



## TARİHİ YAPILARDA KULLANILMIŞ HORASAN HARÇLARI VE EYÜP'TEKİ ESKİ ESER TARİHİ YAPILARIN RESTORASYON VE ONARIMLARI İÇİN HARÇ ÖNERİSİ

Prof. Dr. Erol GÜRDAL



*Eyüp Orta Okulunu ve İstanbul Erkek Lisesini bitirdikten sonra İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Jeofizik dalından mezun oldu. Ardından İ.T.Ü. Hidrojeoloji Enstitüsünde Yeraltı Suları ihtisası yaptı. Askerlik hizmetini müteakip İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Şehir Sağlığı ve Teknolojisi Kürsüsünde çalışmaya başladı ve aynı zamanda İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesine kaydını yaptırdı. 1969 yılında Yüksek Mühendis Mimar ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi II. Yapı Bilgisi Kürsüsüne asistan olarak atandı. 1976 yılında Doktor, 1982 yılında Doçent, 1988 yılında da Profesör oldu. Türkiye Alçıları konulu doktora çalışması, çeşitli malzeme konularında makaleleri, kerpiç, alçı, sıvalar, horasan harcı ve beton alanında araştırmaları, genel malzeme konularında kitapları bulunmaktadır.*

Araş. Gör. Seden ACUN



*1974 yılında İstanbul'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimden sonra 1993 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde başladığı mimarlık eğitimini 1997 yılında bitirmiş, 1998-2000 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Bilgisi Programı'nda yüksek lisans yapmıştır. 1999 yılında Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Anabilim Dalı Yapı Malzemesi Biriminde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2000 yılında Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi isimli yüksek lisans tezini vermiştir. Yine 2000 yılında aynı bölümde doktora başlamıştır. Lif takviyeli beton ve sıvalar, harçlar, geleneksel yapı malzemeleri, yapı hasarları ve korunması ve doğal taş koruma ve sağlamlaştırma metotları üzerinde çeşitli çalışmaları ve yayınları bulunmaktadır.*

Çevremizdeki tarihi yapıların büyük bir kısmı, taş ve tuğla gibi kâgir malzemenin yığılma sistemi ile yapılmışlardır. Bu yapıların örgü derzlerinde ve sıvalarında kullanılan harçlar, genellikle kireç bağlayıcıdır. Bu harçların içinde, agrega olarak, tuğla tozu ve kırığı da bulunmakta, bu özel dokulu, pembe renkli harçlara, "horasan harcı" denilmektedir.

İstanbul'daki tarihi yapılar incelendiğinde, horasan harçlarının en erken Bizans yapılarında kullanıldığı görülmektedir. Bu yapılar arasında, Büyük ve Küçük Ayasofya Camileri, Magneura Sarayı ve İstanbul surları ilk akla gelenler arasındadır. Bu yapılardaki harçlar, açık krem renkli kireç hamurlu matris ile tuğla kırıntısı ve parçalarından oluşmaktadır.



Resim 1. Magneura Sarayı'ndan alınan harç parçaları

Mekanik dayanımları yüksek ve suya dayanıklı olan bu harçlarda, yaklaşık 1500 yıllık süreç içinde kireç hamuru ile tuğla parçaları arasında bağlar oluşmuştur.

Daha sonraki dönemde, yani geç Bizans dönemi yapılarında bu özellik azalmakta, kirecin bağlayıcılık özelliğinin zayıfladığı görülmektedir. Benzer şekilde ilk Osmanlı yapılarında kullanı-

lan harçlar yüksek kaliteli ve dayanıklı bulunmuştur. 18. yüzyıl sonları ve 19. yüzyıl yapılarında harç karışımının bileşimi ve oranları değişmiş, harçlarda bağlayıcılık özelliği azalmıştır. Özellikle 20. yüzyıldaki fosil yakıtların kullanımı sonucu havanın kirlendiği ve karbonik asit ve kükürt dioksit yoğunluğunun arttığı bu dönemde, doğal taşlar, tuğlalar bozulmuş, sıvalar ve derz harçları ayrı ayrı aşınmış ve yapılar büyük oranda hasar görmüşlerdir.

1950'li yıllardan sonra yapıya bilinçsizce giren çimento, eski eserlerin onarımında da kullanılmaya başlanmıştır. Horasan harcı görünümünü vermek için, çimento, kum ve taş pirinci veya tuğla kırıkları ile hazırlanan harçlara kırmızı boya da katılarak yapılan uygulamalar, günümüze kadar gelmiştir.



Resim 2. Çimento harçlı horasan benzeri harçlarla yapılan onarımlarda görülen bozulmalar

Onarım harçlarında kireç ile birlikte çimento kullanımı harcı sertleştirmekte, su ve buhar akımı rejimlerini değiştirmekte, bu da çimentolu harç ile eski harçların bağdaşmasını engelleyerek

dökülmelere neden olmaktadır. Restoratörlerin ısrarla bu uygulamadan vazgeçilmesini istemelerinden sonra, eski yapılarda kullanılan horasan harcının özellikleri, bileşimi ve yeniden uygulanabilirliği, araştırılmaya başlanmıştır.

## 2. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN HORASAN HARÇLARI

Horasan harcının bileşimi, bugünkü araştırmamızın sonucuna göre, üç ana maddeden oluşmaktadır. Bunlar, kireç, tuğla tozu ve kırığı ile katkı maddeleridir. Bileşime giren maddelerin uygun özellikte olmaları sonuç üzerinde çok etkili olduğundan, bu maddeler, kısaca incelenmiştir.

**Kireç:** Kireçtaşı veya kalker adı verilen doğal taşlar, büyük oranda kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) bileşimli, amorf veya kristal yapıdadırlar. Bu taşlar, laboratuvar koşullarında 900oC de ayrışmasına rağmen, uygulamada 1000oC'nin üstünde kızdırılması ile sönmemiş kireç (CaO) elde edilir. Sönmemiş kireç su veya havanın nemi ile hızlıca tepkimeye girerek sönmüş kireç [Ca(OH)<sub>2</sub>] haline dönüşür. Kirecin söndürülme işi, harç yapımında önemli olduğu için, tarihi yapıların restorasyon işlerinde kireç teknesi denilen süzgeçli teknelerde bol su ile söndürülüp, kireç çukurlarına dökülerek en az üç hafta bekletildikten sonra kullanılmalıdır. Bu süre içinde kireç hamurunun üzerinde bir miktar su katmanı bulunmalı ve hava ile olan ilişkisi kesilmelidir. (Eski yazıtlarda kirecin senelerce bekletildiği kaydedilmiştir.) Bu şekilde kirecin plastikliği artmakta, işlenmesi kolaylaşmakta, söndürme işlemi sırasında oluşan kalsiyum hidroksit bileşimindeki portlandid kristalleri küçülmekte, bağlayıcılık ve kimya-

sal etkinliği önemli derecede artmaktadır. Bu etkinlik, sadece karbondioksit ile tepkimeye girmesinde değil, tuğla tozu ve diğer katkılar ile yapacağı bağlar için de önemlidir.

**Tuğla tozu ve kırığı:** Kireç esaslı harçlarda agrega olarak bileşime giren malzemeler ile, kirecin bağlayıcılık özelliği gerçekleşmektedir. Adi kireç harçlarında bulunan kum ve küçük çakıllar, harcın hava geçirmesine neden olmakta ve havanın karbondioksiti kireç ile tepkimeye girerek kalsiyum karbonat zerrelerini oluşturmaktadır. Karbonatlaşmanın gerçekleşmesi, su ve havanın varlığı ile oluşmakta ve bu nedenle kirece "hava kireci" denilmektedir. Bu harçlar, sulu ve nemli ortamlarda dayanıklı olmamaktadır. Horasan harçlarında agrega olarak tuğla tozu ve kırığı bulunmakta ve bunların kireç ile tepkimeye girdiği, hava kirecine göre daha dayanıklı olduğu, eskiden beri tecrübe ile bilinmektedir. Kimyasal teoriye göre tuğlada bulunan silikatlı malzemeler, kalsiyum hidroksit ile kalsiyumlu sulu silikatlara dönüşmektedir.

Doğada bulunan ve alümina silikat içeren volkanik malzemelerin de bu özelliği gösterdiği, Roma'lılar tarafından bulunmuş ve Roma betonu denilen harçların yapımına olanak vermiştir. Malzemenin ilk bulunduğu bölgenin adından dolayı bu özellikteki malzemelere puzolan denilmektedir. Puzolanik malzeme ile kirecin tepkimesinin gerçekleşebilmesi için malzemenin çok ince öğütülmesi gerekmektedir.

Restorasyon amaçlı uygulamalarda tuğla tozu ve kırığı ile yapılan harçlarda, renk koyu kırmızı olmakta ve eski horasan dokusundan uzaklaşmaktadır. Çoğu araştırmacıların belirttiği şekilde, tuğla kırığı tanelerinin çevresinde

kireç ile bağlanma durumunun oluşması, ancak asırlarca beklemiş harçlarda görülmekte, taze horasan harçlarında, birkaç yıllık süre içinde bağ oluşumu görülmemektedir.

Bir araştırma raporunda "Osmanlı döneminde horasan harcı hazırlamak için kullanılacak tuğlaların yeni ve iyi pişirilmiş olması" koşulunun şartnamelere girdiğinden bahsetmektedir. Bu ifadedeki iyi pişirilme, araştırmacılar tarafından, tuğlanın 550o-650oC arasında pişirilmesi, yeni pişirilmiş olması da su ve nem almadan ve etkinliğini kaybetmeden kullanılmasının sağlanması şeklinde yorumlanmıştır. Araştırmalar, amorf silikatların su ile silisik aside dönüşmekte olduğu ve zamanla bu asitin azaldığı ve pişmiş kilin etkinliğinin zayıfladığını göstermiştir.

Diğer taraftan düşük sıcaklıkta pişirilmiş tuğlaların mekanik ve kimyasal dayanımı çok düşük olmaktadır. Hâlbuki eski horasan harçları incelendiğinde tuğlaların dayanımı hiç de düşük değildir.

İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Malzemesi laboratuvarında yapılan bir yüksek lisans tez çalışmasında, tuğla tozunun pişirilme sıcaklığına, pişirilme süresine ve tuğla toprağında bulunan kilin türüne göre puzolanik özellikler araştırılmıştır. Literatürde de belirtildiği şekilde killerin, 300-400oC'lerde kristal sularını kaybettikleri, kaolinit yapıdaki killerin ayrışarak SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksitlerine ayrıldığı, illit ve montmorillonit karışımı olan diğer killerin ayrışma sıcaklığının daha yüksek olduğu DTA analizleri ile bulunmuştur. Bu verilere göre yapılan deney programında 600oC, 700oC, 800oC sıcaklıklarda olmak üzere 1 ve 2 saatlik pişirme süreleri uygulanmıştır. Deney örneklerinin küçük boyutlu olması nede-

niyle pişirme süresi etkisiz olmuştur. Hazırlanan tuğla parçaları, Osmanlı horasan şartnamesinde olduğu gibi, su ile temas etmeden, öğütülmüş ve TS 25 standardında belirtilen oranlarda, kireç ve standart kum ve su ile hazırlanan harçlar, 55oC-60oC sıcaklıktaki etüvde nemli ortamda bir hafta bekletilerek kürlenmiştir. Süre sonunda yapılan basınç deneylerinde, kaolinik killerle hazırlanan örnekler, her üç sıcaklık derecesinde, 11,9 MPa (120 kgf/cm<sup>2</sup>) mertebesinde, illit-montmorillonit karışımı killerde ise, ancak 800oC de pişenler 11 MPa mertebesinde basınç dayanımı vermiştir. Bulunan sonuçlar, iyi kalitede tuğla toprağı ile hazırlanan düşük sıcaklıklarda pişirilmiş tuğlaların çok ince öğütülmüş tozları ile yapılacak horasan harçları, eski harçların özelliklerine uygun sonuçlar vereceğini göstermiştir.

Ancak bu şekilde üretim, aşağıda açıklanacağı üzere, pratik olmadığı gibi, eski örneklerle de uyum göstermemektedir.

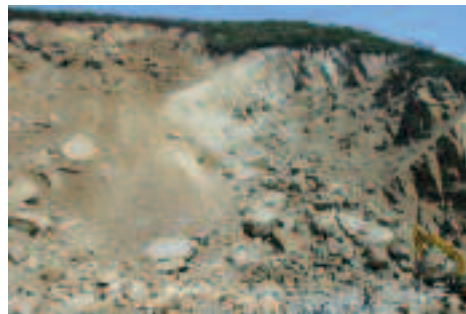
1. Önerilen düşük sıcaklıkta pişmiş tuğlalar düşük dayanımlı olmaktadır. Halbuki eski yapılarda kullanılmış harçlarda gözlemlenen tuğlalar ve bunlardan yapılan agregalar, iyi kalitede ve yüksek sıcaklıkta pişmiş dayanıklı tuğlalardır. Tuğlaların pişirilmesi de, harman tuğlası yöntemi ile olduğundan, pişirilme sıcaklığının kontrol edilmesi olanaksızdır.
2. Harç yapılmadan önce, agrega olarak kullanılacak tuğla kırığı ve tozlarının sudan korunmuş olması da olası görülmemektedir.

Bu nedenlerle dayanıklı eski horasan harçlarında, bileşime giren kireç, tuğla tozu ve kırığı yanında bazı ek maddelerin kullanıldığı kanısı oluşmuş

ve araştırmalar bu yönde gelişmiştir. Tarihi dönemlerde bu amaçla kirece, kan, yumurta akı, peynir suyu ve süt, gübre, Arap zamkı, hayvan tutkalı gibi bir çok maddeler denenmiş, bunların bir kısmından olumlu, bir kısmından da olumsuz sonuçlar elde edilmiştir. Bu katkılar yanında Roma Betonu'nda kullanılan puzolanların horasan harcında, tuğla tozu yanında kullanılması da bulunmaktadır.

### 3. TARİHİ YAPILARIN RESTORASYON VE ONARIMLARI İÇİN HARÇ ÖNERİSİ

Katkı maddelerinin içinde, kireç ile tepkimeye girerek silikatlaşmayı sağlayan ve puzolan denilen maddeler üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır. Puzolanlar doğal ve yapay olarak iki grupta toplanmaktadır. Doğal puzolanlar, genel olarak volkanik küllerden yani tüflerden oluşmakta, yapay olanlar ise, pişmiş killer, silisli bitkilerin külle-ri, yüksek fırın cürufları, uçucu küller olarak sayılabilmektedir. Bu maddeler



arasında bulunması en kolay ve uygulanabilir olarak tüfler araştırılmış ve silis oranı yeterli, İstanbul'a yakın olan bir tür seçilerek deneyler yapılmıştır.



Resim 3. İstanbul'a yakın bulunan doğal puzolan kaynakları

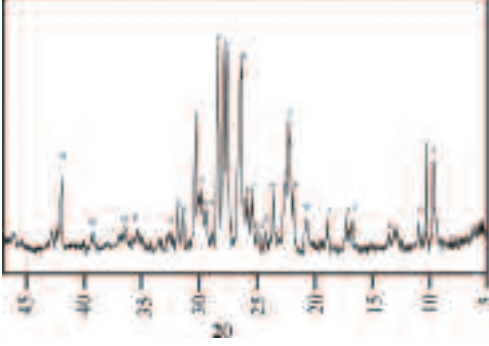
**Deneysel çalışmalar:** Puzolan olarak seçilen malzeme beyaz-yeşilimsi gri renkte olup, kireç ile tepkimeye girebilmesi için öğütölmüş ve en az 125 mikrometre lik elekten elenerek kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal analizi Matel Hammadde A.Ş. laboratuvarında yapılmış olup sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Puzolanın kimyasal analiz sonuçları

örnek	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	Toplam
BT	61,23	16,74	2,42	0,56	6,97	2,29	3,16	1,08	-	-	6,51	100,00

Analiz sonuçlarına göre (SiO<sub>2</sub>) silis oranı istenen seviyelerde olup, etkin olmayan kuvars türü olmadığı, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CaO, Na<sub>2</sub>O ile bağlı olarak feldspat türü minerallerden geldiği ve aktiflik oranının yüksek olacağını göstermektedir.

Grafik 4. Kullanılan doğal puzolanın XRD grafiği



Puzolanik aktivite deneyleri, TS 25, "Tras Çimentosu" Standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kireç, sönmemiş kireç olarak alınmış ve laboratuvar ortamında söndürülmüştür. Hazırlanan harçlar kürlendikten sonra 1 hafta sonunda kırılmış ve ortalama 13 MPa (130 kgf/cm<sup>2</sup>) basınç dayanımı bulunmuştur. Bu değer, standartta alt sınır olan değer üç katından fazladır.

Örnekler	a (mm)	b (mm)	Eilme Yüğü (N)	Eilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Yüğü 1.Parça (N)	Basınç Yüğü 2.Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
BT125	41,07	39,86	1100	2,53	20000	21000	12,52
BT125	41,25	39,79	1150	2,64	22000	22000	13,4
BT125	41,38	39,77	1300	2,98	22000	22000	13,4

Tablo 2. Puzolan karışımı örneklerin eğilme ve basınç dayanım deneyi sonuçları

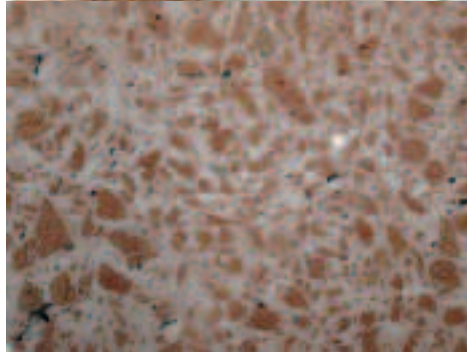
TS 25 standardına göre bir malzemenin puzolanik özellik taşıyıp taşımadığını anlamak için en az değerler şunlardır:

Eğilme dayanımı= 1 N/mm<sup>2</sup>

Basınç dayanımı= 4 MPa

Malzemenin puzolanik aktivite değerlerinin uygun bulunmasından sonra, horasan harcı içindeki davranışı

araştırılmıştır. Bu amaçla, uygulanması düşünülen tarihi bir yapıdan alınan örneklerdeki kireç, tuğla tozu ve kırığı oranlarına uygun olarak, kireç ile tepkimeye girecek miktarlarda puzolan katkısı katılarak harç örnekleri hazırlanmış, bir haftalık kürlenme sonunda ortalama 10 MPa (100 kgf/cm<sup>2</sup>) lik basınç dayanımı bulunmuştur. Aynı karışımdan hazırlanan örnekler, üretimden sonra 1 ay suda bekletilmiş, bu süre içinde harcın dağılmadığı gibi dayanımının 14 MPa'ya yükseldiği görülmüştür. Benzer şekilde kuru havada bekletilen örneklerde dayanım azalması görülmemiştir.



Resim 4. Laboratuvar ortamında hazırlanan horasan harçları

Örn.	Boyutlar (mm)	Eilmede Çekme Kuvveti (N)	Eilmede Çekme Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Kuvveti 1.Parça (N)	Basınç Kuvveti 2.Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanım (MPa)
1	42,97/39,87/160	1400	3,1	18000	18000	10,5
2	42,68/39,87/160	1300	2,9	17000	17000	10,0
3	42,06/39,90/160	1150	2,6	17000	17000	10,0

Tablo 3. Onarım için kullanılacak horasan harcı karışım oranlarına göre üretilen örneklerin 1 hafta sonundaki mekanik özellikleri

Ortalama Eğilme Çekme Dayanımı = **2,9 N/mm<sup>2</sup>**

Ortalama Basınç Dayanımı = **10 MPa** olarak bulunmuştur.

\* 1MPa =10 kgf/cm<sup>2</sup>



Resim 5. Laboratuvar ortamında yapılan eğilme ve basınç deneyleri

Tablo 4. Onarım için kullanılacak horasan harcı karışım oranlarına göre üretilen örneklerin 1 ay süre boyunca suda kaldıktan sonraki mekanik özellikleri

Örn.	Boyutlar (mm)	Eilmede Çekme Kuvveti (N)	Eilmede Çekme Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Kuvveti 1.Parça (N)	Basınç Kuvveti 2.Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanım (MPa)
2H1	40,57/39,93/159	800	1,8	22000	22000	13,75

Tablo 5. Onarım için kullanılacak horasan harcı karışım oranlarına göre üretilen örneklerin 2 ay süre boyunca suda kaldıktan sonraki mekanik özellikleri

Örn.	Boyutlar (mm)	Eilmede Çekme Kuvveti (N)	Eilmede Çekme Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Kuvveti 1.Parça (N)	Basınç Kuvveti 2.Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanım (MPa)
2H2	40/40/160	900	2,1	18000	18000	11,25

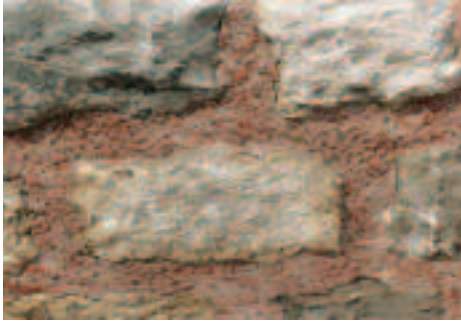
Tablo 6. Onarım için kullanılacak horasan harcı karışım oranlarına göre üretilen örneklerin 3 ay süre boyunca suda kaldıktan sonraki mekanik özellikleri

Örn.	Boyutlar (mm)	Eilmede Çekme Kuvveti (N)	Eilmede Çekme Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Kuvveti 1.Parça (N)	Basınç Kuvveti 2.Parça (N)	Ortalama Basınç Dayanım (MPa)
2H3	41/40/150	620	2,13	21000	21000	12,8

Laboratuvar sonuçlarının olumlu bulunmasından sonra karışım oranları belirlenmiş ve Ayvansaray'da bulunan Anemas Zindanları ile Edirnekapı'daki Tekfur sarayında, daha önce kullanılmış olan harçların dokusunda ve benzer kireç/agrega oranlarında tekrar bileşimler hazırlanmış ve uygulanmıştır. Resimlerden görülebileceği gibi uygulamalar başarılı olmuş, soğuk ve don etkisi, yağmur etkisi gibi doğal eskiticiler altında bile taze harçlar başarılı sonuçlar vermiştir.



Resim 6. Anemas Zindanları restorasyonu



Resim 7. Anemas Zindanları Restorasyonlarında kullanılan horasan harçları



Resim 8. Tekfur Sarayı restorasyonu

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Eyüp, yeni bir onarım ve restorasyon çalışmalarına açılmıştır. Çoğu tarihi yapıların harçları özgün dokulu ve bileşimdedir. Yeni uygulamalarda eski harçlar ile bağdaşacak, aynı su ve buhar geçirimsizlik değerlerine sahip, rijit olmayan harçlara gereksinim olacaktır. Bu güne kadar horasan harcı bileşimlerine beyaz çimento katılarak, puzolanik etki yaratılmak istenmekte idi, ancak, az katılan çimentonun bir yararı olmamakta, fazla katılan çimento ise rijit bir kabuk oluşturarak alttaki harçlarla bağdaşmamakta idi. Önerilen puzolanik madde ile hazırlanacak harçlar, bu sorunların büyük ölçüde giderilmesine yardımcı olacaktır. Ancak, her yapı için tek bir bileşim olmamalı, harçların önce, kireç/agrega oranları



Resim 9. Tekfur Sarayı restorasyonu horasan harcı uygulaması

bulunmalı, agrega türü belirlenmeli ve benzer doku ve görünüşte, mekanik özellikleri eski harç ile uyumlu harçlar hazırlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Daştan A., "Pişmiş Killerin Puzolanik Özellikleri", Y. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü 2005, İstanbul.
2. Koçu N., "Konya Çevresindeki Volkanik Tüflerin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü 1997, İstanbul.
3. Postacioğlu B., Çakıroğlu N., Ortabaşı N., "Kayseri Puzolanları", İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Araştırma Kurumu Seri:C, Sayı :1, 1960 İstanbul.
4. Böke H., Akkurt S., İpekoğlu B., "Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sivalarının Özellikleri", YAPI Y.E.M. Yayını, Sayı: 269, s:90-95 Nisan 2004, İstanbul.
5. Akman M. S., Güner A., Aksoy İ. H., "The History and Properties of Khorasan Mortar and Concrete", Turkish and Islamic Science and Technology in the 16th Century, Vol.I, s:101-112, İ.T.Ü. Research Center of History of Science and Technology, 1986, İstanbul.
6. Satongar L. Ş., "İstanbul Şehir Surları Horasan Harçları Üzerine Bir Araştırma", Y. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü 1994, İstanbul.
7. TSE; TS 25, "Tras", Türk Standartları Enstitüsü, 1975, Ankara.