

ANEMAS ZİNDANLARININ RESTORASYONUNDA KULLANILACAK ONARIM HARCININ ÜRETİMİ İÇİN YAPILAN DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

SEDEN ACUN ÖZGÜNLER*, EROL GÜRDAL**, GÜLÇİN KAHRAMAN***

ÖZET

Bu makalede, İstanbul Surlarının Ayvansaray Haliç mevkiinde bulunan Anemas Zindanlarının restorasyonunda kullanılabilecek aslına uygun harç ve sıvaların yerel malzeme ile üretimi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar anlatılmaktadır. Bu çalışmalardan önce yapıdan alınan özgün harç-sıva örneklerinin detaylı olarak karakterizasyon çalışmaları yapılmış, belirlenen bağlayıcı ve agrega olarak kullanılan malzeme türü ve oranlarına uygun biçimde laboratuvar ortamında onarım harçlarının üretim çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak onarım harcında kullanılabilecek puzolan araştırmaları yapılmış daha sonra bu puzolan malzemesi kullanılarak özgün horasan harçlarına uygun harçlar laboratuvar ortamında üretilmiştir. Laboratuvar ortamında üretilen harçların fiziksel, mekanik özellikleri ile iç yapı özellikleri deneysel çalışmalar ile belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında üretilen onarım harcının yapının uygun görülen bir duvarında denemesi yapılmıştır. Yaklaşık 1 sene sonunda bu duvardan tekrar örnek alınmış ve bu örneğin iç yapı ve fiziksel özelliklerinin deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, laboratuvar ortamında üretilen harç ile, şantiye ortamında üretilen onarım harcı karşılaştırılmıştır. Onarım harcının süreye bağlı olarak gösterdiği performans değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda üretilen onarım harçlarının mevcut harçlar ile gerek renk, doku açısından gerekse atmosfer şartlarına dayanıklılık performansı açısından olumlu sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır.

1. GİRİŞ

İstanbul Surlarının 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 Eğrikapı yakınında bulunmaktadır. Mahzenler İvaz Efendi Camii'nin bulunduğu burçtan başlayarak Haliç'e doğru inmektedir. Anemas Zindanlarının, Blachernai Sarayı'nın da komşusu olduğu belirtilmektedir.

Literatürde de belirtildiği gibi Anemas Zindanları tarih boyunca çok müdahaleler geçirmiştir. Bunun sonucu olarak, yapıda Erken ve Orta Bizans ile Osmanlı dönemine ait farklı tiplerde harç ve sıva örnekleri tespit edilmiştir. Anemas Zindanları'ndan alınan 40 adet derz ve sıva harcı örneklerinde daha önceden yapılan karakterizasyon çalışmaları 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 adet de sarnıçtaki zemin harcıdır. Alınan örneklerin 6 adedi erken dönem Blachernae Sarayı 11.yy. başından , 5 adedi 2.Dönem Orta (Medieval) Bizans 12. yy., 10 adedi 3.dönem Isaac Angelus Kulesi 13.yy.'dan, 2 adedi 4.dönem Anemas Kulesi 13.yy. sonundan, 2 adedi 5.dönem Paleologlar Dönemi 15.yy.'dan, 6 adedi 6. Dönem Osmanlı Döneminden ve 8 adet Bizans dönemi sıvalarından oluşmaktadır. Harçların bileşimi ve karakterleri, dönemine ve uygulandığı yere göre, sıva veya derz harcı durumuna, duvar veya kemer durumuna göre az çok farklılıklar göstermektedir.

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

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

***Y.Mimar. Email: gulcinkah@hotmail.com.tr

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 kütlenin 2,40-2,55 g/cm³ arası olması, bütün harçlarda aynı tür malzeme kullanıldığını, bunların da kireç, tuğla tozu ve tuğla kırığı olduğunu göstermektedir.

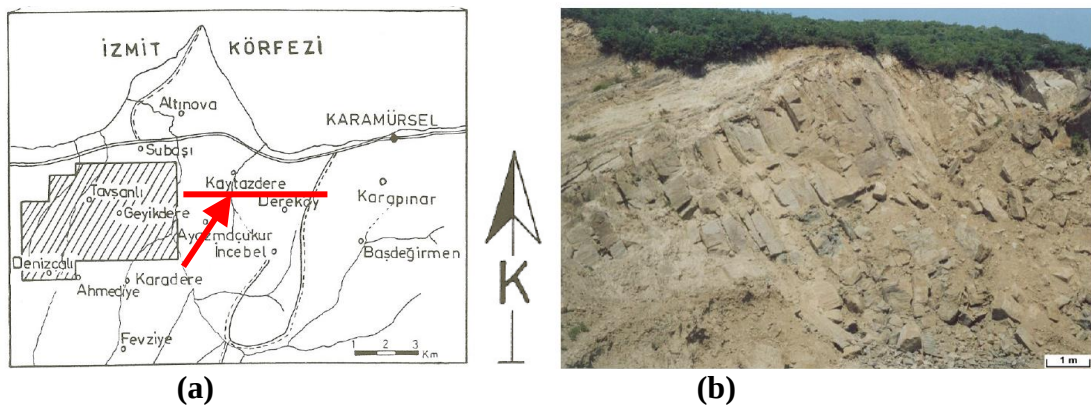
Özgün harç ve sıva örneklerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilerek, yapının restorasyonunda kullanılabilecek horasan harçlarının yerel malzemeler ile üretimi için yapılan deneysel çalışmalar, aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar ilk olarak hidrolik harç elde etmek için kullanılabilecek 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, İç yapı özellikleri 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 geleneksel malzemenin kullanımı açısından hem de ülke ekonomisi açısından faydalı görülmektedir. Bu amaçla, İstanbul'a yakın bir yer olan Yalova-Karamürsel bölgesi, tarihi tüf ocaklarının da yoğun olarak bulunması sebebiyle bu bölgeden alınan bazı tüf örneklerinde puzolanik aktivite çalışmaları yapılmıştır. Özellikle Kaytazdere beldesinde bulunan tüf ocağından alınan, açık renkli, asit karakterli tüf örneğinin sonuçları başarılı bulunmuştur.



Şekil 1. a.) Karamürsel bölgesinin haritası, [Uz B., Esenli F., ve diğerleri, 1995], b.) Karamürsel bölgesindeki Kaytazdere'deki taş ocağı.

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 F., 1993].

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.



(a)

(b)

(c)

Şekil 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	5,972	1,293	3,161	1,082	-	-	6,510	100,000

TS 25’e göre, puzolan maddenin olması gereken kimyasal özellikleri :

SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = en az % 70,

MgO = en çok % 5 ,

SO₃ = en çok % 3,0 olmalıdır.

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi Kaytazdere puzolanı:

SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = % 81,42

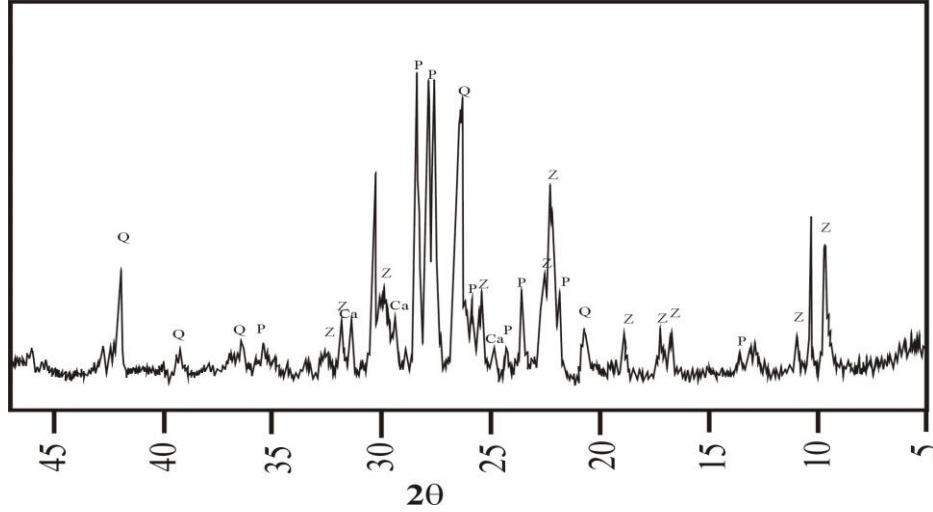
MgO = % 1,3

SO₃ = 0 bulunmuştur.

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 puzolanda % 3,7 bulunmuştur.



Şekil 3. Kullanılan doğal puzolanın XRD grafiği, (İ.Ü. X-ışını Laboratuvarı)
P: Plajoklas, 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 sönmemiş olarak alınmış laboratuvar ortamında söndürölüp su oranı hesaplanarak katılma miktarları belirlenmiştir.

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

Puzolan 125 µ eleklerden elenmiş olarak kullanılmıştır.

TS 25'e göre oranlar:

Sönmüş Kireç = 150 g (susuz)
Puzolan = 2x 150 x $\frac{\text{Puzolan Özgül Kütlesi.}}{\text{Kirecin Özgül Kütlesi}}$
Standart Kum = 1350 g.
Su = 0.5 x (150 + Puzolan)

Bu karışımlardan 3'er adet 4x4x16 cm'lik numuneler dökülmüştür. Bu numuneler polietilen torba içinde hava almayacak ancak %100 nemli olan 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.

Tablo 3. Puzolan karışımli numunelerin eğilme ve basınç deneyi sonuçları

Numune	a (mm)	b (mm)	Eğilme Yükü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Yükü 1 (N)	Basınç Yükü 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 çıkan malzeme ile yapılan karışımların değerleri karşılaştırıldığında bu malzemenin puzolanik özelliğinin oldukça iyi olduğu görülmektedir.

2.2. Onarım Harcı Denemeleri ve Öneriler

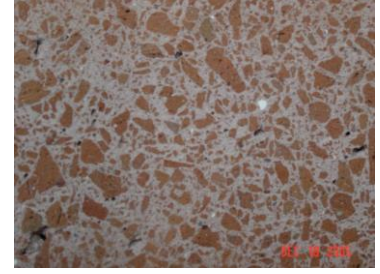
Kaytazdere'den getirilen malzemenin puzolanik aktivite değerlerinin uygun bulunmasından sonra, horasan harcı içindeki davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla, Anemas Zindanları'ndan alınan örneklerin kireç, tuğla tozu ve kırığı oranlarına uygun olarak, kireç ile tepkimeye girecek miktarlarda puzolan katkısı katılarak harç numuneleri hazırlanmış, bir haftalık kürleme sonunda ortalama 10 MPa (100 kgf/cm²) lık basınç dayanımı bulunmuştur. Aynı karışımdan 4 mm ve 8 mm 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.



(a)



(b)



(c)

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

2.2.1. Üretilen Onarım Harçlarının Mekanik Özellikleri

Onarım harcı olarak hazırlanan numunelerin farklı kürleme koşullarındaki 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. 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 numunelerinde 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.

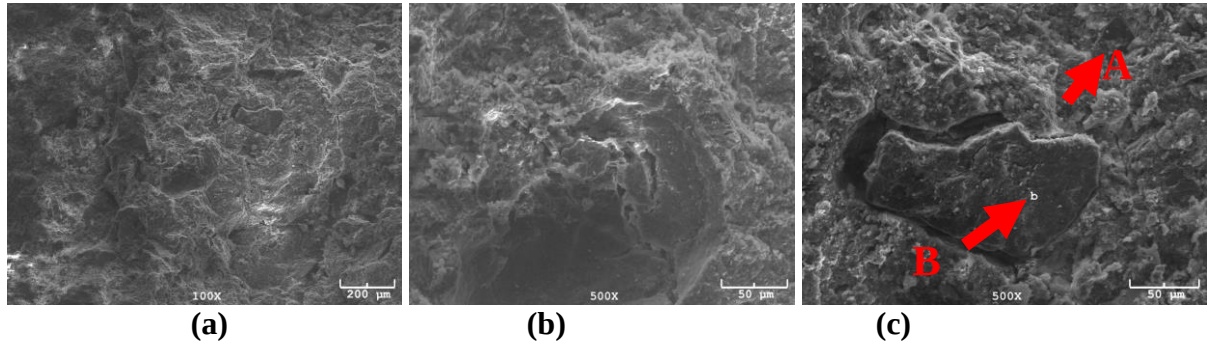
Tablo 8. Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcının fiziksel özellikleri

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

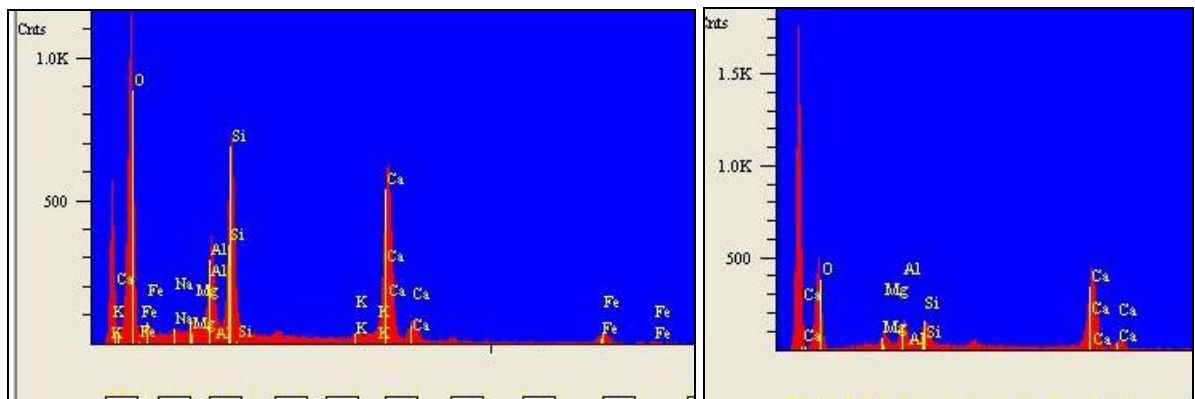
Özgün harçlarda da su emme oranları: ~ % 20 – 40 arasındadır, porozite değerleri % 38 – 57 arasındadır. Onarım harcı da bu özelliklere uymaktadır.

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 Laboratuvarlarında, ince kesit analizleri İstanbul Üniversitesi Taşınabilir Kültür Varlıklarının Koruma ve Onarım Bölümü Koruma Laboratuvarlarında ve TGA analizleri İstanbul Üniversitesi İleri Teknolojiler Laboratuvarında yapılmıştır.



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

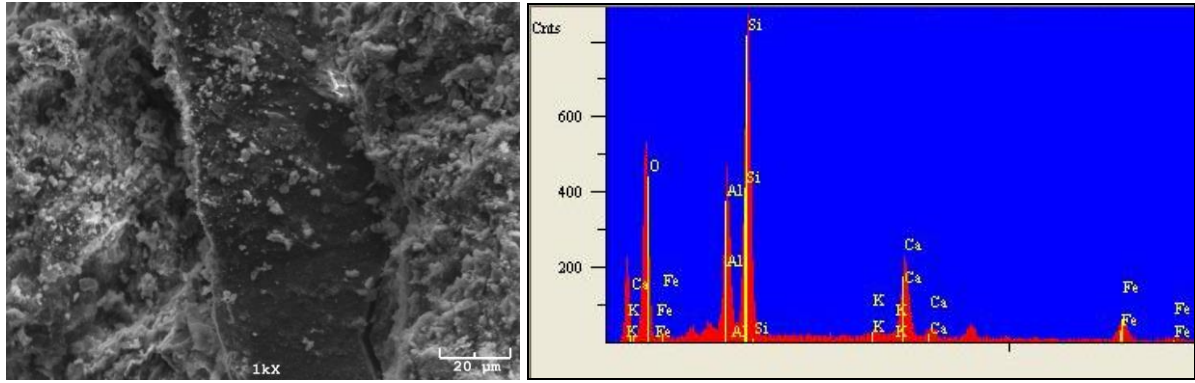


Şekil 7. Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcı numunesinin EDS grafikleri,
a. A noktasından, **b.** B noktasından.

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



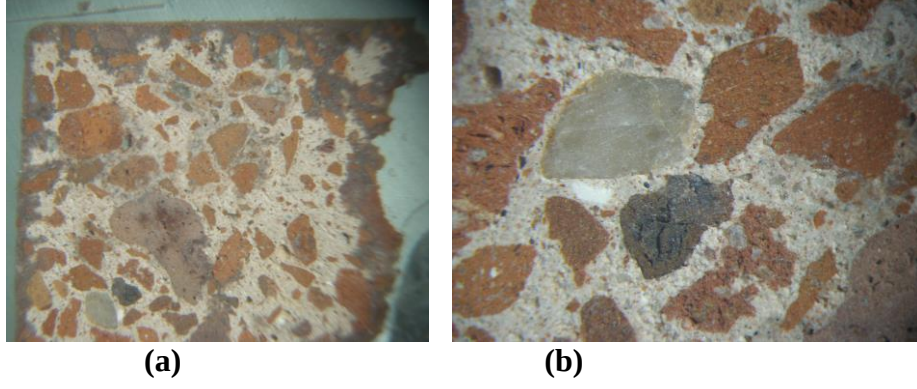
Şekil 8. Laboratuvar şartlarında üretilen onarım harcı numunesinin, **a.** Ara yüzden çekilen SEM görüntüsü 1000x büyütme, **b.** EDS grafiği. (8 mm altı agregalı).

Tablo 10. Yukarıdaki görüntüden alınan EDS grafiğinin bileşik bulunma yüzdeleri

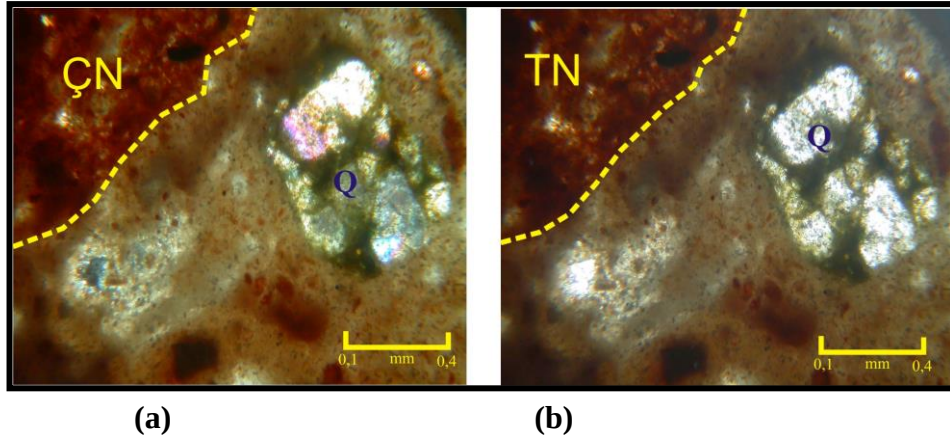
Bileşikler	Ara Yüzden EDS	
	Mole. Konsantrasyon (%)	Konsantrasyon (%)
Al ₂ O ₃	15,115	21,461
SiO ₂	61,915	51,804
K ₂ O	0,939	1,232
CaO	16,280	12,713
Fe ₂ O ₃	5,751	12,789
Toplam	100.00	100.00

- Petrografik Analiz ve TGA Analizi Sonuçları:**

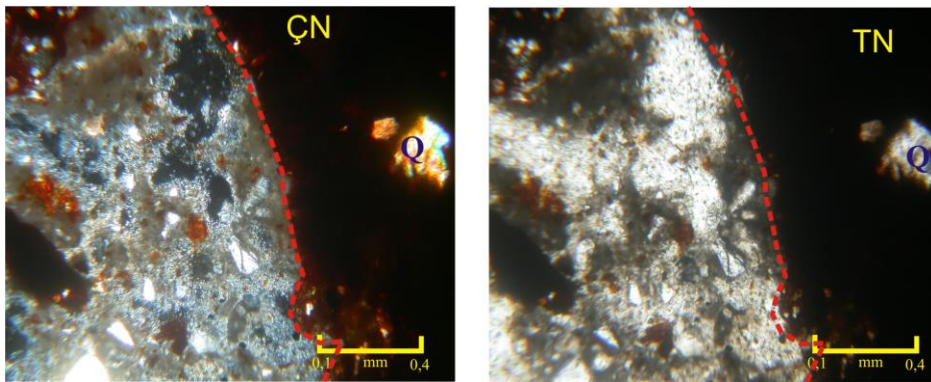
Petrografik analiz ve TGA analizleri, 4 mm ve 8 mm altı tuğla kırığı agregası içeren horasan harcı numunelerinde ayrı ayrı yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.



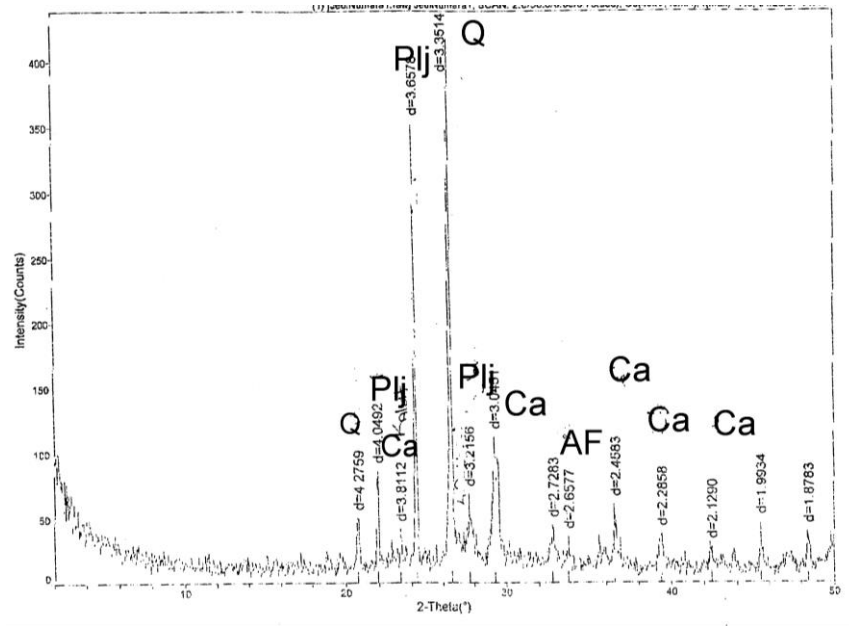
Şekil 9. Laboratuvarıda üretilen 4 mm tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin yüzeyden stereo mikroskop görüntüsü, **a.** 2x büyütme, **b.** 4x büyütme



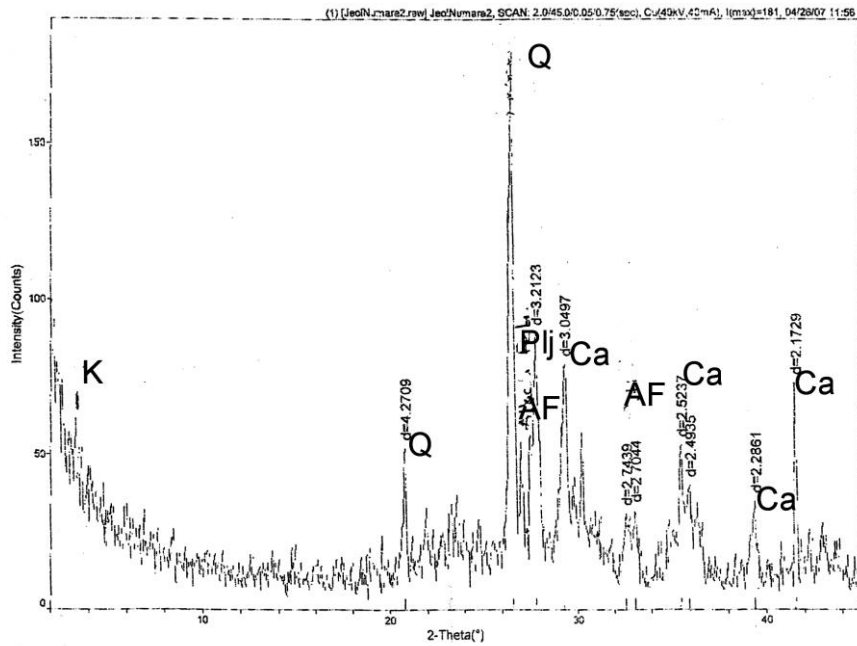
Şekil 10. Laboratuvarıda üretilen 4 mm tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin ince kesit görüntüleri, **a.** Çift nikol, **b.** Tek nikol.



Şekil 11. Laboratuvarıda üretilen 8 mm tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin ince kesit görüntüleri, **a.** Çift nikol, **b.** Tek nikol.

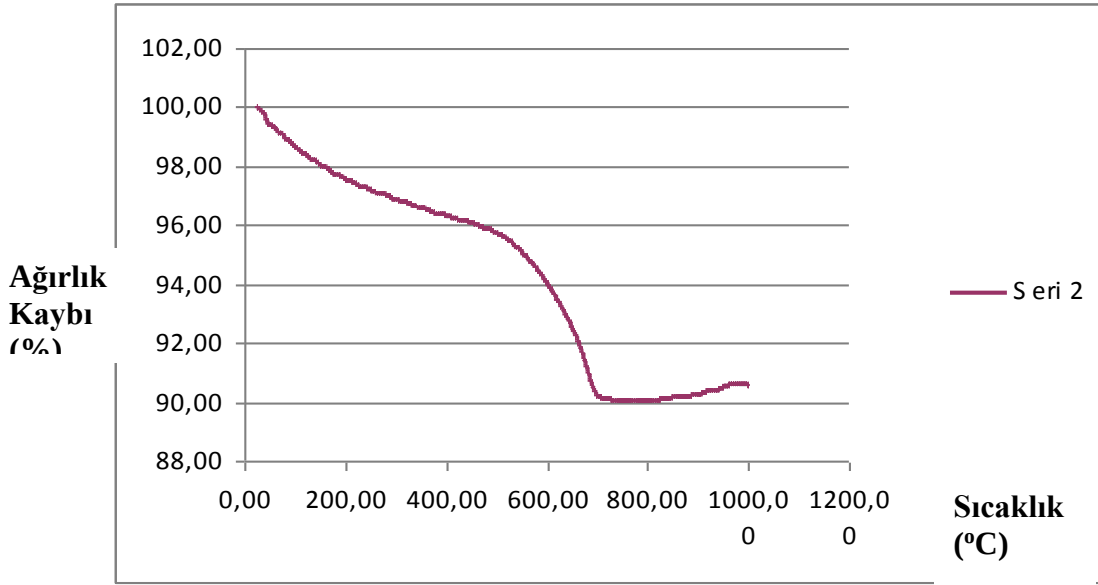


Şekil 12. Laboratuvarda üretilen 4 mm altı tuğla kırığı agregalı horasan harcı numunesinin XRD grafiği.



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

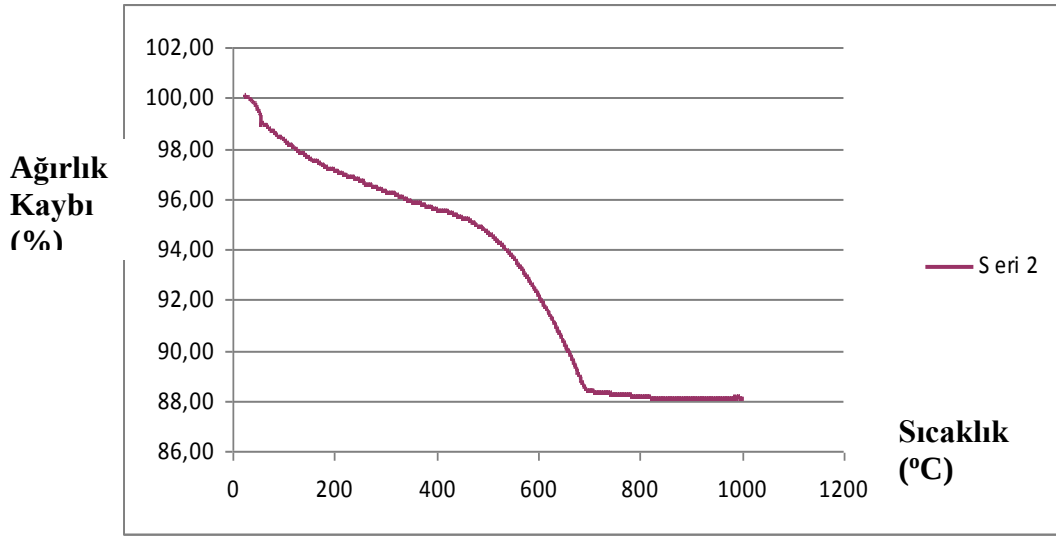
(Q: Kuvars, Plj: Plajioklas, Ca : Kalsit, AF:Alkali Feldspat, K: Kil ,F: Feldspat)



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

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 özelliği olduğunu, 10-35 ise bu özellik olmadığını göstermektedir, [Böke H., ve diğerleri, 2007].

Buna göre yukarıdaki TGA Grafiğinden laboratuarda hazırlanan onarım harcının, 100 derecede nemini kaybettiği kabul edilirse, yaklaşık % 1,6 kayıp olduğu görülmektedir. 100 dereceden sonra 532 dereceye kadar silikatların sularını kaybettiği için, bu da % 2,6 etmektedir. Bu sıcaklıktan sonra da karbonatlar ayrılmaktadır 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 15. Laboratuvarda üretilen 4 mm 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. CO₂/H₂O oranı yaklaşık 2 çıkmaktadır. Buna göre bu örnek de hidrolik özellik taşımaktadır.

3. UYGULAMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Laboratuar sonuçlarının olumlu bulunmasından sonra karışım oranları belirlenmiş ve Ayvansaray'da bulunan Anemas Zindanları'nda, daha önce kullanılmış olan özgün harçların dokusunda ve benzer kireç/agrega oranlarında bileşimler hazırlanmış ve uygulanmıştır.



Şekil 16. Anemas Zindanları restorasyonu sırasında kullanılan onarım harcının durumu (2006).



Şekil 17. Anemas Zindanları 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 ile iç yapı özellik deneyleridir.



Şekil 18. Anemas Zindanları restorasyonu sırasında kullanılmış olan onarım harcından incelenmek 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/ Agrega 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

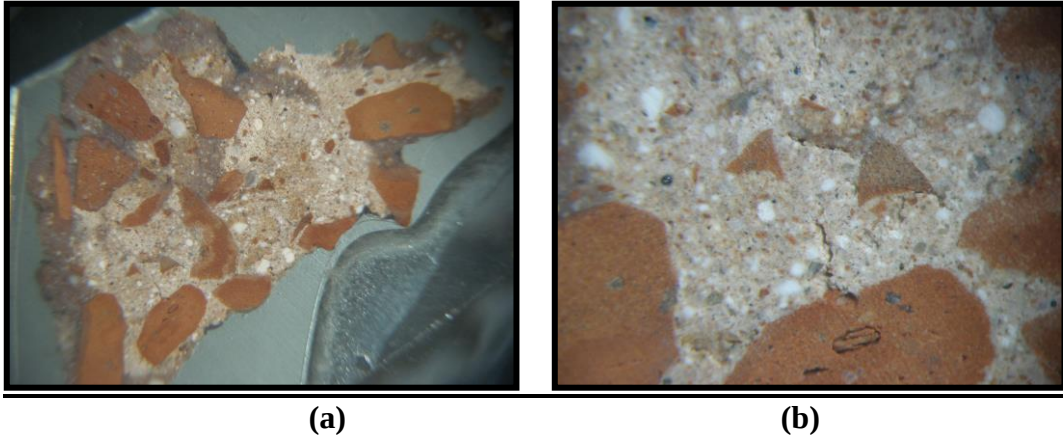
Tablo 13. Restorasyonda kullanılan onarım harcının elek analizi sonuçları

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

Tablo 14. Restorasyonda kullanılan onarım harcının fiziksel özellikleri

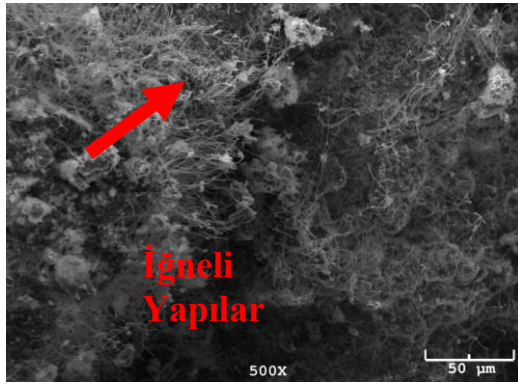
Su Emme Oranı (Kütlece,%)	Su Emme Oranı (Hacimce,%)	Birim Hacim Kütle (g/cm ³)	Özgül Kütle (g/cm ³)	Porozite (%)
33	50,16	1,52	2,76	45

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

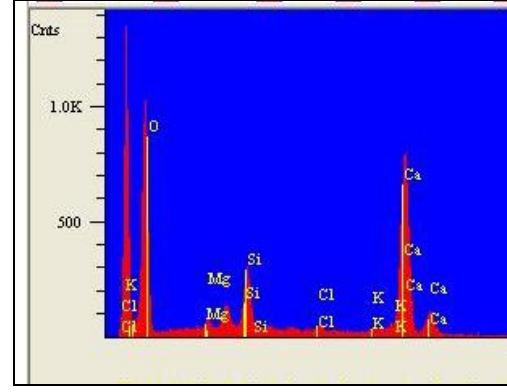


Şekil 19. Anemas Zindanları restorasyonu sırasında kullanılmış olan onarım harcının (SO1 örneğinin) ince kesit analizleri, **a-b.)** 2x ve 4x büyütme

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



(a)



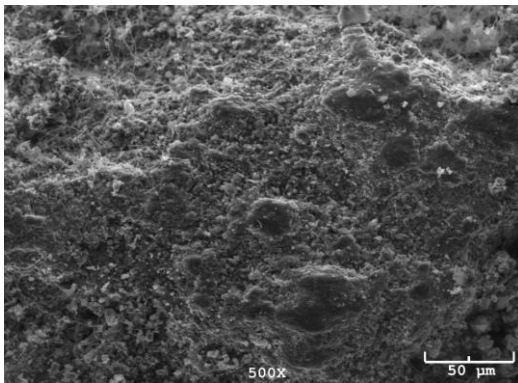
(b)

Şekil 20. Restorasyon sırasında kullanılmış olan onarım harcının (SO1 örneğinin) iç yapısının, **a.** SEM görüntüsü (500X), **b.** EDS grafiği.

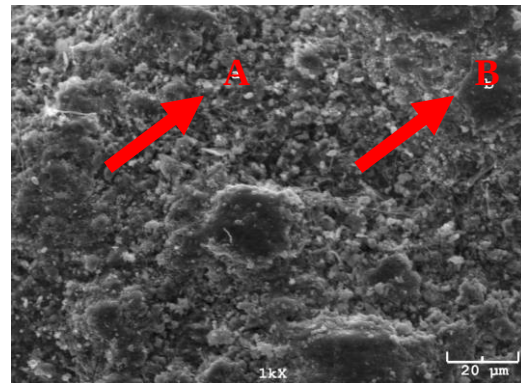
Bu görüntüde, agregalar ile matrisin iyi bağlandığı, aralarında ara yüzeylerin oluştuğu ve bu kısımlarda ağısı ve iğnemsı bir dokudan oluşan yapıların bulunduğu belirlenmiştir. Bu doku kalsiyum silikat hidrat oluşumlarını göstermektedir.

Tablo 15. Yukarıdaki 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

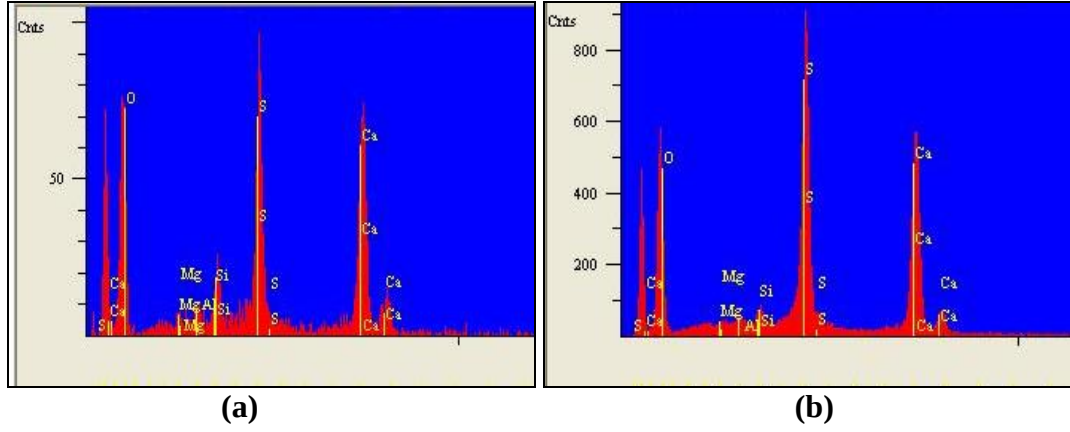


(a)



(b)

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 malzemelere 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.

KAYNAKLAR :

Böke H., Akkurt S., İpekoğlu B., Uğurlu E., (2007), “Onarım Amaçlı Horasan Harç ve Sıvaların Hazırlanması” TMMOB yayını, Mimarlıkta Malzeme, sf.68.

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.

Güleç A., Acun S., Ersen A., Gürdal E., Koçu N., (2003), “Evaluation of Konya Region Volcanic Tuff as a Pozzolan Additive in Conservation Mortars”, Industrial Minerals and Building Stones, International Symposium, Istanbul-Türkiye, s.507-516.

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.

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.

Esenli F., (1993), Gördes Neojen havzasının asidik tüflerinde zeolitleşme (höylandit-klinoptilolit tip), ile meydana gelen kimyasal değişimler, Türkiye Jeoloji Bülteni, C. 36,37-44.

TS 25, (1975), “Tras”, RILEM standardından yararlanılarak hazırlanan standart, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.