itüdergisi/***d***
mühendislik

Kayseri'de Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Dönemi yapıları harçlarının özellikleri ve onarım harçları tasarımı

Hale KOZLU*, Ahmet ERSEN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Restorasyon Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Geleneksel malzemeler ve onlardan üretilmiş mimari elemanlar, gerek özgün yapıları, gerekse bozulma süreçleri karşısında geçirdiği değişimler nedeniyle kendilerine özgü problemlere sahip olan ve korunması gereken tarihi belgelerdir. Koruma biliminde, mevcut özgün malzemeler hakkında yapılan değerlendirme sonucu elde edilen bilgiler, özgününe uygun onarım malzemelerinin hazırlanabilmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Ancak genel karakterizasyonu yapılan bu malzemeler için onarımlarda kullanılmak üzere yeni üretimler yapılması ve yeni üretilen bu malzemelerin orijinal malzemeler ile uygunluğunun koruma biliminin ölçütlerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Kayseri'de Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Dönemleri'nde inşa edilmiş 15 adet tarihi yapı belirlenerek bu yapılardan duvar örgü harcı ve iç mekân sıva harcı örnekleri alınmıştır. Örneklerin malzeme içerikleri ve oranlarının belirlenebilmesi amacıyla fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizler gerçekleştirilerek benzer özelliklere sahip örnekler gruplandırılmıştır. Bu değerlendirmelere dayanarak, yapıların restorasyonunda kullanılabilecek onarım harcı önerileri geliştirilmiştir. Öncelikle mevcut hammadde kaynakları araştırılmış, özgününe en yakın malzemelerle laboratuar ortamında onarım harçları üretilmiştir. Üretilen 3 çeşit duvar örgü harcı ve 2 çeşit sıva harcının 6 aylık süreç içerisindeki fiziksel ve mekanik özellikleri saptanarak özgün örnekler ile uyumu karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Harç, Sıva, Konservasyon, Onarım Harçları, Restorasyon, Kayseri, Roma, Bizans, Selçuklu, Osmanlı.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Hale KOZLU. halekozlu@gmail.com; Tel: (352) 437 52 82.
Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Restorasyon Programında tamamlanmış olan "Kayseri yöresindeki tarihi harçların karakterizasyonu ve onarım harçlarının özellikleri" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır.

Characterization of Historical Mortars in Roman, Byzantine, Seljuk And Ottoman Buildings Located in Kayseri and The Design of Restoration Mortars

Extended abstract

Historical buildings, which have survived throughout history to the present, are exposed to a rapid corrosion process due to natural effects, misuse and conscious destruction. The only way to ensure their survival without losing their characteristics is to adopt the right measures which will result in conscientious restorations. The main problem with restoration of buildings that have suffered from different effects is to find building materials to repair the structural damage and material decay. The repair techniques must match the original materials used in the building. Information determined about the original materials in buildings is very important in order to choosing the restoration materials. After general evaluation, it is necessary to determine what restoration materials can match the original mortars in both form and structure.

General principles of restoration, include conserving the original construction materials and techniques as much as possible and preserving a building's authenticity by choosing techniques which will not harm the building's essential historical structure were used during initial construction. For this reason, it is very important to carefully determine what original materials and to prepare a matching restoration material that will not alter the building's originality.

Many mistakes have been seen especially with materials and building techniques used in most of the restorations in Turkey. The recent restorations, in particular with a few exceptions, have damage buildings because conscientious approaches, where not employed. These hasty restorations have caused both a loss of information about past technologies and materials used in construction, and they have destroyed the historical value of these buildings. One of the most damaging effects of these above-named restorations is the use of materials incompatible with the historical features of the building without having performed necessary analyses.

Many studies have analyzed the corrosion process and the structure of mortars used to connect natural stones which were preferred due to their aesthetics, variety and strength in traditional buildings all along the history of monumental constructions. However, when we consider that every district and every period has its own particular of construction materials, it is clearly seen that these studies have not yet become widespread, especially in Anatolia. Although some studies have been conducted on puzzolanas (volcanic ashes which are used to improve hydraulic features), it is necessary to expand these studies in order to be certain that these materials are appropriate for different districts and different time periods.

The purpose of this thesis is to design the recipes of repair mortars and plasters for the conservation works in Kayseri which has a great potential of volcanic materials and tradition of hydraulic mortars.

In this context, fifteen buildings in Kayseri belonging to the Roman, Byzantine (4th, 6th, 11th century), Seljuk (13th, 14th century) and Ottoman (15th, 16th, 18th, 19th century) periods have been selected for sampling. The original mix proportions and properties of the samples have been identified by physical, chemical, mechanical and petrographical analysis and classified according to their similar properties. Evaluating these analyses, plaster samples which are appropriate for restorations of the overmentioned buildings were designed. In this process, the existing sources for raw materials have been researched; samples from the reactive aggregates, lime kilns and the stone quarries of the region have been searched and evaluated to determine the material that has the similar properties with the original. Conservation mortars have been produced in laboratory medium using the same ratio of mixture determined through the characterization study. Three types of conservation mortars and two types of plasters were tested for their mechanical and physical qualities during six months and these values were compared with original samples

Keywords: *Mortar, Plaster, Conservation, Conservation Mortars, Restoration, Kayseri, Roman, Byzantine, Seljuk, Ottoman.*

Giriş

Farklı dönemlerden günümüze ulaşabilmiş olan tarihi yapılar, gerek doğal etkenler gerekse hatalı kullanımlardan ve bilinçli tahribatlardan kaynaklanan yıpranmalar nedeniyle hızlı bir bozulma sürecine maruz kalmaktadırlar. Bu yapıların özgün özelliklerini kaybetmeden varlıklarını sürdürebilmeleri, ancak gerekli koruma önlemlerinin alınması ve bilinçli bir restorasyon çalışması yapılması ile mümkün olabilmektedir. Genel restorasyon ilkeleri göz önünde bulundurulduğunda, yapıların özgün malzeme ve yapım tekniğini mümkün olduğunca korumak, yeni malzeme kullanımı gerektiğinde ise tarihi yapı bünyesine zarar vermeyecek bir müdahale yöntemi seçmek yolu ile otantiklik değerine saygı duymak temel ilke olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, yapıların özgün malzemelerinin doğru saptanması ve onarımlarında, bu özgünlüğü zedelemeyecek yeni malzemelerin kullanımı büyük önem kazanmaktadır. (Torraca, 1982; Ashurst, 1984; Teutonico, 1988; Ersen, 1991; Güleç ve Ersen, 1998; Jokilehto, 1999; Feilden, 2003).

Ülkemizdeki restorasyon uygulamalarının büyük çoğunluğunda, özellikle malzeme ve yapım tekniği konusunda ciddi hatalar yapılmaktadır. Özellikle son yıllarda uygulanan tarihi eser restorasyonları, bazı istisnalar haricinde, yapıların, koruma amacından uzak bir yaklaşımla bilinçsizce tahrip edilmelerine sebep olmuşlardır. Hızla devam eden bu restorasyonlar, bir taraftan yapıların tarihi belge değerlerini yok ederken, bir taraftan da geçmiş teknolojilerin önemli bilgi kaynaklarından olan tarihi yapı malzemelerine zarar vermişlerdir. Söz konusu restorasyonlar nedeni ile oluşan tahriplerin en önemli nedenlerinden birisi, yeterli araştırma yapılmadan kullanılan, tarihi yapı bünyesine uyumsuz onarım malzemeleridir. Bu nedenle restorasyon çalışmaları kapsamında yapılan bütünlemelerde doğru form, yapım tekniği ve malzemenin seçilmesi gerekmektedir.

Yapıların özgün malzemelerinin özelliklerin tespit edilmeleri, sağlıklı bir restorasyon çalışmasının gerçekleştirilebilmesi için en temel adımlardan birisidir. Mevcut özgün malzemeler hakkında yapılan karakterizasyon çalışması sonucu elde edilen bilgilerin, özgününe uygun onarım malzemelerinin hazırlanabilmesini sağlayacak yeterlilikte ve açıklıkta olması, yapının eskiyen veya yok olan elemanlarının yeniden üretilmesini ve restorasyonun yapının otantiklik değerine zarar vermemesini sağlayacaktır.

Geleneksel mimaride anıtsal yapılarda, dayanıklılığı, çeşitliliği ve estetik görünümü nedeniyle tercih edilen doğal yapı taşları ve bu taşları birbirine bağlamak amacıyla kullanılan harçların, bünyeleri ve bozulma süreçlerinin incelenmesi konusunda gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak her bölgenin ve dönemin yapı malzemelerinin farklı özellikler gösterdiği göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmaların özellikle Anadolu'da henüz yeterince yaygınlaşmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı; volkanik malzemeler açısından çok zengin bir potansiyele sahip olan ve genellikle hidrolik harçların kullanılmış olduğu Kayseri'de, geçmiş dönemlerde kullanılan harç ve sıvaların incelenerek karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi ve bu yapıların onarımlarında kullanılabilecek yeni harç önerileri üretilmesidir. Bu kapsamda, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Dönemlerinde yapılmış olan tarihi yapılardan harç örnekleri alınarak orijinal bileşimleri tespit edilmiş, mevcut reaktif agregalar, kum, puzolanik toprak ve kireç ocakları araştırılarak bu yeni malzemelerle üretilen onarım harçlarının tarihi duvarlara ve eski harçlara uygunluğu analiz edilmiştir.

İncelenen yapılar

Çalışma kapsamında incelenen yapılar belirlenirken, mümkün olduğunca az onarım geçirmiş, son dönemlerde restorasyonu yapılmamış yapılar seçilmiştir. Seçilen yapıların büyük çoğunluğu yarı yıkık durumda olup kullanılmamaktadır. Bu kapsamda belirlenen ve Roma Dönemi, Bizans Dönemi (4. yy, 6. yy, 11. yy, Selçuklu Dönemi (13. yy, 14. yy), Osmanlı Dönemi'ne (15. yy, 16. yy, 18. yy, 19. yy.)

tarihlenen 15 adet yapıdan duvar örgü harcı ve iç mekân sıva harcı örnekleri alınarak malzeme içerikleri ve oranlarının belirlenebilmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir [1]. Bu bağlamda, belirlenen yapılar ve dönemleri Tablo 1 ve Tablo 2'de belirtilmektedir.

Tablo 1. Duvar örgü harçları incelenen yapılar ve dönemleri

Duvar Örgü Harçları İncelenen Yapılar	
Yapı	**Dönemi**
Beştepeler Kale Kalıntısı	Roma Dönemi
Kuru Köprü	Roma Dönemi
Aziz Basilius Manastırı Kalıntıları	Bizans Dönemi 4.yy.
Gevher Nesibe Sultan Tıp Medresesi	Selçuklu Dönemi 13. yy.
Kızıl Köşk	Selçuklu Dönemi 13. yy.
Güpgüpoğlu Konağı Hamam Bölümü	Osmanlı Dönemi 15. yy.
Gön Hanı	Osmanlı Dönemi 16. yy.
Gavremoğlu Konağı	Osmanlı Dönemi 18. yy.
Kuyumcuoğlu Konağı	Osmanlı Dönemi 19. yy.

Tablo 2. Sıva harçları incelenen yapılar ve dönemleri

Sıva Harçları İncelenen Yapılar	
Yapı	**Dönemi**
Gereme Panagia Kilisesi	Bizans Dönemi 6. yy.
Erdemli Kilise Camii	Bizans Dönemi 11. yy.
Erdemli Aziz Nikolaos Kilisesi	Bizans Dönemi 11. yy.
Kızıl Köşk	Selçuklu Dönemi 13. yy.
Erdemli Eustathios Kilisesi	Selçuklu Dönemi 14. yy.
Güpgüpoğlu Konağı Hamam Bölümü	Osmanlı Dönemi 15. yy.
Setenönü Hamamı	Osmanlı Dönemi 18. yy.
Darsiyak Yanartaş Rum Kilisesi	Osmanlı Dönemi 19. yy.

[1] Beştepeler Kale Kalıntısı, Kuru Köprü, Aziz Basilius Manastırı Kalıntıları, Gereme Panagia Kilisesi ve Erdemli Aziz Nikolaos Kilisesi ile ilgili yapılan analizler Altun, F., Tanyeli, G., Kozlu, H., Düğenci , O. tarafından 2009 yılında tamamlanan 107M538 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK'tan maddi destek alınarak gerçekleştirilmiştir.

Özgün harçların karakterizasyonu

Örnek alma ve görsel analizler

Çalışma kapsamında ele alınan harç örneklerinin alınmasında, mümkün olduğunca yapının müdahale görmemiş bölümleri tercih edilmiş, farklı mekânların farklı yüksekliklerinden örnekler elde edilmiştir. Harç örnekleri alınırken örneklerin hava ile temasının en az seviyede olmasına dikkat edilerek yüzeyin iç kısmından örnek alınmış, orijinal malzemelere zarar verilmemesi ilkesi esas alınmıştır. Bu nedenle yapılardan karot alınması yöntemi yerine elle ve yardımcı aletlerle örnek alınma yöntemi tercih edilmiştir. Öncelikle yapının rölövesi çıkarılarak örneğin alındığı nokta çizim üzerinde işaretlenmiş, makro ve mikro fotoğraflarla görüntülenmiştir. Örnekler mümkün olduğunca kütle halinde çıkarılmaya çalışılmış, ancak bazı örneklerin zayıf olmaları ve çabuk dağılmaları nedeniyle kütle elde edilmesi zor olmuştur. Bazı örnekler ise günümüze az miktarda ulaşabildiğinden sınırlı miktarlarda alınabilmiştir. Örnekler alındıktan hemen sonra kilitli plastik torbalara konularak etiketlenmiş, yapı isimlerine göre gruplandırılarak kodlanmış ve laboratuar çalışmaları başlamadan önce ölçek verilerek fotoğraflanmıştır. Görsel analizler kapsamında örneğin alındığı duvar tipi, agregaların boyut ve renkleri, bağlayıcı renkleri ve lifli madde içerikleri ve korunmuşluk durumları belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmalar kapsamında fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizler gerçekleştirilerek örneklerin bağlayıcı özellikleri ve bağlayıcı:agrega oranları tespit edilmiştir.

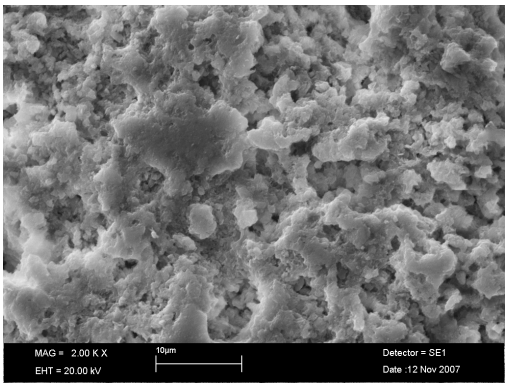
Fiziksel özelliklerin saptanabilmesi amacıyla su emme ve piknometre deneyleri gerçekleştirilmiş, örneklerin kütlece ve hacimce su emme oranları, görünür yoğunlukları (birim hacim kütlesi), gerçek yoğunlukları (özgül kütle) ve porozite değerleri belirlenmiştir. Örneklerin ortalama fiziksel özellikleri Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Örneklerin ortalama fiziksel özellikleri

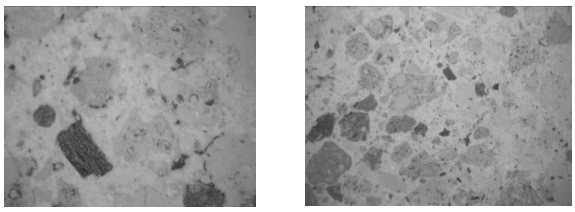
Örnek[2]	Sk (%)	Sh (%)	Δ gr/cm^3	δ gr/cm^3	porozite (%)
BK H1, H2, H3*	19.99	30.54	1.55	2.39	35.83
KP H1,H2, H3, H4,H5*	25.01	35.44	1.46	2.51	41.64
AB H1,H2, H3, H4*	15.96	26.68	1.70	2.50	31.94
GK S1, S2, S3, S4*	17.07	26.81	1.18	2.39	50.47
KC S1, S2, S3	38.22	44.79	1.25	2.38	47.58
NK S1, S2, S3*	50.16	51.66	1.08	2.35	53.97
GM H1, H2,H3	25.55	35.97	1.42	2.54	44.27
EU S1, S2, S3	31.21	41.25	1.37	2.49	45.68
KK H1, H2, H3	23.43	34.46	1.47	2.77	46.74
KK S1, S2, S3	8.95	13.76	1.32	2.57	48.47
GP H1, H2, H3	28.90	37.44	1.32	2.58	48.86
GP S1, S2	35.24	40.22	1.21	2.62	53.37
GH H1,H2	20.24	38.77	1.45	2.49	41.31
SH S1, S2, S3	33.12	43.35	1.31	2.52	47.66
GK H1,H2	41.57	39.96	1.24	2.63	53.51
KU H1, H2, H3	21.92	29.40	1.31	2.87	52.89
YK S1, S2, S3	53.55	52.98	1.11	2.48	54.64

* (Altun ve diğ., 2009)

Örneklerin içerisinde bulunan bağlayıcı içeriklerinin ve bileşim oranlarının tespit edilebilmesi amacıyla kızdırma kaybı, asit kaybı, elek analizi, XRD analizi, SEM ve EDXA analizleri, suda çözünen tuzların kalitatif ve kantitatif analizleri, ph ve iletkenlik analizleri, protein ve yağ analizleri gerçekleştirilmiş, örneklerden alınan ince kesitlerin polarizan mikroskopla petrografik değerlendirilmeleri yapılmıştır. Şekil 1'de bir duvar örgü harcı örneğinin SEM görüntüsü, Şekil 2'de bir sıva harcı örneğinin ince kesit görüntüsü verilmektedir.



Şekil 1. AB H2 numaralı harcın SEM görüntüsü



Şekil 2. GK S4 numaralı sıvanın ince kesit görüntüsü

Örneklerin standart boyutlarda olmaması (T.S. EN 1926, 2000) nedeniyle mekanik analizlerin gerçekleştirilmesinde nokta yük (point-load) deneyi tercih edilmiştir. 30-85 mm. arasında kalınlığa sahip olan düzensiz şekillerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında kullanılan bu yöntemde, konik sivri uçlu nokta yük aletinin iki deney başlığı arasına yerleştirilen örnekler hidrolik el pompası ile verilen yükle kırılmış ve kırılan yük manometre üzerinden okunmuştur. Gerekli değerler okunarak düzeltilmemiş nokta yük indeksi hesaplanmıştır**.** Örneklerin farklı kalınlıklarda olması nedeniyle "boyut düzeltme faktörü" yardımı ile düzeltilmiş nokta yük indeksi hesaplanmıştır (ISRM, 1985; Brook, 1985; ASTM D5731, 2008, Tunçoku, 2001). Sıva harçlarının ölçüm için yeterli kalınlığa sahip olmamaları nedeniyle basınç dayanımı ölçümleri yapılamamış olup elle parçalanabilme özelliklerine göre kuvvetli veya zayıf olarak değerlendirilmişlerdir. Örneklerin basınç dayanımları Tablo 4'de verilmektedir.

[2] BK H: Beştepeler Kale Kalıntısı. KP H: Kuru Köprü. AB H: Aziz Basilius Manastırı. GK S: Gereme Panagia Kilisesi. KC S: Kilise Camii. NK S: Aziz Nikolaos Kilisesi. GM H: Gevher Nesibe Medresesi. EU S: Eustathios Kilisesi. KK H/KK S: Kızıl Köşk. GP H/S: Güpgüpoğlu Konağı Hamamı. GH H: Gön Hanı. SH S: Setenönü Hamamı. GK H: Gavremoğlu Konağı. KU H: Kuyumcuoğlu Konağı. YK S: Darsiyak Yanartaş Kilisesi.

Tablo 4. Örneklerin basınç dayanımları

ÖRNEK	BASINÇ DAYANIMI Mpa	ÖRNEK	BASINÇ DAYANIMI Mpa
BK H1*	8.30	KK H1	6.20
BK H2*	8.60	KK H2	6.40
BK H3*	6.10	KK H3	5.,60
KP H1*	6.10	GP H1	7.30
KP H2*	9.70	GP H2	5.90
KP H3*	5.30	GP H3	5.40
KP H5*	8.70	GH H1	6.70
AB H1*	9.10	GH H2	6.90
AB H2*	6.40	GK H1	7.30
AB H3*	6.20	GK H2	< 3.0
AB H4*	8.90	KU H1	3.70
GM H1	5.80	KU H2	4.60
GM H2	6.20	KU H3	4.10
GM H3	5.60	SH S3	5.20

* (Altun ve diğ., 2009)

Örneklerin sınıflandırılması

Yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmalar değerlendirildiğinde, Kayseri'de Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Döneminde inşa edilmiş yapılarda yapım sistemi ve malzeme kullanımı açısından büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir. Ele alınan tüm yapıların duvar malzemesi taş olup duvar ve sıva harçlarının tümünün bağlayıcısı kireçtir. Dönem farklılaşması olmaksızın tüm örneklerin bağlayıcı ve agregalarında farklı türlerde volkanik tüfler kullanılmıştır.

Gerek duvar gerekse sıva harcı örneklerinin bağlayıcılarında katkı malzemesi olarak puzolanik malzemeler olan volkanik tüf tozları kullanılmıştır. Volkanik tüflerin kırıkları, ayrıca agrega olarak da ırmak kumu ve ocak kumlarının yanında sıklıkla kullanılmıştır. Bu bağlamda, örneklerin dönemsel farklılaşmadan çok, bağlayıcı renkleri, içerikleri, bağlayıcı:agrega oranları, agrega içerikleri, fiziksel özellikleri ve mekanik dayanımları açısından gruplandığı görülmektedir. Bu özellikler, aynı dönem yapılarına ait bazı örneklerde ciddi farklılıklar gösterirken, farklı dönem yapılarının örneklerinde benzerlikler ön plana çıkmaktadır.

Harç örnekleri gruplandırıldığında, tez çalışması kapsamında ele alınan yapılar için 7 çeşit sıva harcı (Tablo 5) ve 5 çeşit duvar örgü harcı (Tablo 6) grubu olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Sıva harcı örneklerinin gruplandırılması

	ÖRNEK	BAĞL. RENGİ	DAYANIM	BAĞ./ AGR. ORANI	BAĞL İÇERİĞİ
SIVA 1	GK S1	Krem	Kuvvetli	1/3	Sönmüş kireç+ tüf tozu
	GK S2			1/2	
	GK S3			1/3	
	GK S4			1/2	
	NK S3			2/1	
	EU S1			2/1	
	EU S2			1.5/1	
	EU S3			½.5	
	KK S1i			1/4	
	KK S1k			1/5	
	KK S2k			1/2	
SIVA 2	KK S2i	Toprak rengi	Kuvvetli	3:1	Sönmüş kireç +tüf tozu + alçı
	SH S2k			2.5:1	
	SH S2i			2:1	
	GP S2			2.5:1	
SIVA 3	GP S1k	Krem	Çok zayıf	2.5:1	Sönmüş kireç+ tüf tozu + alçı
	YK S1i			2:1	
	YK S3i			2:1	
SIVA 4	GP S1i	Krem	Kuvvetli	2.5:1	Sönmüş kireç+ tüf tozu + alçı
	SH S1			3:1	
SIVA 5	YK S1k	Krem	Çok zayıf	1/1	Sönmüş kireç+ tüf tozu
	YK S2			1/4	
	YK S3k			1/1	
SIVA 6	KC S1k	Krem	Kuvvetli	2/1	Sönmüş kireç+ tüf tozu
	KC S2			2/1	
	KC S3			2/1	
	NK S1			2/1	
	NK S2			2/1	
SIVA 7	SH S3	Pembe	Kuvvetli	1/4	Sönmüş kireç+ tüf tozu

Tablo 6. Duvar örgü harcı örneklerinin gruplandırılması

	ÖRN.	BAĞL. RENGİ	BAS. DAY. (Mpa)	BAĞL./ AGR. ORANI	BAĞL. İÇERİK
HARÇ 1	BK H1	Gri	8.3	1/6	Sönmüş kireç+ tüf tozu
	BK H2		8.6	1/3	
	BK H3		6.1	1/5	
	KP H1		6.1	1/3	
	KP H2		9.7	1/4	
	KP H5		8.7	1/2	
	AB H1		9.1	1/4	
	AB H2		6.4	1/3	
	AB H3		6.2	1/4.5	
	AB H4		8.9	1/4	
	GM H1		5.8	1/3	
	GM H2		6.2	1/3	
	GM H3		5.6	1/5	
	GP H1		7.3	1/1.5	
	GH H1		6.7	1/2	
	GH H2		6.9	1/3	
	GK H1		7.3	1/2,5	
	KU H1		3.7	1/1,5	
	KU H2		4.6	1/2.5	
	KU H3		4.1	1/2.5	
HARÇ 2	KP H3	Açık sarı	5.3	1/5	Sönmüş kireç+ tüf tozu
	KK H1		6.2	1/3	
	KK H2		6.4	1/1	
	KK H3		5.6	1/2	
	GP H3		5.4	1/1.5	
HARÇ 3	KP H4	Pembe	< 4.0	1/3.5	Sönmüş kireç+ tüf tozu
HARÇ 4	GP H2	Koyu gri	5.9	1/1.5	Sönmüş kireç+ tüf tozu
HARÇ 5	GK H2	Toprak rengi	< 3.0	1/3.5	Sönmüş kireç+ toprak

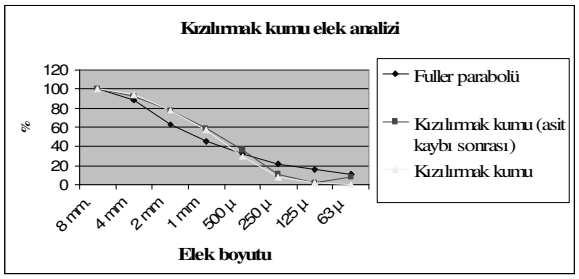
Onarım harcı önerileri

Karakterizasyon çalışması kapsamında özellikleri belirlenen harç grupları arasında en çok örnek ile temsil edilen 5 çeşit harç (3 çeşit duvar örgü harcı, 2 çeşit sıva harcı) için restorasyonlarda kullanılabilecek onarım harcı önerileri geliştirilerek bu önerilerin özgün harç ile uyumları araştırılmıştır

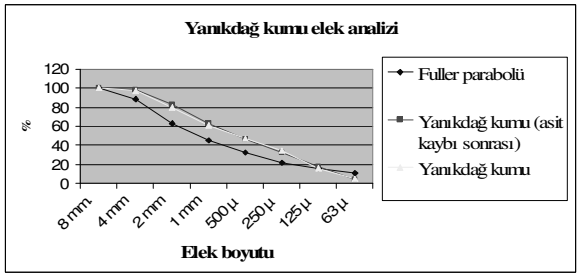
Kullanılan hammaddeler

Onarım harçlarının karışımlarında kullanılan kireç, Kayseri-Ankara karayolu üzerinde Kalaba mevkiinde bulunan Erciyes kireç ocaklarından temin edilmiştir. Fabrikadan alınan sönmemiş kireçtaşları söndürülerek 2 yıl boyunca laboratuar ortamında su içerisinde bekletilmiştir.

İncelenen örnekler içerisinde agrega olarak kullanılan tüf kırıklarının yanı sıra ocak ve ırmak kumlarının da kullanıldığı görülmektedir. Onarım harcı önerilerinde kullanılmak üzere Erciyes Dağı eteklerinde bulunan kum ocaklarından elde edilen Yanıkdağ kumu ve Kızılırmak'tan çıkarılan ırmak kumu kullanılmıştır. Kumların petrografik değerlendirmeleri sonucu Kızılırmak'tan alınan kumların kil, dolomit, kuvars, feldispat, kalsit mineralleri içerdiği, Yanıkdağ'dan alınan kumların ise volkanik kül, pomza ve andezitik tüf parçalarından oluştuğu tespit edilmiştir. Kumların granülometri eğrileri Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmektedir.

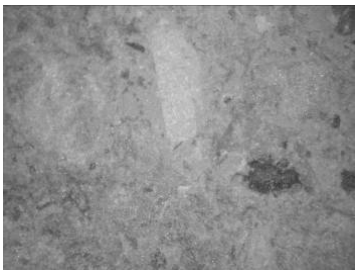


Şekil 3. Kızılırmak kumu elek analizi

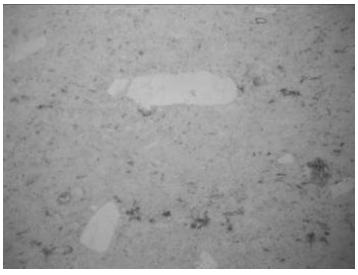


Şekil 4. Yanıkdağ kumu elek analizi

Hem bağlayıcı hem de agrega içerisinde kullanılan bileşenler incelendiğinde bölgede bulunan volkanik tüflerin kullanıldığı görülmüştür. Günümüzde mevcut ocaklardan çıkarılmakta olan ve örnekler içerisindeki tüfler ile renk ve tür olarak benzeşen tüflerin ince kesit değerlendirmeleri ve puzolanik aktivite deneyleri (Tablo 5) yapıldıktan sonra Kahverengi Başakpınar taşı(trakitik tüf) (Şekil 5), Sarı Koçcağız taşı (trakitik tüf) (Şekil 6), Gri Kamber taşı (trakitik tüf) (Şekil 7) ve Pembe Erkilet taşının (riyolitik tüf) (Şekil 8) agrega ve katkı malzemesi olarak kullanılması uygun görülmüştür. Alçı kullanılan örnekleri için üretilen sıva harcı önerisinde Ağırnas bölgesindeki alçıtaşı ocaklarından alınan toz alçı kullanılmıştır.



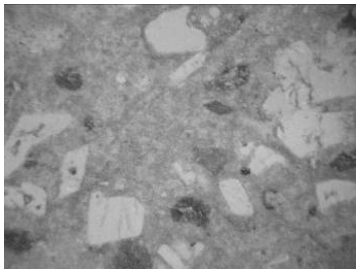
Şekil 5. Başakpınar trakitik tüfü ince kesiti



Şekil 6. Koçcağız trakitik tüfü ince kesiti



Şekil 7. Kamber trakitik tüfü ince kesiti



Şekil 8. Erkilet riyolitik tüfü ince kesiti

Puzolanik aktivite deneyleri

Onarım harçlarında bağlayıcıya katılacak olan puzolanların ve karışım oranlarının belirlenebilmesi amacıyla çeşitli tüflerin, bölgede bulunan puzolanik toprakların ve ocak kumunun T.S. 25'e göre puzolanik aktivite deneyleri yapılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Puzolanik aktivite deneyi sonuçları

ÖRNEK	BASINÇ (mPa) 28 gün
Siyah Tomarza taşı (andezitik tüf)	12,53
Gri Kamber taşı (trakitik tüf)	2,94
Sarı Koçcağız taşı (trakitik tüf	1,41
Pembe Erkilet taşı (riyolitik tüf)	3,56
Kahv. Başakpınar taşı (trakitik tüf)	9,73
Yanıkdağ kumu	11,25

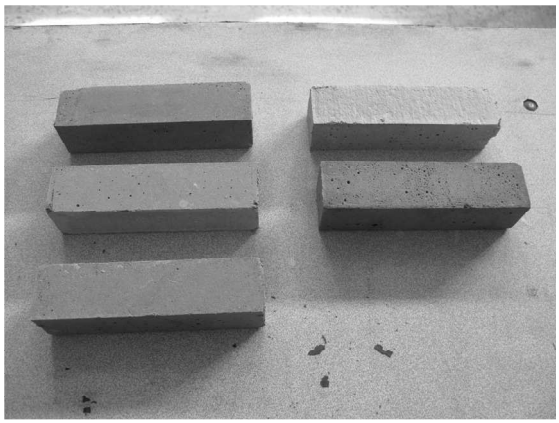
Onarım harcı tasarımı ve üretimi

Çalışma kapsamında sınıflandırması yapılan ve genel temsiliyet açısından ön planda olan 3 duvar örgü harcı ve 2 sıva harcı örneğinin ortalama değerleri alınarak onarım harcının bağlayıcı : agrega oranları ve yaklaşık mekanik dayanımları saptanmıştır. Bu örnekler için geliştirilen onarım harcı önerileri Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8. Onarım harcı üretilecek örnekler ve genel özellikleri

	BAĞL. RENK	ORT. BAS. DAY.	BAĞL./ AGREGA ORANI	BAĞL. MALZ.
HARÇ 1	Gri	7 Mpa	1 : 3	Sönmüş kireç+ trakitik tüf tozu
HARÇ 2	Açık sarı	6 Mpa	1 : 2.5	Sönmüş kireç+ trakitik tüf tozu
HARÇ 3	Pembe	3,5 Mpa	1 : 3.5	Sönmüş kireç+ riyolitik tüf tozu
SIVA 1	Krem	Zayıf	1 : 2	Sönmüş kireç+ ocak kumu tozu
SIVA 2	Toprak rengi	Zayıf	2.5 : 1	Sönmüş kireç+ trakitik tüf tozu+ alçı

2 yıl suda bekletilen sönmüş kireç ile tüf tozlarının karıştırılması sonucu elde edilen bağlayıcıya, agrega olarak ocak kumu, ırmak kumu ve aynı tüflerin kırıkları katılarak örnekler dökülmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. Üretilen onarım harçlarından örnekler

Örneklerin karışım oranları ve malzeme içerikleri Tablo 9 ve Tablo 10'de verilmektedir.

Tablo 9. Üretilen sıva harçlarının karışım oranları ve malzeme içerikleri

ÖRN.	ÖZELLİKLER	ORANLAR VE İÇERİK
SIVA 1	**Bağlayıcı/agrega/ su oranı**	1 : 2 : 0.5
	Bağlayıcıda kireç/puz. oranı	1 : 1.5
	Puzolan içeriği ve oranı	Yanıkdağ kumu
	Bağlayıcı rengi	Açık gri/krem
	Taze harç kıvamı	17 cm.
	Agrega içeriği	Sarı tüf, ocak kumu, ırmak kumu
SIVA 2	**Kireç/alçı/ agrega/su oranı**	0.5 : 2 : 1 : 0.6
	Bağlayıcıda kireç/puz. oranı	1 : 1,5
	Puzolan içeriği ve oranı	Sarı tüf : siyah tüf : kahv. tüf (1 : 1 : 2)
	Bağlayıcı rengi	Toprak rengi
	Taze harç kıvamı	17 cm.
	Agrega içeriği	Sarı tüf, siyah tüf, kahv. tüf, ocak kumu, ırmak kumu

Tablo 10. Üretilen duvar örgü harçlarının karışım oranları ve malzeme içerikleri

ÖRN.	ÖZELLİKLER	ORANLAR VE İÇERİK
HARÇ 1	**Bağlayıcı/agrega/ su oranı**	1 : 3 : 0.6
	Bağlayıcıda kireç/puz. oranı	1 : 2.5
	Puzolan içeriği ve oranı	Siyah tüf : gri tüf (1 : 5)
	Bağlayıcı rengi	Gri
	Taze harç kıvamı	16.5 cm.
	Agrega içeriği	Gri tüf, siyah tüf, ocak kumu, ırmak kumu
HARÇ 2	**Bağlayıcı/agrega/ su oranı**	1 : 2.5 : 0.6
	Bağlayıcıda kireç/puz. oranı	1 : 2.5
	Puzolan içeriği ve oranı	Sarı tüf : gri tüf (1 : 1)
	Bağlayıcı rengi	Sarı
	Taze harç kıvamı	17 cm.
	Agrega içeriği	Gri tüf, sarı tüf, pembe tüf, ocak kumu, ırmak kumu
HARÇ 3	**Bağlayıcı/agrega/ su oranı**	1 : 3.5 : 0.8
	Bağlayıcıda kireç/puz. oranı	1 : 1
	Puzolan içeriği ve oranı	Pembe tüf
	Bağlayıcı rengi	Pembe
	Taze harç kıvamı	17 cm.
	Agrega içeriği	Pembe tüf, ocak kumu, ırmak kumu

Öncelikle tüfler değirmende farklı sürelerde öğütülerek 8 mm. ile 63 mikron arası değişen boyutlarda tüf kırıkları elde edilmiştir. Örneklerin Fuller parabolüne göre agrega boyutu dağılımları tespit edildikten sonra özgün örneklerdeki agrega tipi dağılımları da göz önünde bulundurularak agregaların karışımları gerçekleştirilmiştir. Agrega karışımından alınan belirli miktarda örnek 24 saat suda bekletilerek agregaların su emme oranları belirlenmiştir. Kireç, tüf tozu ve bir örnek grubunda alçının karıştırılması ile elde edilen bağlayıcı, harç karıştırma makinesinde karıştırıldıktan sonra su ile spreylenerek nemlendirilmiş agregalar eklenmiş, karıştırıldıktan sonra (4x4x16) cm. ebatlarında yağlanmış kalıplara dökülmüş ve sarsma tablasında yerleştirilmiştir. Bir miktar örnek alınarak taze harç kıvamının tayini gerçekleştirilmiş (T.S. EN 1015-3) ve kalıptan çıktıktan sonra ortalama 21 ^{o}C sıcaklık ve % 70 bağıl neme sahip laboratuar ortamında günde 2 kere su ile spreylenerek bekletilmiştir (Güleç ve diğ., 2004).

Üretilen harç ve sıva örneklerinin TS 699, ASTM C 20-92, ASTM C 121-90 ve ASTM E 12-70'e göre fiziksel özellikleri tespit edilmiş olup sonuçlar Tablo 11 ve Tablo 12'de verilmektedir.

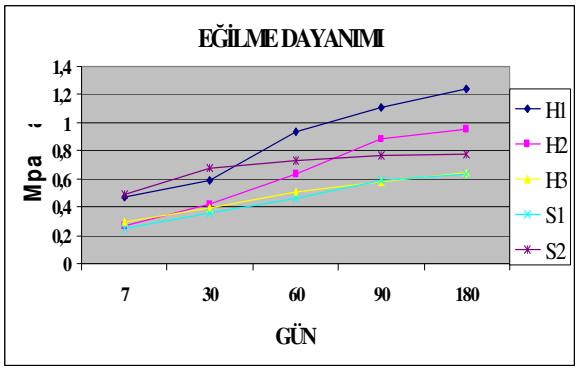
Tablo 11. Su emme deneyi sonuçları

ÖRNEKLER		Ağırlıkça su emme (%)	Hacimce su emme (%)
HARÇ 1	1 ay	24.18	34.26
	3 ay	22.75	33.56
	6 ay	21.14	33.12
HARÇ 2	1 ay	25.16	36.22
	3 ay	24.11	35.25
	6 ay	22.67	34.89
HARÇ 3	1 ay	30.45	41.86
	3 ay	29.76	40.12
	6 ay	28.15	39.74
SIVA 1	1 ay	29.94	40.03
	3 ay	27.51	39.33
	6 ay	26.55	38.66
SIVA 2	1 ay	22.14	33.68
	3 ay	21.55	33.68
	6 ay	20.28	32.13

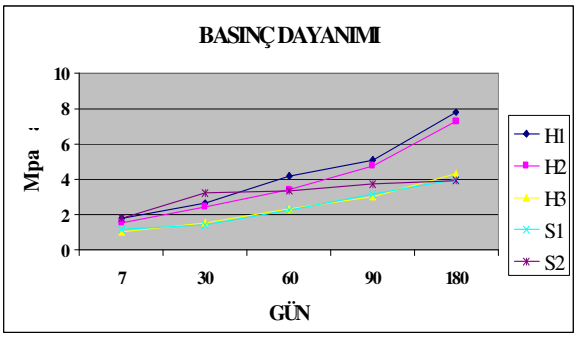
Tablo 12. Örneklerin fiziksel özellikleri

ÖRNEK		Görünür Yoğunluk (Birim h. k.) (g/cm3)	Gerçek Yoğunluk (Özgül kütle) (g/cm3)	Porozite (%)	Kompozite (%)
HARÇ 1	1 ay	1.47	2.49	40.97	59.03
	3 ay	1.49	2.49	40.17	59.83
	6 ay	1.49	2.49	40.17	59.83
HARÇ 2	1 ay	1.41	2.41	43.48	56.52
	3 ay	1.47	2.41	43.01	56.99
	6 ay	1.48	2.41	42.59	57.41
HARÇ 3	1 ay	1.22	2.34	47.87	52.13
	3 ay	1.26	2.34	46.16	53.84
	6 ay	1.27	2.34	45.73	54.27
SIVA 1	1 ay	1.12	2.32	51.73	48.27
	3 ay	1.18	2.32	49.14	50.86
	6 ay	1.19	2.32	48.71	51.29
SIVA 2	1 ay	1.34	2.37	46.46	53.54
	3 ay	1.38	2.37	48.77	51.23
	6 ay	1.38	2.37	48.77	51.23

Örneklerin 7 gün, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 6 aylık sürelerde eğilme ve basınç dayanımları ölçümlenmiş olup sonuçlar Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 10. Örneklerin 6 aylık eğilme dayanımı grafiği



Şekil 11. Örneklerin 6 aylık basınç dayanımı grafiği

Sonuç

Mimari korumada farklı müdahale derecelerinde yaklaşımlar vardır. Müdahale derecesi yapının yaşı ve korunmuşluk durumu ile belirlenmelidir. Yapının en az müdahale ile korunmasını öngören endirekt koruma, konservasyon, sağlamlaştırma yöntemlerinin yanı sıra, daha ileri müdahaleleri gerektiren bütünleme, taşıma ve yeniden yapım teknikleri gibi yöntemlere de başvurulabilmektedir. Restorasyonlarda yeni malzemeler ile yapının özgün malzemelerinin uyumu ve bütünleşmesi, restorasyon uygulamasının başarılı bir sonuç vermesi için en önemli etkenlerden biridir. Bu nedenle restorasyonu yapılacak veya basit müdahalelerle korunacak tarihi yapılarda öncelikle mevcut malzemelerin karakterizasyonunun yapılarak genel özelliklerinin belirlenmesi, ardından bu özelliklerle uyumlu yeni malzemelerin üretilmesi/ temin edilmesi ve laboratuar ortamında özgün malzeme ile uyumunun araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışma ile, Kayseri'de Roma Dönemi, Bizans Dönemi (4. yy, 6. yy, 11. yy, Selçuklu Dönemi (13. yy, 14. yy), Osmanlı Dönemi'nde (15. yy, 16. yy, 18. yy, 19. yy).inşa edilmiş olan yapıların duvar örgü harcı ve iç mekan sıva harçları değerlendirilerek onarım harcı önerileri geliştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu, yapım sistemlerinde olduğu gibi yapılarda kullanılan harçlarda da bağlayıcı/agrega oranları ve içerikleri, fiziksel özellikleri ve mekanik dayanımları açısından dönemsel bir farklılaşma veya yapı tiplerine göre bir değişim tespit edilememiştir. İncelenen örneklerde Roma Döneminden başlayarak Cumhuriyet Dönemine kadar yapım sistemi içerisinde sıva ve duvar harçlarının kullanımının değişmediği görülmektedir. Ele alınan tüm yapı tiplerinde, yapı malzemesi olarak bölgeden elde edilen volkanik taşlar kullanılmış, sıva ve duvar harcı olarak da kireç harç tercih edilmiştir. Harç içerisinde kullanılan agregalar yine bölgeden elde edilen kumlar ve taş kırıklarıdır. Aynı taşların tozları, daha kuvvetli ve suya dayanıklı harçlar elde edilebilmesi için puzolanik katkı olarak da değerlendirilmiştir. Bu benzerlikler nedeni ile değerlendirmeler yapılırken dönemsel, bölgesel veya yapısal bir ayırım yapılamamış, duvar harçları ve sıva harçları kendi aralarındaki benzerliklere göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucu 5 tip duvar örgü harcı, 7 tip sıva harcı olduğu belirlenmiş, 3 tip duvar örgü harcı, 2 tip sıva harcı için onarım harcı önerileri geliştirilmiştir. Bağlayıcı/agrega içerikleri, renk, doku ve karışım oranları özgün harçların ortalama değerleri ile uygun olacak şekilde üretilen yeni harçların öncelikle renk ve doku açısından özgün harçlara uyumu sağlanmıştır. Puzolanik aktivite deneyleri ve deneme karışımlarından elde edilen sonuçlara göre, 1 yıllık süre sonunda özgününe yakın mekanik dayanıma sahip olabilecek oranlarda puzolanik katkılarla güçlendirilen onarım harçlarının 6 aylık eğilme ve basınç dayanımları ile fiziksel özellikleri ölçümlenerek özgün harçlarla uyumluluğu değerlendirilmiştir.

Özgün örnekleri ortalama 7 Mpa basınç dayanımına sahip olan "Harç 1" kodlu onarım harcının 6 aylık basınç dayanımı 7.83 Mpa; özgün örnekleri ortalama 6 Mpa basınç dayanımına sahip olan "Harç 2" kodlu onarım harcının 6 aylık basınç dayanımı 7.26 Mpa, özgün örnekleri ortalama 3.5 Mpa basınç dayanımına sahip olan "Harç 3" kodlu onarım harcının 6 aylık basınç dayanımı 4.33 Mpa olarak saptanmıştır. Özgün örneklerin kalınlıklarının yetersizlikleri nedeniyle mekanik dayanımları ölçümlenemeyen "Sıva 1" kodlu onarım harcının 6 aylık basınç dayanımı 4.01

Mpa; "Sıva 2" kodlu onarım harcının 6 aylık basınç dayanımı ise 3.93 Mpa olarak ölçümlenmiştir. Örneklerin fiziksel özelliklerinde bir değişim beklenmemekte mekanik dayanım analizi sonuçlarının, 1 yıllık süre sonunda elde edilmesi gereken özgün mekanik dayanım değerleri ile tutarlı olduğu görülmektedir. Onarımlarda özgün harç ile yeni harç arasında gözlemlenebilen renk ve doku farklılıklarının yarattığı estetik problemler de göz önünde bulundurulduğunda, incelenen özgün harçlar ile üretilen onarım harçları arasındaki renk ve doku benzerliğinin sağlandığı görülmektedir Bu uyumluluk söz konusu yapıların ve Kayseri'de benzer özellikte harçlara sahip yapıların restorasyonlarında bu onarım harcı önerilerinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Tez çalışması kapsamında belirlenmiş ve üretimleri gerçekleştirilmiş olan oranlardan yola çıkarak, yapıların konservasyon ve restorasyonlarında kullanılacak olan harçların pozları ve birim fiyatları da tanımlanabilecektir.

Kaynaklar

Altun, F., Tanyeli, G., Kozlu H. ve Düğenci, O., (2009). Kayseri'de Roma ve Bizans Dönemi tarihi yapılarında kullanılan harç ve sıvaların özellikleri, TÜBİTAK (Mühendislik Araştırma Grubu) Araştırma Projesi Raporu, 107M538, Ankara.

Ashurst, J. (1984). *Mortars, plasters and renders in conservation.* Ecclesiastical Architects' and Surveyors' Association. London.

ASTM C 20-92, (1992). Standard test methods for apparent porosity, ap- parent specific gravity, and bulk density, *American Society for Testing and Materials Standards*, U.S.A.

ASTM C 121-90, (1999). Standard test method for water absorption of slate, *American Society for Testing and Materials Standards*, U.S.A.

ASTM D 5731-08, (1994). Standard test method for determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications, *American Society for Testing and Materials Standards*, U.S.A.

ASTM E 12-70, (1999). Standard definitions of terms relating to density and specific gravity of solids, liquids, and gases, *American Society for Testing and Materials Standards*, U.S.A.

Brook, N., (1985). The equivalent core diameter method of size and shape correction in point-load testing, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract.,* **22/2**, 61-70.

Ersen, A. (1991). *Taş koruma kuramının ve uygulamalarının evrimi.* İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Restorasyon Anabilim Dalı. İstanbul.

Feilden, B. (2003). *Conservation of historical buildings.* Butterworth-Heinemann. UK.

Güleç, A., Acun, S. ve Ersen, A., (2004). A characterization method for the fifth-century traditional mortars in the land walls of Constantinople, Yedikule, *Studies in Conservation,* **50**, 295-306.

Güleç, A. ve Ersen, A. (1998). Characterization of ancient mortars: A simple sophisticated methods, *Journal of Architectural Conservation,* **1,** 56-67.

Jokilehto, J., (1999). *A history of architectural conservation*. Butterworth Heinemann. England.

Teutunico, J. M., (1988). *A laboratory manual for architectural conservation. . ICCROM Sintesi Grafica. Rome.*

Torraca, G., (1982). *Porous building materials.* Rome.

T.S. 25, (2007). Tras, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

T.S. 30, (1974). İnşaat kireçleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

T.S. 699, (1987). Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

T.S. EN 1015-3, (2000). Kâgir harcı-deney metotları: Taze harç kıvamının yayini (Yayılma Tablası ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

T.S. EN 1926 (2000). Doğal taşlar-deney metotları: Basınç dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Tunçoku, S., S., (2001). Characterization of masonry mortars used in some Anatolian Seljuk monuments in Konya, Beyşehir and Akşehir, *Doktora Tezi,* O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.