizleri yapılmıştır. Sonuçları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.



Sekil 2. a.b.c. Kaytazdere'de bulunan doğal puzolan kaynaklarının fotoğrafları

Tablo 1. Puzolanik malzemenin kimyasal analiz sonucu (TÜBİTAK)

Örnek	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	MnO %	P ₂ O ₅ %	K.K. %	Toplam
BT	61,234	16,762	3,425	0,560	15,972	1,293	3,161	1,082	-	-	6,510	100,000

*İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla-Taksim. e-mail: gurdale@itu.edu.tr

** İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla-Taksim. e-mail: acunsed@itu.edu.tr

***e-mail: gulcinkah@hotmail.com.tr

TS 25'e göre, puzolan maddenin sahip olması gereken kimyasal özellikleri ;

$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = \text{en az } \% 70,$
 $MgO = \text{en çok } \% 5,$
 $SO_3 = \text{en çok } \% 3,0 \text{ olmalıdır.}$

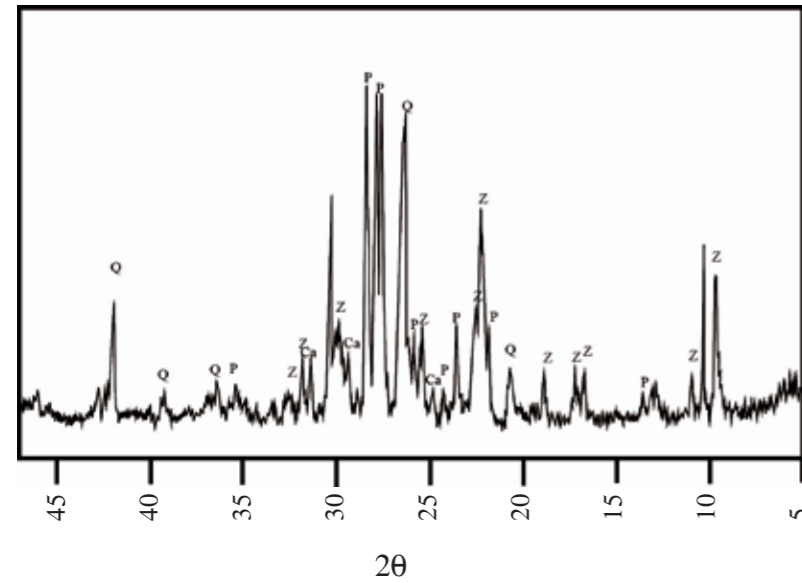
Tablo 1'de görüldüğü gibi Kaytazdere puzolanı;

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi Kaytazdere puzolanı;
 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = \% 81,42$
 $MgO = \% 1,3$
 $SO_3 = 0$

Tablo 2. Puzolanik malzemenin kızdırma kaybı analizi sonucu

Örnek	500°C kayıp %	1000°C kayıp %
BT	2,69	3,76

TS 25'e göre; "puzolanın kızdırma kaybı en çok % 5 olmalıdır" denilmektedir. Tablo 2'de görüldüğü gibi bu puzolanı % 3,7 bulunmuştur.



Şekil 3. Kullanılan doğal puzolanın XRD grafiği, (İ.Ü. X-ışını Laboratuvarı)
P: Plajiyoklas, Q: Kuvars,
Z: Zeolit, Ca: Kalsit
P>Q>Z>Ca

2.1.2. Puzolanik Aktivite Deneyi

Puzolanik aktivite deneyleri, TS 25 Tras standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kireç, La Farge firmasından sönmüş olarak alınmış; laboratuvar ortamında söndürülüp; su oranı he-

saplanarak katılma miktarları belirlenmiştir.

Puzolan özgül ağırlığı=2,50 g/cm³ ortalama olarak bulunmuştur.

Puzolan 125µ eleklerden elenmiş olarak kullanılmıştır.

Bu karışımlardan 3'er adet 4x4x16 cm'lik numuneler dökül-

müştür. Bu numuneler, polietilen torba içinde, hava almayacak ancak %100 nemli ortamda; 60°C'lik etüvde, 1 hafta boyunca bekletilmiş; 1 hafta sonunda etüvden çıkarılmış, 4 saat ortamda bırakıldıktan sonra eğilme ve basınç testleri yapılmıştır. Aşağıda bu sonuçlar verilmektedir:

TS 25'e göre oranlar:

Sönmüş Kireç = 150 g (susuz)

Puzolan = 2x 150 x Puzolan Özgül Kütlesi.
Kirecin Özgül Kütlesi

Standart Kum = 1350 g.

Su = 0.5 x (150 + Puzolan)

Tablo 3. Puzolan karışımı numunelerin eğilme ve basınç deneyi sonuçları

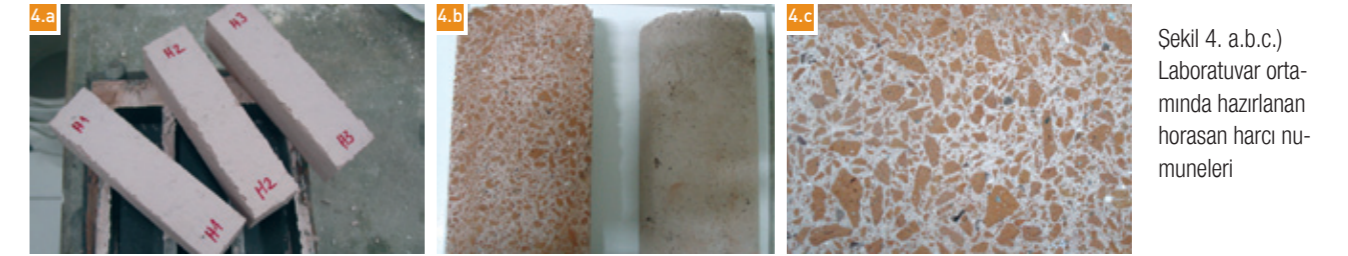
Numune	a (mm)	b (mm)	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Yüğü 1 (N)	Basınç Yüğü 2 (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
BT1	41,07	39,86	1100	2,53	20000	21000	12,52
BT2	41,25	39,79	1150	2,64	22000	22000	13,4
BT3	41,38	39,77	1300	2,98	22000	22000	13,4

TS 25 standardına göre, bir malzemenin puzolanik özellik taşıyıp taşımadığını anlamak için gereken minimum değerler aşağıda

gösterilmiştir:

Eğilme dayanımı= 1 N/mm²
Basınç dayanımı= 4 MPa
Buna göre, Kaytazdere'den çı-

kan malzeme ile yapılan karışımların değerleri karşılaştırıldığında bu malzemenin puzolanik özelliğinin oldukça iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 4. a.b.c.) Laboratuvar ortamında hazırlanan horasan harcı numuneleri

2.2. Onarım Harcı Denemeleri ve Öneriler

Kaytazdere'den getirilen malzemenin, puzolanik aktivite değerlerinin uygun bulunmasından sonra, horasan harcı içindeki davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla, Anemas Zindanları'ndan alınan örneklerin kireç, tuğla tozu ve kırığı oranlarına uygun olarak, kireç ile tepkimeye girecek miktarlarda puzolan katkı-

sı katılarak harç numuneleri hazırlanmış, bir haftalık kürlenme sonunda ortalama 10 MPa (100 kgf/cm²) basınç dayanımı bulunmuştur. Aynı karışımdan 4mm ve 8mm altı tuğla kırığı agregalı olmak üzere hazırlanan numuneler, üretimden sonra 1 ay nemli ortamda bekletilmiştir. Bu süre içinde, harcın dağılmadığı ve dayanımının 14 MPa'ya yükseldiği görülmüştür.

2.2.1. Üretilen Onarım Harçlarının Mekanik Özellikleri

Onarım harcı olarak hazırlanan numunelerin farklı kürlenme koşullarında zamana bağlı olarak mekanik özelliklerindeki değişimi araştırmak için eğilme ve basınç deneyleri yapılmış, deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deneylerin sonuçları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir:

Tablo 4. Onarım için kullanılacak horasan harcı karışım oranlarına göre, üretilen numunelerin 1 hafta sonundaki mekanik özellikleri (*)

Numune	Boyutlar (mm)	Eğilme Kuvveti (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Kuvveti 1. Parça (N)	Basınç Kuvveti 2. Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
H1	42,97/39,87/160	1400	3,1	18000	18000	10,5
H2	42,68/39,87/160	1300	2,9	17000	17000	10,0
H3	42,06/39,90/160	1150	2,6	17000	17000	10,0

(*) 1 hafta boyunca 60°C'de ve kısmi nemli ortamda bekletildikten sonra yapılan eğilme ve basınç dayanımı test sonuçlarıdır.

Ortalama Eğilme Çekme Dayanımı =2,9 N/mm²

Ortalama Basınç Dayanımı = 10 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 5. a. b. c.) Onarım harcı numunelerinin mekanik özellik deney resimleri

Tablo 5. Onarım için kullanılacak horasan harcı karışım oranlarına göre, üretilen numunelerin 1 ay suda bekletildikten sonraki ortalama mekanik özellikleri

Numune	Boyutlar (mm)	Eğilme Kuvveti (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Kuvveti 1. Parça (N)	Basınç Kuvveti 2. Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
1H	40/40/160	800	1,8	22000	22000	13,75

Tablo 6. Onarım harcı numunelerinin 2 ay nemli ortamda bekletildikten sonraki ortalama mekanik özellikleri

Numune	Boyutlar (mm)	Eğilme Kuvveti (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Kuvveti 1. Parça (N)	Basınç Kuvveti 2. Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
2H	40/40/160	900	2,1	18000	18500	11,75

Tablo 7. Onarım harcı numunelerinin 3 ay nemli ortamda bekletildikten sonraki ortalama mekanik özellikleri

Numune	Boyutlar (mm)	Eğilme Kuvveti (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Kuvveti 1. Parça (N)	Basınç Kuvveti 2. Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
3H	41/40/150	910	2,13	21000	21000	12,8

Kaytazdere kaynaklı malzemenin, standartta belirtilen inceliğe kadar öğütülüp (TS 25), kireç ile yapılan harçlarda kullanılması durumunda; kalsiyumlu sulu silikatlar yaparak bağlandığı ve bu reaksiyonlar sonucunda yeterli mekanik dayanım kazandığı, kireç

harçlarında görülen zayıf mukavemet ve su teması ile çözülme durumu göstermediği sonucuna ulaşılmıştır.

2.2.2. Üretilen Onarım Harçlarının Fiziksel Özellikleri
Üretilen onarım harcı numunele-

rinde; TS 699 standardına uygun olarak yapılan fiziksel özellik deneyleri sonucunda; su emme oranı, birim hacim kütle, özgül kütle ve porozite değerleri bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir:

Tablo 8. Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcının fiziksel özellikleri

Su Emme Oranı (Kütlece,%)	Su Emme Oranı (Hacimce,%)	Birim Hacim Kütle (g/cm ³)	Özgül Kütle (g/cm ³)	Porozite (%)
29	43,79	1,51	2,55	41

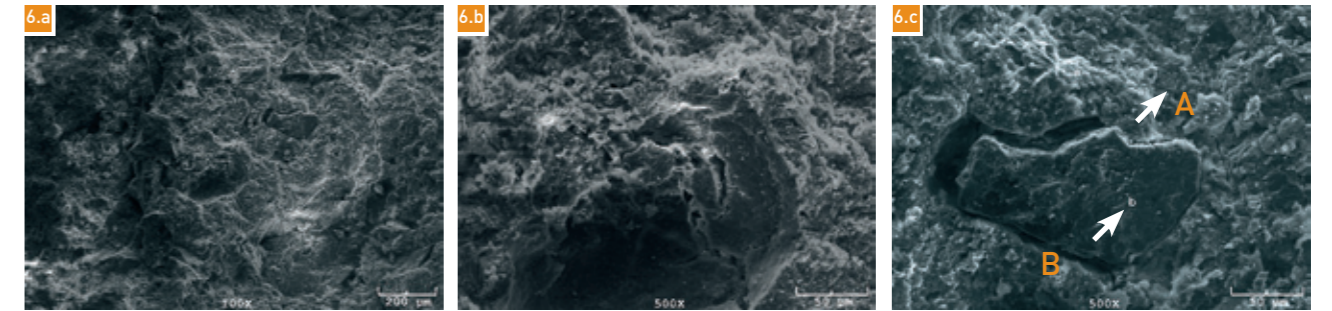
Özgün harçlarda da su emme oranları: ~ % 20 – 40, porozite değerleri % 38 – 57 arasındadır. Onarım harcı da bu özelliklere uymaktadır.

2.2.3. Üretilen Onarım Harçlarının İç Yapı Özellikleri

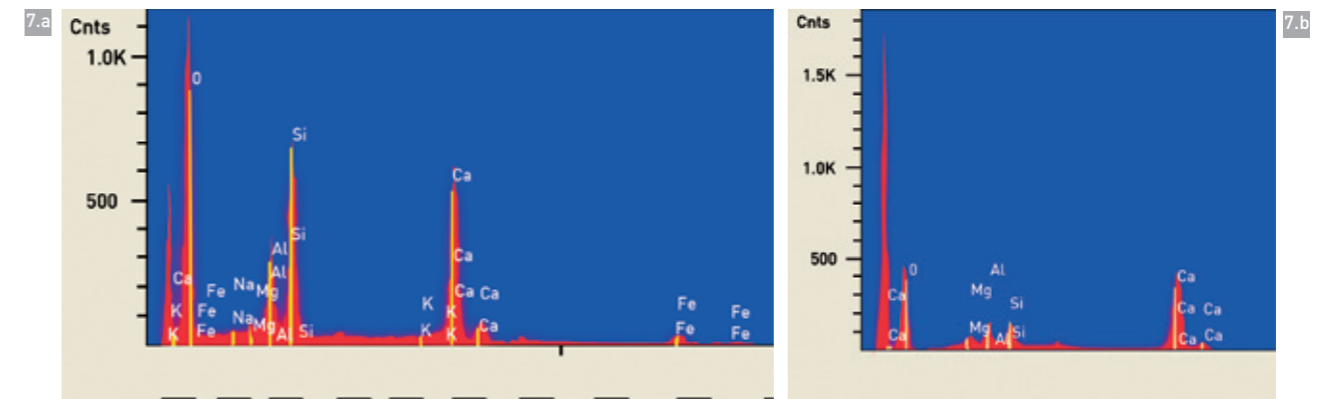
Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcının iç yapısının analizi için, çeşitli laboratuvarlardan

destek alınmıştır. SEM-EDS analizi İ.T.Ü. Metalurji-Malzeme Bölümü Laboratuvarları'nda, ince kesit analizleri İstanbul Üniversitesi Taşınabilir Kültür Varlık-

larını Koruma ve Onarım Bölümü Koruma Laboratuvarları'nda ve TGA analizleri İstanbul Üniversitesi İleri Teknolojiler Laboratuvarı'nda yapılmıştır.



Şekil 6. Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcı numunesinin SEM görüntüleri a-b.) 100x büyütme, c.) 500x büyütme (4 mm altı agregat)



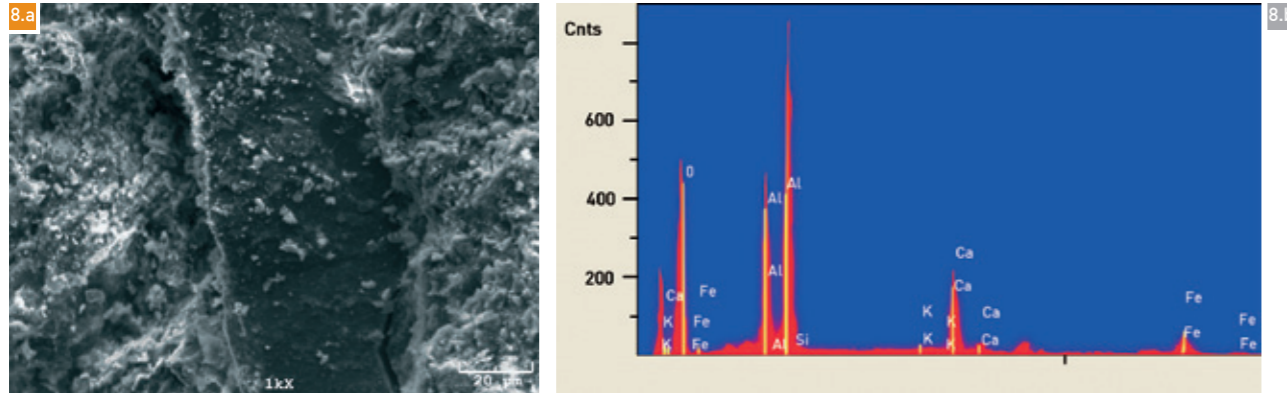
Şekil 7. Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcı numunesinin EDS grafikleri, a.) A noktasından, b.) B noktasından.

Tablo 9. Yukarıdaki görüntüden alınan EDS grafiğinin bileşik bulunma yüzdeleri

Bileşikler	A Noktasından EDS		B Noktasından EDS	
	Mole. Konsantrasyon (%)	Konsantrasyon (%)	Mole. Konsantrasyon (%)	Konsantrasyon (%)
Na ₂ O	4,123	3,910	-	-

MgO	14,393	8,876	20,404	13,590
Al ₂ O ₃	12,269	19,141	13,803	23,258
SiO ₂	40,582	37,309	32,958	32,724
K ₂ O	1,440	2,075	-	-
CaO	23,817	20,436	32,835	30,428
Fe ₂ O ₃	3,377	8,252	-	-
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00

KV :15,0, Take of Angle : 16,0° Elapsed Livetime:44,4



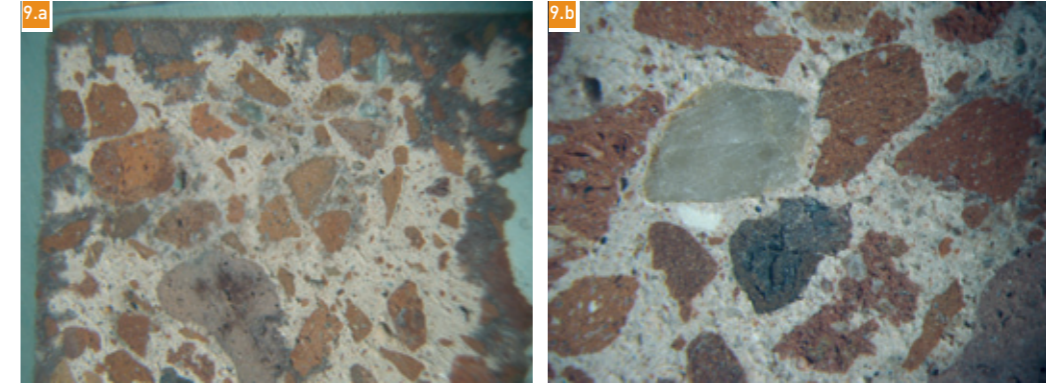
Şekil 8. Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcı numunesinin; a.) Ara yüzden çekilen SEM görüntüsü 1000x büyütme, b.) EDS grafiği (8 mm altı agregalı)

Bileşikler	Ara Yüzden EDS	
	Mole. Konsantrasyon (%)	Konsantrasyon (%)
Al ₂ O ₃	15,115	21,461
SiO ₂	61,915	51,804
K ₂ O	0,939	1,232
CaO	16,280	12,713
Fe ₂ O ₃	5,751	12,789
Toplam	100,00	100,00

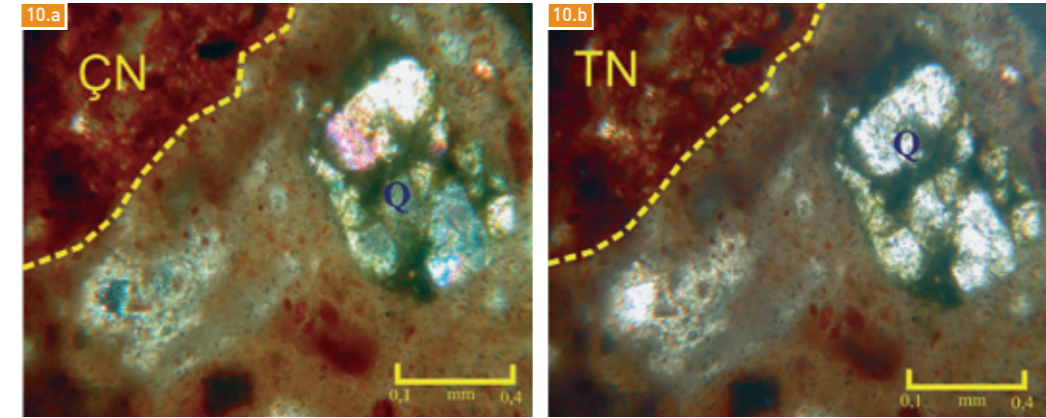
Tablo 10. Yukarıdaki görüntüden alınan EDS grafiğinin bileşik bulunma yüzdeleri

□ Petrografik Analiz ve TGA Analizi Sonuçları:

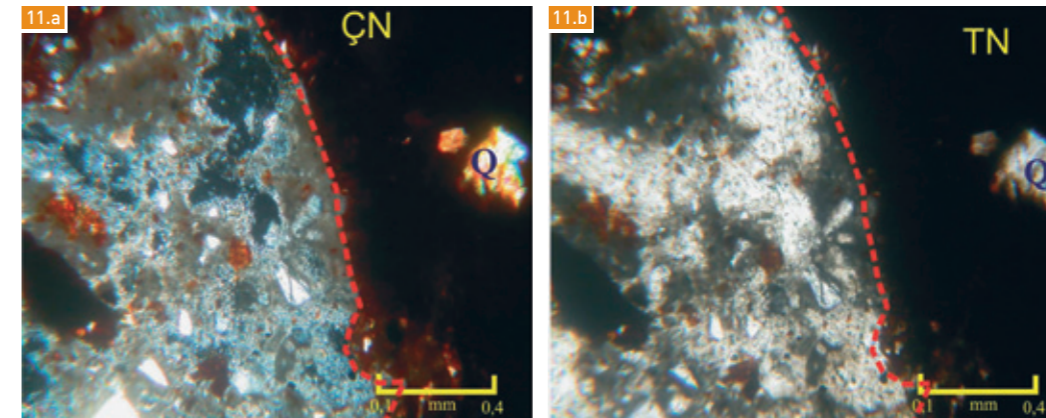
Petrografik analiz ve TGA analizleri, 4mm ve 8 mm altı tuğla kırığı agregası içeren horasan harcı numunelerinde ayrı ayrı yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.



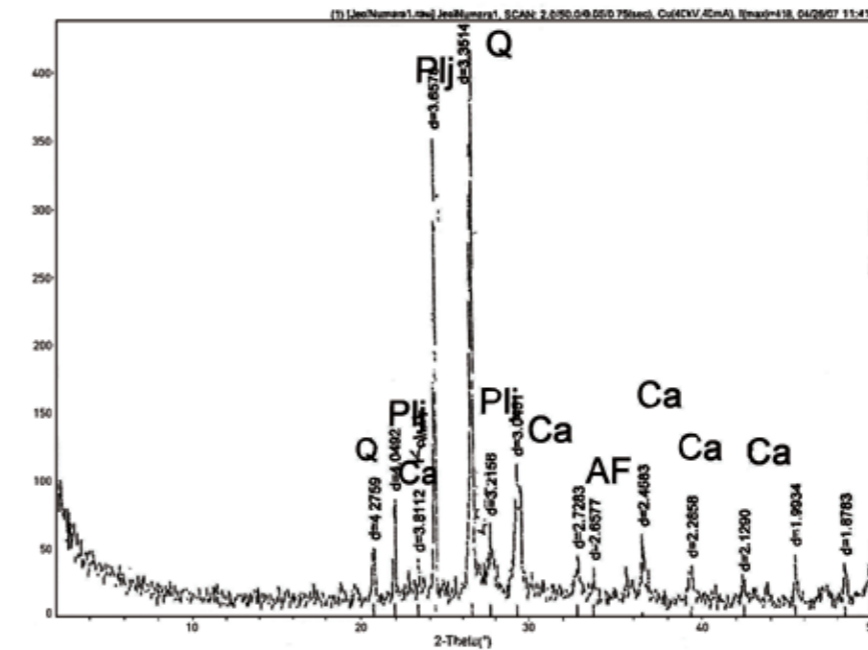
Şekil 9. Laboratuvar-da üretilen 4mm tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin yüzeyden stereo mikroskop görüntüsü, a.) 2x büyütme, b.) 4x büyütme



Şekil 10. Laboratuvar-da üretilen 4mm tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin ince kesit görüntüleri, a.) Çift nikol, b.) Tek nikol.



Şekil 11. Laboratuvar-da üretilen 8mm tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin ince kesit görüntüleri, a.) Çift nikol, b.) Tek nikol



Şekil 12. Laboratuvar-da üretilen 4mm altı tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin XRD grafiği



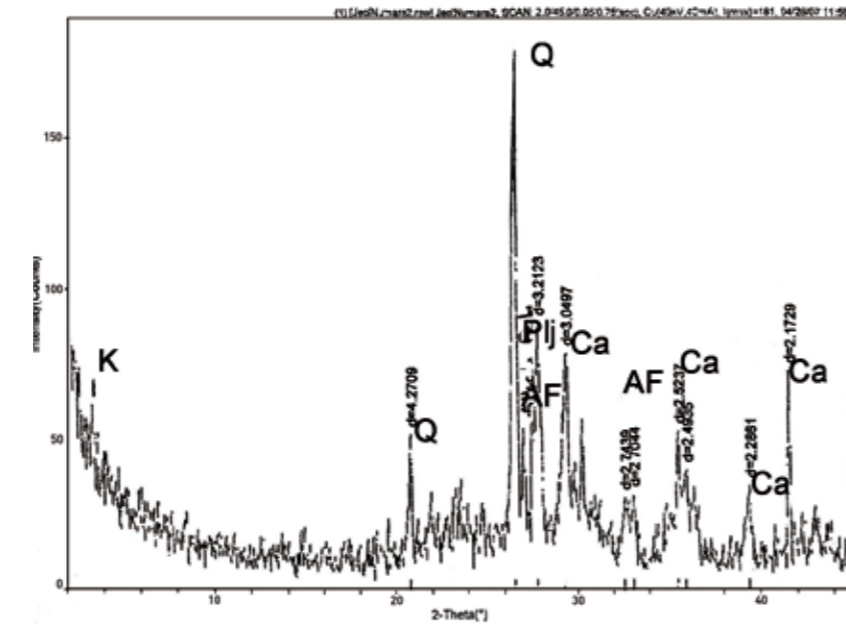
Anemas Zindanları



FOTOĞRAFLAR: ALIDOST ERTUGRUL

Literatürde yer aldığı gibi; TGA analizleri ile, harçların hidrolik özellikleri hakkında bilgi edinilmektedir. Yapı suyunun (H_2O) 200-600°C de ayrılması sonucu meydana gelen ağırlık kayıpları ve 600°C üzerinde karbonatlaşmış kirecin bozulması sırasında CO_2 gazı çıkışı sonucunda gözlenen ağırlık kayıpları yüzde değerleri belirlenmektedir. Hidrolik harçlarda CO_2 oranı % 30'un altında ve su % 3'ün üzerinde bulunmaktadır. Bu değerler doğrultusunda harçların hidrolik özelliği CO_2 / H_2O oranı ile değerlendirilmektedir. Bu oranın 1-10 arasında olması; harçların hidrolik özelliğinin olduğunu, 10-35 ise bu özelliğinin olmadığını göstermektedir. (Böke, vd., 2007).

Buna göre yukarıdaki TGA Grafiği'nden, laboratuvarda hazırlanan onarım harcının, 100 derecede nemini kaybettiği kabul edilirse; yaklaşık % 1,6 kayıp olduğu görülmektedir. 100 dereceden sonra 532 dereceye kadar silikatlar suyunu kaybettiği için, bu da % 2,6 etmektedir. Bu

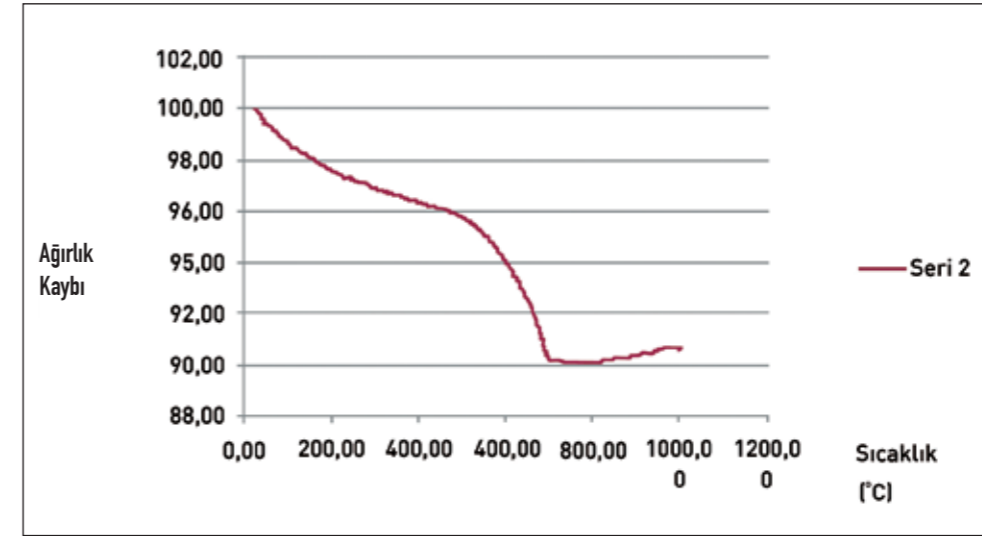


(Q: Kuvars, Plj: Plajjoklas, Ca : Kalsit, AF:Alkali Feldspat, K: Kil ,F: Feldspat)

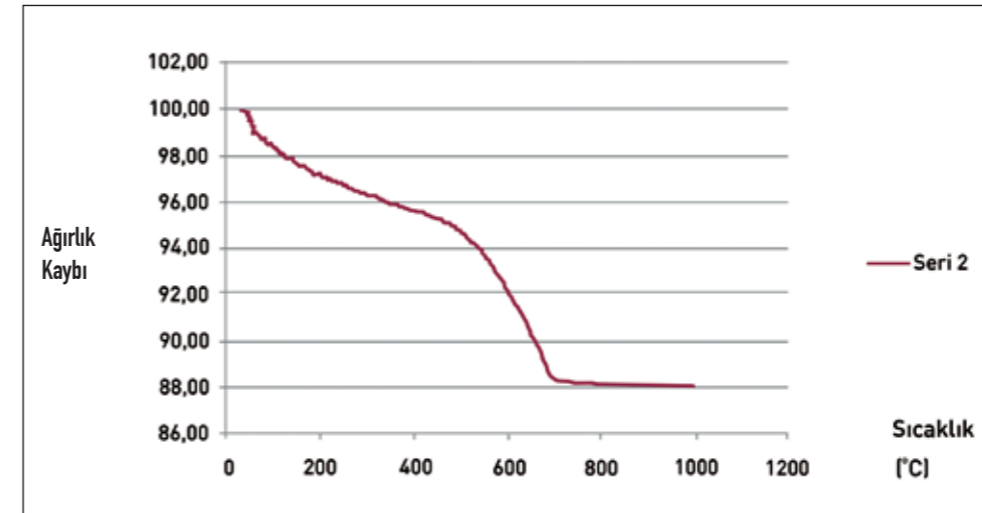
Şekil 13. Laboratuvarda üretilen 8mm altı tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin XRD grafiği.

sıcaklıktan sonra da karbonatlar ayrışmaktadır ve yaklaşık 750 derecelerde ayrışma sona ermektedir. Bu sıcaklıklar arasındaki kayıp %5,8'dir.

Böylece CO_2/H_2O oranı 2,2 etmektedir. Bu sonuç, laboratuvar şartlarında hazırlanan örneğin, hidrolik özellik taşıdığını göstermektedir.



Şekil 14. Laboratuvarda üretilen 4mm altı tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin TGA grafiği



Şekil 15. Laboratuvarda üretilen 4mm altı tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin TGA grafiği

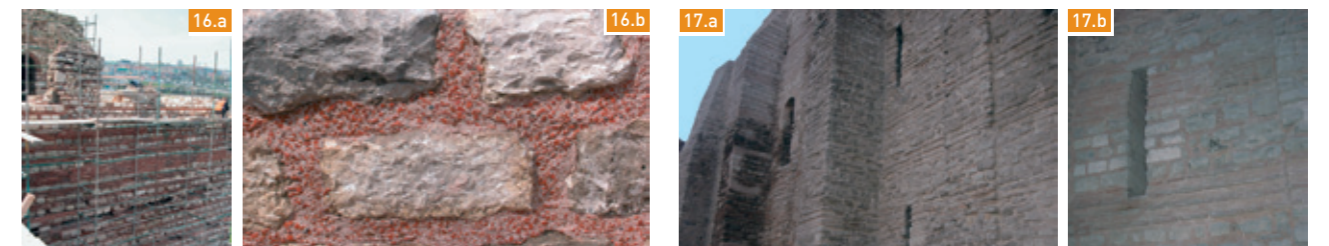
Laboratuvarda üretilen ikinci numunenin nemi % 1,7; 100 derece ile 500 derece arasında kayıp, % 3,4; 700 dereceye kadar kayıp ise % 6,7 olmaktadır. CO_2/H_2O oranı yaklaşık 2 çıkmaktadır. Buna göre, bu örnek de hidrolik özellik taşımaktadır.

3. Uygulamanın Değerlendirilmesi

Laboratuvar sonuçlarının olumlu bulunmasından sonra, karışım oranları belirlenmiş ve

Ayvansaray'da bulunan Anemas Zindanları'nda, daha önce kullanılmış olan özgün harçların do-

kusunda ve benzer kireç/agrega oranlarında bileşimler hazırlanmış ve uygulanmıştır.

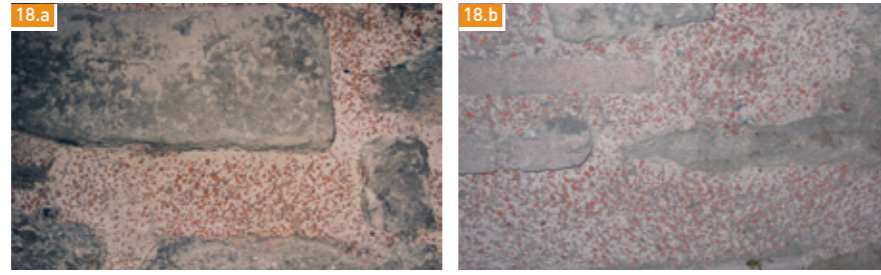


Şekil 16. a. b.) Anemas Zindanları'nın restorasyonu sırasında kullanılan onarım harcının durumu (2006)

Şekil 17. a. b.) Anemas Zindanları'nın restorasyonu sırasında kullanılmış olan onarım harcının 1 yıl sonraki görüntüleri (2007)

3.1. Yapıdan Alınan Onarım Harcında Yapılan Deneysel Çalışmalar

Yapıdan alınan onarım harcı örneklerinde daha önceki çalışmalarda da yapılan deneyler tekrarlanmıştır. Bunlar; asit kaybı, kızdırma kaybı, elek analizi, fiziksel özellikler ve iç yapı özellik deneyleridir.



Şekil 18. a. b.) Anemas Zindanları'nın restorasyonu sırasında kullanılmış olan onarım harcından incelemek üzere alınan örnek yeri

Tablo 11. Restorasyonda kullanılan onarım harcının asit kaybı analizleri

İlk Kütle (g)	Kalan İnce Malzeme (g)	Kalan Agrega (g)	Kalan Toplam Malzeme (g)	Asitte Kayıp (%)	Bağlayıcı/ Agregası Oranı
31,16	3,78	17,51	21,29	32	1/2

Tablo 12. Restorasyonda kullanılan onarım harcının kızdırma kaybı analizleri

105°C'deki Kayıp (%)	550°C'deki Kayıp (%)	1050°C'deki Kayıp (%)	Karbonat Miktarı (%)
0,65	3,43	13,08	29,74

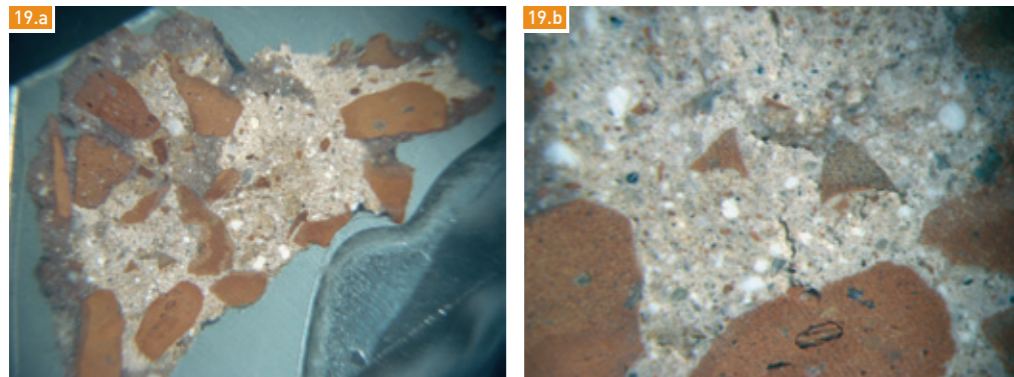
Tablo 13. Restorasyonda kullanılan onarım harcının elek analizi sonuçları

32mm %	16mm %	8mm %	4mm %	2mm %	1mm %	0,5mm %	0,25mm %	0,125mm %
100	100	96	55	32	22	19	5	3

Tablo 14. Restorasyonda kullanılan onarım harcının fiziksel özellikleri

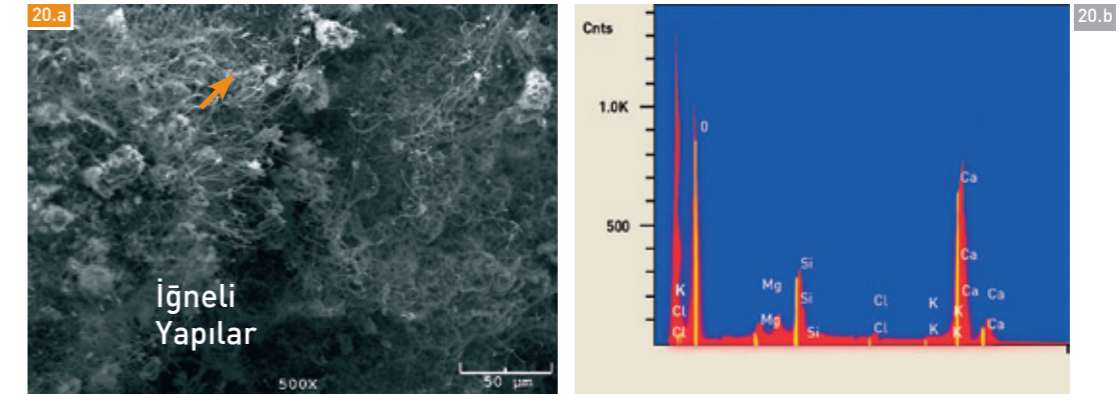
Su Emme Oranı (Kütlece,%)	Su Emme Oranı (Hacimce,%)	Birim Hacim Kütle (g/cm ³)	Özgül Kütle (g/cm ³)	Porozite (%)
33	50,16	1,52	2,76	45

Özgün harçlarda da su emme oranları: ~ % 20 – 40 arasındadır, porozite değerleri % 38 – 57 arasındadır. Onarım harcı da bu özelliklere uymaktadır.



Şekil 19. Anemas Zindanları'nın restorasyonu sırasında kullanılmış olan onarım harcının (S01 örneğinin) ince kesit analizleri, a-b.) 2x ve 4x büyütme

1 yıl sonra yapıdan alınan onarım harcı örneğinde SEM-EDS analizleri de yapılmıştır. Aşağıdaki şekil ve tablolarda gösterilmektedir:

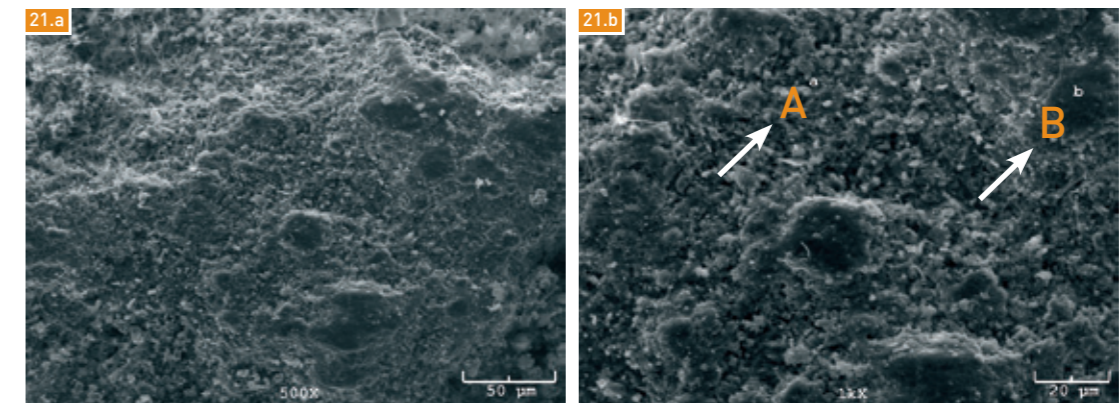


Şekil 20. Restorasyon sırasında kullanılmış olan onarım harcının (S01 örneğinin) iç yapısının, a.) SEM görüntüsü (500_x), b.) EDS grafiği

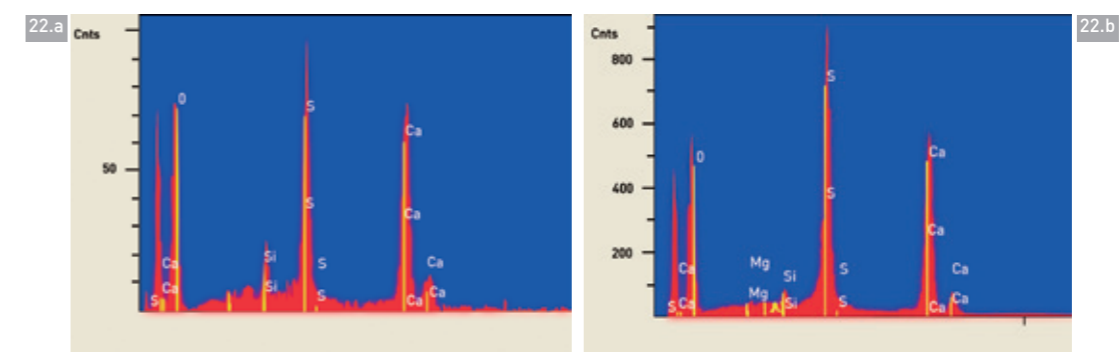
Bu görüntüde, agregalar ile matrisin iyi bağlandığı, aralarında ara yüzeylerin oluştuğu ve bu kısımlarda ağı ve iğnemi bir dokudan oluşan yapıların bulunduğu belirlenmiştir. Bu doku kalsiyum silikat hidrat oluşumlarını göstermektedir.

Tablo 15. Şekil 20'deki görüntüden alınan EDS grafiğinin bileşik yüzdeleri

Bileşikler	Mole. Konsantrasyon (%)	Konsantrasyon (%)
MgO	22,893	16,534
SiO ₂	39,513	42,544
Cl ₂ O	2,892	4,504
K ₂ O	2,264	3,821
CaO	32,439	32,589
Toplam	100,00	100,00



Şekil 21. Restorasyon sırasında kullanılmış olan onarım harcının SEM görüntüleri, a.) 500x büyütme, b.) 1000x büyütme.



Şekil 22. a.) Yukarıdaki görüntünün "A" noktasından alınan EDS grafiği, b. "B" noktasından alınan EDS grafiği

Tablo 16. Yukarıdaki görüntüden alınan EDS grafiğinin bileşiklerin bulunma yüzdeleri

Bileşikler	A Noktasından EDS		B Noktasından EDS	
	Mole. Konsantrasyon (%)	Konsantrasyon (%)	Mole. Konsantrasyon (%)	Konsantrasyon (%)
MgO	9,848	5,929	7,073	4,152
Al ₂ O ₃	6,006	9,147	4,427	6,574
SiO ₂	17,015	15,272	12,066	10,558
SO ₃	37,446	44,785	46,642	54,386
CaO	29,685	24,867	29,791	24,330
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00

4. Sonuç

Tarihi yapılarda kullanılan yapım tekniği ve malzemeler, kullanıldıkları döneme ait belge niteliği taşımaktadırlar. Yapının biçimsel özgünlüğü kadar, malzemesindeki özgünlük de önemlidir. Onarımda kullanılacak yeni malzemenin özgün malzeme ile görsel bir uyum içinde olması; yapının statik

dayanımı ve atmosfer şartlarına karşı dayanıklılığı açısından birlikte hareket edebilecek performansı gösterebilmesi gereklidir. Ülkemiz ekonomisi açısından da yerel malzemeyi kullanarak bu gereklilikleri sağlamak, bir amaç olmalıdır. Bu çalışma ile, günümüz teknolojisi ile üretilen malzeme-

lere gerek olmadan tamamen doğal yollarla elde edilen volkanik tüf cinsi bir taşın sahip olduğu puzolanik özellik ile tarihi yapılarda sıkça görülen bir bağlayıcı olan hava kirecine hidrolik özellik kazandırılmıştır. Bu sayede üretilen horasan harçları ile onarımlar başarılı olmuştur.

REFERANSLAR

- 1- Böke H., Akkurt S., İpekoğlu B., Uğurlu E., (2007), "Onarım Amaçlı Horasan Harç ve Sıvaların Hazırlanması", *Mimarlıkta Malzeme*, TMMOB yayını, s.68.
- 2- Gürdal E., Acun S., 2006, "Tarihi Yapılarda Kullanılmış Horasan Harçları ve Eyüp'teki Eski Eser Tarihi Yapıların Restorasyon ve Onarımları İçin Harç Önerisi", *10. Ulusal Eyüp Sempozyumu*.
- 3-Güleç A., Acun S., Ersen A., Gürdal E., Koçu N., 2003, "Evaluation of Konya Region Volcanic Tuff as a Pozzolanic Additive in Conservation Mortars", *Industrial Minerals and Building Stones, International Symposium, Istanbul-Türkiye*, pp. 507-516.
- 4- Ahunbay Z., Ahunbay M., Gürdal E., Ersen A., Güleç A., Acun S., (2001- 2003), "Akdeniz Ülkelerinde Ortaçağ Kalelerinin Malzeme ve Yapım Sistemlerinin Araştırılması ", *Avrupa Birliği Destekli FORTMED Projesi*.
- 5- Uz, B., Esenli, F., Manav, H. ve Aydos, Z., 1995, "Karamürsel-Yalova Arasındaki Piroklastik Kayalarda Otijen Mineral Oluşumları", *Yer Bilimleri Dergisi*, 27, s.136-139.
- 6- Esenli F.,1993, "Görsel Neojen havzasının asidik tüflerinde zeolitlenme (höylendit-klinoptilolit tip) ile meydana gelen kimyasal değişimler", *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 36, s.37-44.
- 7- TS 25, 1975, "Tras", (RILEM standardından yararlanılarak hazırlanan standart), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



Sekil 1. Yer bulduru haritası

THE SOURCE AREA AND PETROGRAPHY OF THE MORTAR, PLASTER AND THE BUILDING STRUCTURE OF ARDANUÇ CASTLE

SUMMARY

Ardanuç county is on the eastern side of Artvin city, the castle of Ardanuç is a unique historical monument of the entire area. The castle was built in BC and used for administration by many kingdoms. The area was conquered by the governor İskender Pasha in 1551. The castle of Ardanuç was repaired in 1562 and marked by an epigraph. The district of Artvin was in the hegemony of the Ottoman Empire for 250 years until the Russian invasion with the Brest-Litovsk agreement, the district of Artvin was surrendered to the empire.

The building stone of the castle walls are mainly of Ziyarettepe formation from Paleocene age. Also the detrital material from the neighbourhood such as Mekanet, Karlı, Avcılar and Çiseltakaya were used in the lining of the walls' mortar and the plaster.

Ardanuç Kalesi Yapı Taşları, Sıva ve Harçlarının Petrografisi ve Kaynak Alanı

Jeoloji Müh. M. OKAY ŞAHİN¹
Jeoloji Müh. MUSTAFA BAYKIR¹
Y. Doç. Dr. NAMIK AYSAL²

▶ Karlı Formasyonu

Formasyon andezit, bazalt, spilitleşmiş bazalt, andezit ve bunların tüf ve aglomeralarından oluşur. Bu litolojik birimler, karmaşık bir seri halinde bulunmaktadır. Andezit ve bazaltlar, yeşilden mora kadar değişen renklerde bulunurlar. Sahada birbirlerinden ayırt edilmeleri mümkün değildir. Mikroskobik incelemelerde, andezitlerin plajiyoklas mikrolitlerinden oluşan bir hamur içinde dağılmış plajiyoklas (Andezin) ve ojitte, ikincil kloritten meydana geldiği gözlenir. Bazaltlar ise benzer şekilde plajiyoklas mikrolitlerinden oluşmuş bir hamur içerisindeki labrador, ojit ve opak mineraller-



Foto 1. Ardanuç kalesi genel görünüm

den oluşur. Tüfler yeşilimsi gri olup, etkin alterasyon nedeniyle kolayca dağılırlar. Aglomeralar, bazalt bloklarının tüf boyutundaki gevşek piroklastik bir çimento ile birleştiril-

mesinden oluşmuştur. Blok boyutları ve aglomeranın kalınlığı doğuya gidildikçe artar (Özsayar vd., 1982).

Üst Jura -Alt Kretase yaşlı olduğu kabul edilmiştir (Schultze-Westrum, 1961; Özsayar vd., 1981).

Ziverağa Formasyonu

Formasyon, tüfitlerden ve kırmızı renkli Globotruncana'lı biyomikritlerden oluşmuştur. Tüfitler sarı renkli, kaba taneli ve gevşek kireç çimentoludur. Çok seyrek Inoceramus fosili içerir. İnce kesitlerde karbonatlı bir çimento içerisinde plajiyoklas, kuvars fenokristalleri ve kayaç parçalarından oluştuğu görülür. Kırmızı biyomikritler sert ve sığdır. İnce kesitlerde mikritik bir çimento ve bol Globotruncana fosili gözlenir (Özsayar vd., 1982).

¹İBB-KUDEB Konservasyon ve Restorasyon Laboratuvarı, Beyazıt - İstanbul.

²İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar-İstanbul