

## Ahi Çelebi Camii'nde kullanılan od taşının konservasyon çalışmaları

Seden ACUN ÖZGÜNLER\*, Erol GÜRDAL

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık-Yapı Bilgisi Programı, 34437, Taksim, İstanbul

### Özet

Tarihi yapılarda sıkça kullanılan ve hızlı bir şekilde hasara uğrayan ve Osmanlı arşiv belgelerinde 'od taşı' olarak adlandırılan yeşilimsi renkte volkanik tüfler üzerinde bir koruma-onarım (konservasyon) çalışması yapılmıştır. Çalışma yöntemi iki aşamalıdır. Birinci aşamada konuyla ilgili literatür çalışması, ikinci aşamada ise, deneysel çalışmalar yer almaktadır. Deneyler, önceden seçilen tarihi yapıdan alınan taş örnekleri üzerinde yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar üç adımda toplanmaktadır. Bunlar; 1. Özgün taşın bozulma morfolojisinin ve sağlam kısmının özelliklerinin belirlenmesi, 2. Sağlamlaştırıcı-koruyucu kimyasallarla yapılan iyileştirme çalışmaları, 3. Kimyasalların etkinliğinin değerlendirilmesidir. Özgün taşın bozulma morfolojisi ile sağlam karakterinin belirlenmesi için fiziksel, kimyasal, mekanik özellik deneyleri ile mikro yapı analizleri paralel olarak yapılmış, sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı örneklerle, etil silikat cinsi sağlamlaştırıcı ve silan-siloksan esaslı su itici kimyasallar fırça ve daldırma yöntemi ile uygulanmıştır. Polimerizasyon süresi için 4 hafta bekletilen örneklerde daha önce yapılan benzer deneyler tekrarlanarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak, kimyasalların etkinliğini değerlendirmek için ıslanma-kuruma ve donma-çözülme çevrimleri ile tuz kristallenmelerine dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, yapıdan alınan volkanik tüf örneklerinin riyodasitik-dasitik tüfler olduğu, hava kirliliği ve atmosferik olaylar sonucunda fiziko-kimyasal bir bozulmaya uğradığı belirlenmiştir. Bozulan taşların, silan/siloksan esaslı sağlamlaştırıcı ve su itici kimyasalların uygulanması ile su emme oranlarının % 90 azaldığı, ultrases hızlarının da yaklaşık % 30 arttığı bulunmuştur. Ayrıca, kimyasal sürülen örneklerin, yapılan üç farklı eskitme deneylerinden kimyasal sürülmeyen örneklerle göre daha az etkilendikleri görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Volkanik tüf, bozulma morfolojisi, konservasyon çalışması, su iticiler.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Seden ACUN ÖZGÜNLER. acunsed@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilgisi Programında tamamlanmış olan "Tarihi yapılarda kullanılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine bir araştırma: Od taşı örneği" adlı doktora tezin-den hazırlanmıştır. Makale metni 06.09.2007 tarihinde dergiye ulaşılmış, 18.10.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## The conservation works for volcanic tuffs used in Ahi Celebi Mosque

### Extended abstract

*In this study, a conservation method was studied for green coloured volcanic tuffs called 'od stone' in Ottoman archives documents. These stones were commonly used in Early Byzantine and Late Ottoman Buildings in the walls, window frames and stairs, etc. These have a fire resistance against the high temperatures so it was called od stone. And they were quarried from Yalova-Karamürsel region in Turkey.*

*The volcanic tuffs which are rather frequently used in historical buildings and monuments are deteriorated by various effects because of their chaotic micro structure. Also, there is less study in the world wide literature about the conservation of volcanic tuffs. By means of this study, a method will be recommended to obtain a common language between the specialists who take part in the interdisciplinary team work of conservation and restoration of historical buildings. The constituting a methodology of conservation and restoration are also applicable on other types of stones. The research was studied in 2 steps. In the first step, a widely literature research related to the subject and in the second step, laboratory tests following the suggested conservation method in the study were carried out. Tests were conducted on original stones which were sampled from the Ahi Celebi Mosque, which is located in Eminönü. It was built in 16th century by Architect Sinan. One of its facades is near to sea (Golden Horn) and the other facades are near to traffic. And it has also ground problems. This building was highly affected by the salts coming from the sea and the air pollution caused by traffic. Especially, the od stones used in the walls and window frames were seriously deteriorated. For that reason, od stones were sampled from this building for the conservation study. Planned laboratory tests that are required for the conservation study consisted of 3 steps:*

*1. Step: Determination of deterioration morphology and sound core of original stone; This step consisted of macro and micro analyses conducted on the original od stone samples such as physical, mechanical property tests and chemical and petrographical analyses. These tests and analyses were conducted on sound core and deteriorated surface of*

*the sample. As a result of these tests, od stones were found as a rhyodasitic-dasitic tuff because of having quartz, plagioclase, alkali feldspar, zeolite etc. silicate minerals. And deterioration morphology was determined by finding 'montmorillonite' as a clay mineral in the micro structure. This was found in the result of the conversion of feldspar minerals in to clay minerals by the cause of the air pollution and atmospheric events.*

*2.Step: Consolidation and preservation applications with chemicals; Conservation works were carried out on the od stones taken from the mosque. Stone conservation works were performed by applying the chemicals which have consolidant and protective properties on to the deteriorated stones with some alternatively changed consolidation and protection methods. During the processes, impregnation depth and penetration depth tests were conducted on the samples. As a consolidating agent, ethyl silicate (undiluted), and as a water repellent agent siloxane (1:11 diluted by white spirit) was used by brush and immersion method for the od stone samples. After curing of 4 weeks for polymerization, the efficiency of chemicals was examined by aforementioned tests.*

*3.Step: Evaluation of the durability performances of chemicals; The evaluation of the effectiveness of the chemicals was carried out as to the results of the artificial weathering tests applied on the treated and untreated samples of original stones. In this step, some weathering tests such as, durability for salt crystallisation, wetting-drying and freezing-thawing cycles were conducted. After these aging tests, physical, mechanical property tests on the stones were repeated and these results were compared with the previous test results in order to evaluate the developments of the treated samples. In the conclusion, it was found that by using consolidant and water repellent, the water absorption value of the od stones was decreased 90% and ultrasound velocity value was increased 30% after treatment. At the end of all these tests, ethyl silicate and silane/siloxane were suggested as a consolidant and water repellent pair from those tested chemicals. This method can be applied for the other type volcanic tuffs which consist of silicate minerals and which have surface erosions, stone replacement is recommended for deep alterations.*

**Keywords:** *Volcanic tuff, deterioration morphology, conservation methodology, water repellents.*

## **Giriş**

Bu makalede, volkanik tüfler üzerinde uygulanabilecek konservasyon yöntemleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Tarihi yapılarda kullanılan taşların konservasyon çalışmalarında her ne kadar her cins taş için ayrı bir koruma ya da onarım yöntemi söz konusu olsa da, gerek bozulmanın belirlenmesindeki çalışmalar ve deney sistematigi, gerekse yöntemlerin uygulama süreci, disiplinler arası bir çalışmayı gerekli kılmakta ve bir takım temel adımları içermektedir. Bu çalışma ile özellikle tarihi yapılarda kullanılan ve özgün detay içeren taşların konservasyonu için yapılabilecek çalışmaların standartlaşmasına yardımcı olmak hedeflenmiştir.

Konservasyon çalışmaları ile ilgili herhangi bir müdahaleden önce yapıda hasara neden olan faktörler incelenmeli ve bunlara bağlı oluşan hasarların tespiti yapılmalıdır. Çoğunlukla, hasara sebep olan faktörler, yapının bulunduğu çevre ile doğrudan ilişkilidir. Yapının çevre koşulları detaylı olarak incelendiğinde taş bozulmalarına veya hasarlara karar vermek mümkündür. Ancak, yapıdan alınacak olan taş örneklerinin laboratuvar ortamında bazı deneylerinin yapılması gereklidir. Çevre kirliliği sonucu doğal taşların ayrışmasına neden olan bir numaralı etken su ve suyun bünyesinde taşıdığı zararlı maddelerdir. Özellikle atmosfere karışan baca ve egzost gazlarındaki kimyasal maddeler, yağmur suyu içinde çözünerek, yağmur suyu ile doğal taşın yüzeyine ve bünyesine ulaşır, taşı etkiler, ayrıca taşın bünyesinde herhangi bir nem bulunması halinde bu etki hızlanır (Çorapçıoğlu, 1993).

Ahi Çelebi Camii taşıdığı tarihi ve kültürel değer ve bulunduğu konum olarak, malzemelerinde bozulmaya neden olacak çok çeşitli etkenlere maruz kaldığı için araştırma konusu olarak seçilmiştir. Osmanlı arşivlerinde yapılan çalışmada, bu camide kullanılmış olan yeşil renkli volkanik tüf taşının, yanmaya dayanıklı anlamını taşıyan 'od taşı veya seng-i nar' olarak adlandırıldığı, tüf cinsi taşların işlenmesinin ve taşınabilirliğinin kolay olmalarından dolayı tercih edildikleri belirtilmektedir. Osmanlıların temel, hamam külhanı, ocak, söve v.b. gibi elemanların yapımında kullandıkları od

taşının Karamürsel'de bulunan ocaklardan getirildiği tarihi belgelerle kanıtlanmıştır. Örneğin, Süleymaniye külliyesi yapımı sırasında ocaklara gönderilen emirlerle çeşitli boyutlarda bloklar istendiği arşiv belgelerinde belirtilmektedir. Taşların bir çeşit işlemden geçtikten sonra İstanbul'a gönderildiği anlaşılmaktadır. Od taşının, külhan kalıp ve köprülük diye ikiye ayrıldığı ve bu taşların devşirme malzeme olarak kullanıldığı yine benzer kaynaklarda belirtilmiştir, (Neftçi, 2002:62-63). Karamürsel ocaklarının 18.yy'da da işletilmekte olduğu yine tarihi belgelerden öğrenilmektedir (Çelik, 2001). Laleli camii inşaatı ile ilgili belgelerde ise od taşı seng-i nar olarak geçmektedir. Karamürsel'den satın alınan od taşlarının gemilerle Langa iskelesine (Yenikapı) getirilerek İstanbul'a ulaşımının kolaylıkla sağlandığı belirtilmektedir. Ayrıca Laleli külliyesi inşaatı ile ilgili belgelerde, od taşının ateşe dayanıklılık ve hafiflik özelliğinden bahsettiği ve bu nedenle külhan, fırın ve temel dolgularında kullanılmak üzere seçildiği ifade edilmektedir. 1760-1762 tarihlerinde Karamürsel'den gelen od taşının daha çok inşaatın ilk yıllarında kireç yakmak için oluşturulan ocakta ve yapılarda ise kaplama ve taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanıldığı belirtilmektedir.

Od taşının yoğun olarak kullanıldığı ve örnek çalışma için seçilmiş olan yapılardan Ahi Çelebi Camii'nin ilk olarak 16.yy'da Mimar Sinan tarafından inşa edildiği arşiv belgelerinde yer almaktadır. Eminönü ilçesinde Yemiş İskelesi olarak adlandırılan bölgede yer alan cami, gerek yapım aşamasında, gerekse bulunduğu mahallin yoğun ticaret bölgesi olması ve zemin olarak da bir çöküntü havzası olan Haliç kıyısında yer alması nedeniyle birçok kez yıkılmış, yanmış ve yeniden inşa edilmiş, çok sayıda onarım geçirmiş olmasının sonucu olarak karmaşık sorunları olan bir yapıdır. Bu caminin iki cephesi deniz kıyısında, diğer cepheleri ise trafiğin en yoğun olduğu yola yakın konumda olduğu için bozulma nedenleri çok karmaşıktır, (Şekil 1). Ahi Çelebi Camii'nde hasar tipleri çok çeşitli ise de bu makalede özellikle cephelerde kullanılan yeşil renkli volkanik tüflerin bozulma nedenleri ve tipleri araştırılmış, konservasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 1. Ahi Çelebi Camii fotoğrafları

Özgün detay içeren doğal taşlarda konservasyon yöntemlerindeki temel amaç, mevcut taşı çıkarılmadan bazı özelliklerini iyileştirerek yerinde muhafaza edebilmek, servis ömrünü uzatabilmektir. Bunun için, taşın durumuna göre önce yüzey temizliği, sonra gerekli durumlarda sağlamaştırıcı-su itici kimyasallarla koruma ve onarım yapılmaktadır. Taş koruma konusunda çalışan uzman araştırmacıların işbirliği ile hazırlanan 2005 yılına ait ASTM E 2167-01 olarak adlandırılan standartta taş sağlamaştırıcıların doğru seçimi ve uygulama yöntemleri ile ilgili bilgiler yönlendirici bir sistematik içinde verilmiştir.

Taş konservasyonu konusunda yapılan literatür çalışmalarında, karmaşık yapıya sahip olan volkanik tüf cinsi taşlarda, konservasyon için uygun kimyasal ürünlerin ve uygulama yöntemi seçiminin çok dikkatli bir şekilde yapılması gerektiği belirtilmektedir. Genelde, silisli taşlarda 'etil silikat' türü kimyasal ürünlerin, sağlamaştırma uygulamalarında, silan-siloksan türü kimyasal ürünlerin de koruma uygulamalarında, başarılı olduğu ifade edilmektedir (Horie, 1994; Hilbert ve Wendler, 1996).

Charola, (2001); Kober ve diğerleri (1995) çalışmasında, 1980 sonlarında ortaya çıkan su bazlı emülsiyon su iticilerin solvent bazlı ürünlerde olduğu kadar derin penetrasyon yapamadığı buna karşın, su bazlı su iticilerin nemli ortamlarda penetrasyon derinliklerinin arttığı ve granit gibi az boşluklu taşlarda daha iyi performans gösterdikleri, ancak donma-çözülme etkilerine karşı solvent bazlılara göre daha düşük performans gösterdikleri ifade edilmiştir.

Hristova ve Todorov (1996), kumlu kireçtaşında, sağlamaştırıcı ürün olarak etil silikat ile su

itici ürün olarak silan-siloksan esaslı solüsyon kullandıkları bir çalışmada, su emme oranında % 70-90 oranında düşüş, toplam makro boşluk hacminde %45,3'den %24,3'e düşüş, diğer taraftan ultrases hızında % 30 ve elastiklik modülünde % 60-80 oranında artış olduğunu belirtmişlerdir.

Lukaszewicz (1996); Rossi Manaresi (1993); Useche (1990); Bianchetti ve diğerleri (1990), gibi uzman araştırmacılar silisli taşların konservasyon çalışmalarında etil silikat esaslı sağlamaştırıcı ile siloksan esaslı su itici ürünün birlikte kullanılmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

### Materyal ve yöntem

Bu çalışma kapsamında, yapıdan alınan örneklerin özelliklerini belirlemeye ve bozulma durumlarını tanımlamaya yönelik deneyler ile konservasyon amaçlı deneyler sıra ile yapılmıştır. Bu deneyler aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

### Örnek alma işlemi

Deneyler için yapıdan alınan örneklerin yapının hasar tiplerini en iyi gösteren referans örnekler olmasına dikkat edilmiştir. Bu camide restorasyon çalışması sırasında aşırı ayrılmış olan pencere söveleri yerinden çıkarılmış olduğu için örnek alma sıkıntısı yaşanmamıştır. Buna göre, caminin denize bakan cephesinde ve yola bakan cephelerinde bulunan pencere sövelerinden dış yüzeyi hasarlı olan ama iç kısımda sağlam bölgeleri olan örnekler alınmış, uygun biçimde numuneler hazırlanmış ve Tablo 1'de görüldüğü gibi kodlanmıştır.

Tablo 1. Numunelerin kodlanması

Kodlama	Açıklama
UNTR	Kimyasal sürülmeyen örnek
TEOS+WR1	Sağlamaştırıcı ve su itici sürülen örnek

### Od taşının bozulma morfolojisinin belirlenmesi

Taşın bozulma morfolojisinin anlaşılması için, hem bozulmuş kısımdan hem de sağlam kısımdan örnekler çıkarılmış, ve tüm deneyler paralel olarak yapılmıştır. Hasarlı yüzeyden alınan ör-

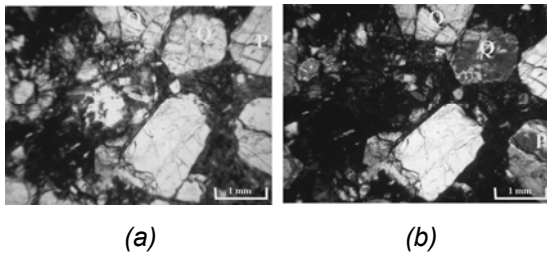
nekte tuz analizleri (Tablo 2), EDS ile kimyasal analiz (Tablo 3), ince kesit analizleri verilmiştir. İnce kesit analizleri İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne ait laboratuvarlarda yapılmıştır.

Tablo 2. Tuz analizleri

Örn.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Tuz Miktarı (%)
1	++++	++	++++	-	4.6
3	++	+	+++	-	1.3
4	++++	++	++++	-	4.5
5	++	-	+++	-	2.0
1AC	+++	-	+++	-	1.9
2AC	++	+	++	-	1.15
3AC	++++	+	++	-	2.7
4AC	++	-	++	-	1.7
5AC	+	-	++	-	0.5
7AC	+++	-	++	-	1.8
9AC	+	+	++++	-	1.9
10AC	++++	-	++++	-	3.5

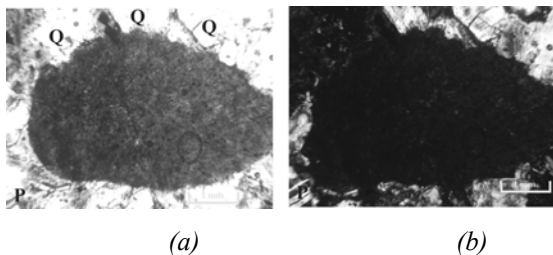
-: Yok, + : Çok az miktarda var, ++ : Az miktarda var.  
+++ : Belirgin miktarda var, ++++ : Çok miktarda var.

İnce kesit analizlerinde, kahverengi bozulma ürünü ile bozulmamış sağlam kristaller arasındaki renk farkı açıkça görülmektedir (Şekil 2-3).



Şekil 2. İnce kesit resimleri, (a) Tek nikol görüntüsü/ (b) Aynı yerden çift nikol görüntüsü

Şekil 3'de ise, koyu kahverengi zonlu alterasyon etrafında plajiyoklas ve kuvars mineralleri görülmektedir.



Şekil 3. (a). Tek nikol görüntüsü/ (b). Aynı yerden çift nikol görüntüsü.

Tablo 3. Sağlam ve bozuk kısmın EDS sonuçları

Sağlam Taşın Bileşikleri (Oksit)	Od taşında Ortalama AC- Sonuç	Ayrılmış Taşın Bileşikleri (Oksit)	Od taşında Ortalama AC- Sonuç
Na <sub>2</sub> O	4.76	Na <sub>2</sub> O	3.99
MgO	4.34	MgO	9.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.73	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.80
SiO <sub>2</sub>	59.68	SiO <sub>2</sub>	43.32
SO <sub>3</sub>	6.19	SO <sub>3</sub>	10.84
K <sub>2</sub> O	2.20	K <sub>2</sub> O	0.68
Cl <sub>2</sub> O	-	Cl <sub>2</sub> O	2.02
CaO	3.22	CaO	4.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.88	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.37
Toplam	100.00	Toplam	100.00

Zeolitik tüflerde altere kayaçta jeokimyasal olarak yapılan değerlendirmeye göre; SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O azalırken, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO artmaktadır (Esenli, 1993). Tablo 3'de benzer sonuçlar bulunmuştur.

#### Od taşı örneklerinin karakterizasyon deneyleri

Od taşı örneklerinden hazırlanan numunelerde fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Fiziksel özellikleri belirlemeye yönelik olarak; kılcallık katsayısı, su emme oranı, birim hacim kütle, özgül kütle vb. gibi deneyler TS 699 ve ilgili ASTM standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir, (Tablo 4).



Şekil 4. Od taşı örnekleri

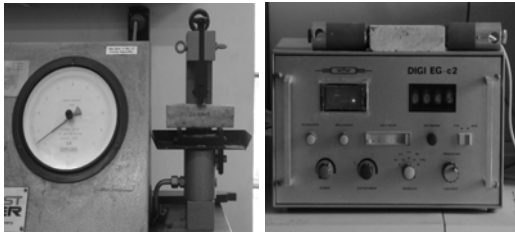
Kılcallık katsayısı ve su emme deneyleri 40x40x160 mm boyutlarda prizmatik numunelerde yapılmıştır (Şekil 4).

Tablo 4. Od taşının fiziksel özellikleri

Örn.	N	Sk	Sh	dh	do	p
Od taşı	269.8 ±7.0	7.8 ±0.005	15.7 ±0.009	2.05 ±0.01	2.45 ±0.02	16 ±0.005

N: Kılcallık katsayısı (g/m<sup>2</sup>/dak), Sk: Kütlece su emme (%), Sh: Hacimce su emme (%), dh: Birim hacim kütle (g/cm<sup>3</sup>), do: Özgül kütle (g/cm<sup>3</sup>), p: porozite (%)

Mekanik özellik deneyleri olarak; eğilmede çekme, basınç dayanımı ile ultrases hızı geçiş hızı tayini deneyleri yapılmıştır, (Şekil 5). Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri Form-Test Seidner marka pres yardımı ile TS 699 standardına uygun olarak yapılmıştır. Ultrases hızlarının tayini için WTW DIGI EG-C2 modeli ultrases cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile örneklerin iki ucuna cihazın alıcı ve verici prob lar yerleştirilerek ses geçiş zamanları bulunmuş bulunan bu değerler ile örneklerin uzunlukları dik kate alınarak ses geçiş hızları hesaplanmıştır. Bu deneyde, TS EN 14579 standardından yararlanılmıştır. Sonuçları Tablo 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Mekanik özellik belirleme deneyleri

Tablo 5. Od taşının mekanik özellikleri

Örnek	EÇD (MPa)	ECKPBD (MPa)	KBD (MPa)	V (km/sn)
Od taşı	7.1±0.6	42.5±2.0	37±2.0	2.49±0.1

EÇD: Eğilmede çekme dayanımı

ECKPBD: Eğilmede çekme deneyinde kırılan parçalarda basınç dayanımı

KBD: Küp basınç dayanımı

V: Ultrases hızı

#### **Od taşı örneklerinde konservasyon çalışmaları**

Od taşı örneklerinin bozulma morfolojisi ve sağlam karakterleri belirlendikten sonra konservasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda, sağlamaştırıcı ve su itici özellikli kimyasalların taşlara uygulanması sonucu oluşan değişimler değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan sağlamaştırıcı ve koruyucu kimyasallar uluslar arası ticaret yapan bir firmadan temin edilmiştir. Sağlamaştırıcı olarak piyasada yaygın bulunan etil silikat esaslı ürün, koruyucu olarak silan-siloksan esaslı organik çözücü ile seyreltilebilen solüsyon tipi bir ürün kullanılmıştır.

Sağlamaştırıcı ürün seyreltilmeden, su itici ürün ise white spirit ile 1:11 oranında seyreltilerek fırça ile örneklere uygulanmıştır. İlk olarak sağlamaştırıcı sürülen, 2 hafta sonra aynı örneklere su itici sürülmüştür.

Tüm kimyasal ürünlerin uygulanma yöntemi; 2 etki 6 yüzeye sürme, 15 dakika bekleme sonra tekrar 2 etki sürme, 15 dakika bekleme daha sonra 2 etki daha sürme şeklinde yapılmış ve artık örneklerin daha fazla emmediği görüldüğünden işlem bitirilmiştir.

Tüm numuneler, kimyasal sürüldükten sonra polimerizasyon süreci için 4 hafta bekletilmiş ve sonra deneylere başlanmıştır.

Kimyasalların penetrasyon (etki) derinliğini net olarak ölçmek mümkün olmamakla birlikte, kullanılan Silan ve Siloksan esaslı koruyucu malzemelerin içine zararı olmayan kırmızı renkli bir boya katılarak, etki derinliği (gözle görülebilir hale getirilip) ölçülmüş, ayrıca renk değişimi yapıp yapmadığı da tespit edilmiştir.

Kimyasallardan beklenen en önemli özelliklerden biri, taşın buhar geçirgenlik özelliğini değiştirmemesidir. Bu nedenle, kontrol amacıyla buhar geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır. Deneyde DIN 52615 standardında tanımlanan ‘dry cup’ metodu kullanılmıştır. Deneyde su emici malzeme olarak CaCl<sub>2</sub> kullanılmıştır. Yaklaşık 5x5x1 cm boyutlu numuneler kimyasal uygulanmadan önce ve sonra olmak üzere aynı deneye tabi tutulmuş ve ağırlık farkları hesaplanmıştır. Bu deney, 20-23°C sıcaklıkta ve % 90-100 bağıl nemde sabitlenen desikatör ortamında yapılmış, numunelerin ağırlık değişimleri her gün aynı saatte ve 5 haneli hassas tartı yardımıyla ölçülmüştür. Bu deney 3 ay sürdürülmüştür ve buna göre örneklerin su buharı geçirgenlik direnç katsayıları ( $\mu$ ) hesaplanmıştır.

Konservasyon çalışmasının uzun dönem etkinliğinin belirlenmesi için ıslanma-kuruma, donma-çözülme, tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklılık vb. gibi eskitme deneyleri yapılmış, sonuçları su emme oranı ve ultrases geçiş hızı vb. gibi kontrol deneyleri yapılarak değerlendirilmiştir. Bu deneylerde kimyasal uygulamasının etkinli-

ğinin (TEI: Treatment Efficiency Index bulunarak) performans kaybı oranları hesaplanmıştır. Değerlendirmeler bu kritere bağlı olarak yapılmıştır.

Islanma-kuruma etkilerine dayanıklılık deneyi, kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin 24 saat 20°C'lik distile su içinde, 18 saat 60°C'lik etüvde kurutulması şeklinde 1 ay süren çevrimler (30 çevrim) ile yapılmıştır. Donma-çözülme etkilerine dayanıklılık deneyi, kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin 6 saat 20°C'lik distile su içinde, 18 saat -22°C'lik dondurucuda tutulması şeklinde 28 gün süren çevrimler ile yapılmıştır. Deneylerde TS 699, TS EN 12371 gibi 'dona dayanıklılık' ile ilgili standartlardan faydalanılmıştır.

Tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklılık deneyi, kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin 6 saat % 14'lük Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>10H<sub>2</sub>O çözeltisi içinde 16 saat 60°C'lik etüvde ve 2 saat ortamda soğutulması şeklinde 20 gün süren çevrimler ile yapılmıştır. Deneyde TS EN 12370 gibi 'tuza dayanıklılık' ile ilgili standarttan faydalanılmıştır.

### **Deneysel çalışma sonuçları**

Üç adımda yapılan deneysel çalışmalar sonunda, od taşının özellikleri ile bozulma morfolojisi belirlenmiş ve bu taşların konservasyon çalışmalarının başarısı irdelenmiştir. Tüm bu sonuçlar aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanmaktadır.

### **Ahi Çelebi Camii'nde kullanılan od taşının özellikleri ve bozulma morfolojisinin belirlenmesi**

Ahi Çelebi Camii'nden alınan od taşı örneklerinde görülen hasarlar çok tipik olarak belirlenmiştir. Konum itibari ile yapının, trafiğin en yoğun olduğu bölgeye yakın olmasından ortaya çıkan hava kirliliği, yağışlar ve geçirdiği yakın dönem onarımlarda çimento harcı kullanımı gibi nedenlerle taşlarının ayrıştığı ve bozulma morfolojisi olarak iç yapılarında bulunan feldspat minerallerinin ayrışarak kil minerallerine dönüştüğü ve bunların da yüzeyde görünür biçimde koyu kahverengi lekeler oluşturduğu belirlen-

miştir. Bu sonucu destekleyici olarak; od taşının bozulmuş dış yüzeyinden alınan örneklerde yapılan kimyasal ve tuz analizleri sonucunda çok miktarda klor, nitrat ve sülfat tuzları bulunmuştur. Kimyasal analizlerde; sağlam örneğe oranla bozuk örneklerde demiroksit, alüminyumoksit, magnezyumoksit ve kalsiyumoksit miktarları artmış, silisyumdioksit miktarları azalmıştır.

Minerolojik ve petrografik analizler sonucunda, bu tür taşlarda esas elamanların kuvars, plajioklas, ortoklas olduğu az miktarda da zeolit bulunduğu belirlenmiştir. Alterasyon ürünü olarak da koyu kahverengi hasarlı bölgeden alınan örnekte, "Montmorillonit" adlı kil minerali bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan minerolojik ve petrografik analizler sonunda, tuf örnekleri "riyodasitik-dasitik tuf" olarak adlandırılmıştır. Bu tür taşlarda heterojen olarak dağılmış kahverengi lekeli bölgeler nedeniyle sağlam örnek temininde çok güçlük çekilmiştir. Bu lekelerin aslında daha yapıya gelmeden atmosferin etkisi ile ocağında başladığı, yapıda kullanımında da daha çok arttığı gözlenmiştir.

Bu taşlar, magmatik taşların yüzeyde katılaştıran türleri olduğundan zayıf bünyeli, bozulmaya meyilli taşlardır. Bu nedenle, bunların atmosfer koşullarına daha dayanıklı olabilmesi için konservasyon çalışmalarının önemi kaçınılmazdır.

### **Konservasyon uygulamasının od taşının fiziksel özelliklerine etkisinin irdelenmesi**

Konservasyon çalışmasında kullanılan sağlamalaştırıcı ürün numunelere, 5 mm'ye kadar nüfuz ederken su itici ürün 2 mm'ye kadar nüfuz edebilmiştir. Daldırma yöntemi ile yapılan uygulama sonrası tespit edilen derinlikler; sağlamalaştırıcılarda 10 mm, su iticilerde 5 mm olmuştur.

Kimyasallar sürülmeden önce ve sürüldükten sonra aynı numunelerde tekrarlanan fiziksel özellik tayini deney sonuçları Tablo 6 ve 7'de gösterilmiştir. Bu tablolarda kılcal su emme katsayısı, kütlece ve hacimce su emme oranları ile birim hacim kütle değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 6. Kimyasal sürülmeden önceki fiziksel özellikler

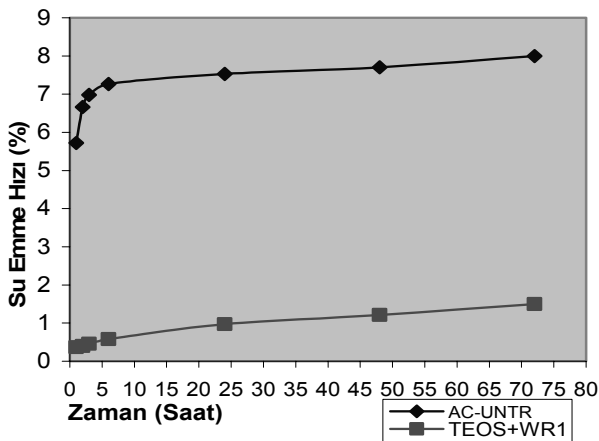
Tanım	İlk N (g/m <sup>2</sup> √dak)	İlk Sk (%)	İlk Sh (%)	İlk dh (g/cm <sup>3</sup> )
AC-TEOS+WR1	308.4 ±5.0	8.0 ±0.001	17.03 ±0.01	2.14 ±0.005

Tablo 7. Kimyasal sürüldükten sonraki fiziksel özellikler

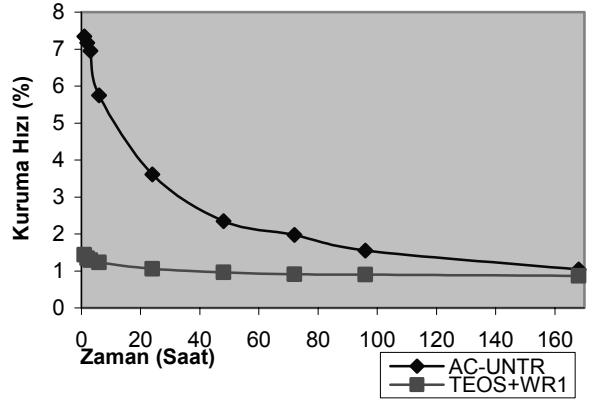
Tanım	Son N (g/m <sup>2</sup> √dak)	Son Sk (%)	Son Sh (%)	Son dh (g/cm <sup>3</sup> )
AC-TEOS+WR1	25.94 ±4.0	1.2 ±0.001	2.65 ±0.002	2.17 ±0.01

Sağlamlaştırıcı+su itici uygulaması kılcallık katsayısını ve su emme oranını % 90 oranında azaltmıştır. Bu oran aynı zamanda kullanılan kimyasalların etkinlik faktörü olarak hesaplanmıştır.

Kimyasal sürülmeden önce ve sonra aynı numunelerde su emme ve kuruma hızları bulunmuştur. Od taşı numunelerinde kimyasal sürülmeden önce ve sonra bulunan su emme ve kuruma hızlarının grafikleri Şekil 6 ve 7’de gösterilmiştir. Su emme hızı deneyi 3 gün boyunca, kuruma hızı deneyi ise, 1 hafta boyunca sürdürülmüştür.



Şekil 6. Kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin karşılaştırmalı olarak su emme hızı grafikleri



Şekil 7. Kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin karşılaştırmalı olarak kuruma hızı grafikleri

Kimyasal sürülmeyen od taşı numunelerinin sürülenlere göre daha hızlı su emerek kısa sürede doymunluğa ulaştığı, buharlaşma hızının yüksek olmasına rağmen fazla su emdiği için kurumunun uzun sürdüğü belirlenmiştir.

Diğer bir fiziksel özellik kontrol deneyi olarak buhar geçirgenlik deneyi yapılmıştır. Yapılan buhar geçirgenlik direnç katsayısı deneyinin sonuçları Tablo 8’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Buna göre; kimyasal sürülmeden önce bulunan katsayı değerinin sürüldükten sonra yaklaşık % 12 kadar artmış olduğu görülmüştür.

Tablo 8. Buhar geçirgenlik direnç katsayıları

Tanım	Örnekler	Uygulamadan Önce	Uygulamadan Sonra
TEOS+WR1	1AC1	60	70
TEOS+WR1	1AC2	54	60
TEOS+WR1	1AC3	59	64
ORTALAMA		58±6.0	65± 7.0

(\*)Uygulama: Kimyasal sürme işlemi.

Boşluk boyutu dağılımı (porozimetri) deneyleri Mercury Intrusion method yardımı ile İTÜ Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü’ne ait porozimetri laboratuvarında yapılmıştır.

Porozimetri deneylerinin sonucunda, kimyasal sürülen tüm numunelerde büyük boyutlu boş-



lukların azaldığı görülmüştür. Sonuçta, kimyasal sürülmeyen ve bozuk numunelerde boşluk çapı 20.000nm olurken kimyasal sürülenlerde en fazla 10.000nm çapında boşluklar görülmüştür. Bu sonuç, volkanik tüflerde alterasyon ürünü olarak oluşan kil partiküllerinin kimyasal emdirme sırasında hareketlenerek büyük boyutlu boşluklara doğru ilerlemeleri ve buraları doldurmaları ile açıklanabilir. Çünkü silan-siloksan türü kimyasalların, yapıları nedeniyle hiçbir zaman boşlukları doldurmaları mümkün değildir. Ancak, kullanılan kimyasallar taşların ultrases hızlarına etkili olabilmektedirler.

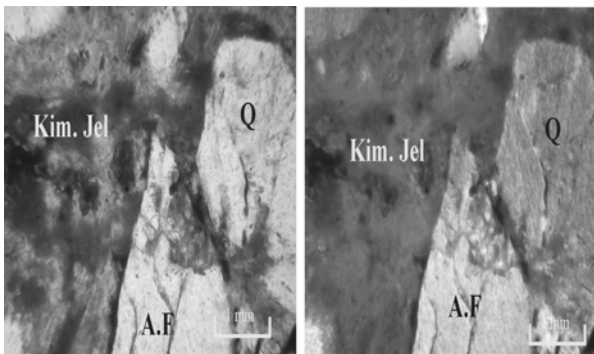
Tablo 8. Ultrases hızı deneyi sonuçları (ortalama/6 örnek)

Örnekler	Tanım	T süresi (µsn)	Ultrases Hızı (km/sn)
AC1	UNTR	79.5	2.02 ± 0.06
1AC1	TEOS+WR1	58.5	2.68 ± 0.1

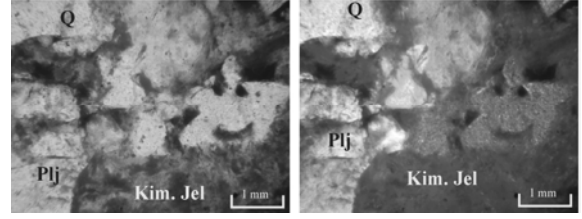
Tablo 8'de görüldüğü gibi kimyasal sürülen örneklerde ultrases geçiş hızı sürülmeyen örneklerle göre yaklaşık % 30 oranında artmıştır.

### Kimyasalların etkisinin petrografik açıdan irdelenmesi

Taşın iç yapısında oluşan kimyasal jel (SiO<sub>2</sub>-jeli) yapılan ince kesitlerde harelî görüntüler şeklinde minerallerin üzerini örtmüş ya da boşlukları sarmış olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, bazı minerallerin de kendi renklerinin ayırt edilmesini güçleştirmiştir (Şekil 8-9).

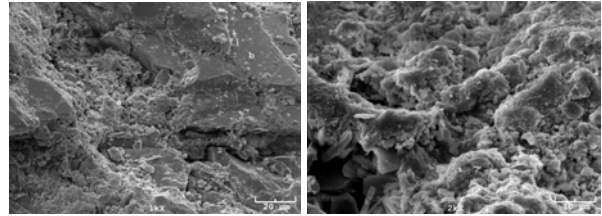


Şekil 8. İnce kesit görüntüleri, a. Tek nikol, b. Çift nikol görüntüsüdür.



Şekil 9. İnce kesit görüntüleri, a. Tek nikol, b. Çift nikol görüntüsüdür.

Kimyasal sürülen numunelerde, SEM-EDS analizleri yapılarak sürülen kimyasalların mikro yapı içindeki görüntüleri alınmıştır (Şekil 10). Bu analizler, İTÜ Malzeme-Metalurji Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvarlarında yapılmıştır.



(a)1000x (b)2000x

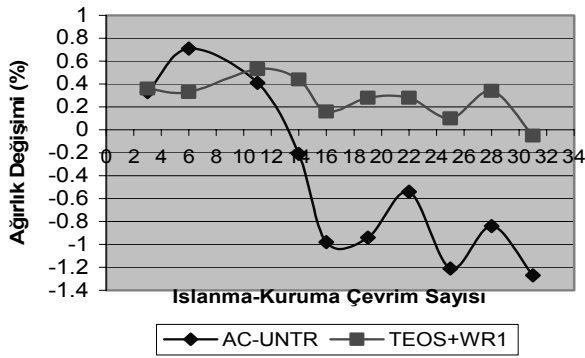
Şekil 10. TEOS+WR1 numunesinin SEM görüntüleri

Şekil 10'da gösterilen SEM görüntülerinden alınan EDS sonuçlarına göre; kimyasal sürülmeyen numunelerde SiO<sub>2</sub> oranı %60-70 iken TEOS+WR1 örneklerinde % 80-100 arası bulunmuştur. Bu artış ise beklenen bir sonuç olmuştur.

### Konservasyon uygulamasının uzun dönem performansının belirlenmesi

Konservasyon uygulamasının uzun dönem performansının değerlendirilebilmesi için ASTM E 2167-01 standardında da önerilen bazı eskitme deneyleri yapılmıştır. Bunlar; ıslanma-kuruma, donma-çözülme, tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklılık vb. gibi hızlandırılmış eskitme deneyleridir. Eskitme deneylerinden bozulmadan çıkan numunelerde tekrar su emme ve ultrases hızı ölçümü gibi kontrol deneyleri yapılmış buna göre eskitme deneylerinden ne kadar etkilendikleri ortaya konulmuştur.

Islanma-kuruma etkilerine dayanıklılık deneyi diğer eskitme deneyleri arasında en az zarar verici olanı olmuştur. Bu deney, 1 ay süren 30 çevrim şeklinde yapılmıştır. Ardışık olarak bazı çevrimlerde numuneler tartılmış ilk günkü duruma göre ağırlık değişimleri yüzde olarak hesaplanmıştır. Ağırlık değişimleri Şekil 11’de gösterilmiştir.

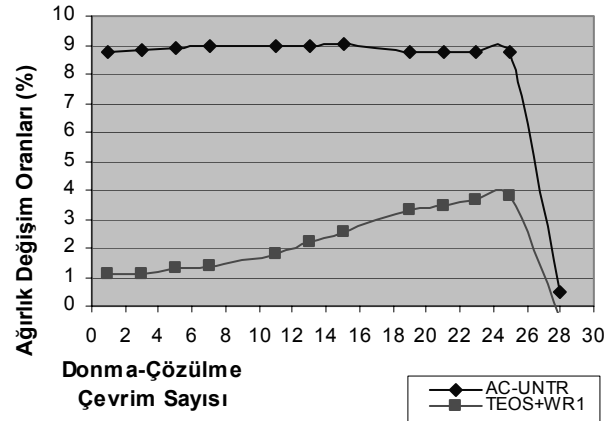


Şekil 11. Islanma-kuruma deneyi sırasında hesaplanan ağırlık değişimleri

Islanma-kuruma etkilerine dayanıklılık deneyi sonunda kimyasalların su emmedeki koruma faktörü (TEI) % 84 iken % 77’ye düşmüştür. Kimyasal sürülmeyen numunenin ultrases geçiş hızında % 17.5, sürülen numunenin ultrases geçiş hızında ise % 3.2 oranında düşüş görülmüştür. Bu sonuçlar, kimyasalların örnek içindeki boşlukların bir kısmını doldurması ile az su emmelerini sağlayarak islanma-kuruma tekrarlarına karşı direnç kazandırdıklarını göstermiştir.

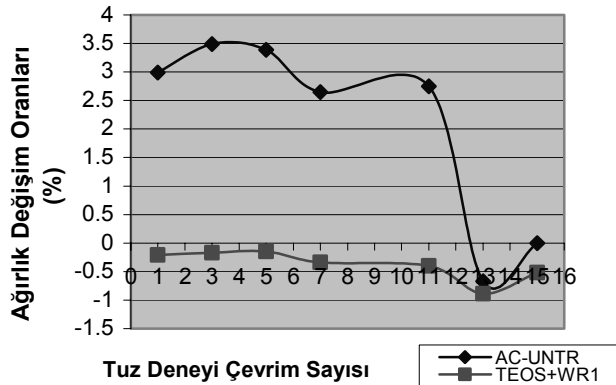
Donma-çözülme etkilerine dayanıklılık deneyi sırasında da, ağırlık değişimleri çok farklılık göstermemiştir. Kimyasal sürülmeyen numunelerin su emme oranı eskitme deneyi sonunda % 1.5 artmıştır. Donma-çözülme deneyi sırasında numunelerde hesaplanan ağırlık değişimleri Şekil 12’de gösterilmiştir.

Donma-çözülme etkilerine dayanıklılık deneyi sonunda kimyasalların su emmedeki koruma faktörü % 87 iken % 63’e düşmüştür. Kimyasal sürülmeyen numunenin ultrases geçiş hızında % 12, sürülen numunenin ultrases geçiş hızında ise % 3.5 oranında düşüş olmuştur.



Şekil 12. Donma-çözülme deneyi sırasında hesaplanan ağırlık değişimleri

Tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklılık deneyi, kimyasal sürülmeyen AC numuneleri 15. çevrimde parçalandığı için deney 20 günde yapılabilmmiştir. Örneklerin ağırlık değişimleri Şekil 13’te gösterilmiştir.



Şekil 13. Tuz kristallenmesine dayanıklılık deneyi sırasında hesaplanan ağırlık değişimleri

Tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklılık deneyi sonunda kimyasalların su emmedeki koruma faktörü % 85 iken % 66’ya düşmüştür. Kimyasal sürülen numunenin ultrases geçiş hızında % 2.2 oranında düşüş olmuştur.

Tuz deneyinden çıkan numunelerin ultrases değerlerinde fazla bir fark görülmemesinin nedeni tuzun numunelerin iç yapılarında kristalleşerek boşlukları doldurması sonucu olduğu düşünülmüştür.

## Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışma, yapıdan alınan od taşı örneğinin konservasyon uygulaması öncesinde laboratuvarlarda yapılması gereken deneyleri ve değerlendirme sistemini ortaya koymuştur.
- Uzun dönem performans deneyleri, sağlamaştırıcı olan etil silikat ile su itici olan solvent bazlı ürünlerin birlikte kullanıldığında başarılı olduğunu göstermiştir.

Bu durumda çıkan sonuçlara göre; sağlamaştırıcı ve solvent bazlı su iticiler iyi penetre oldukları ve silikatlı iç yapıyla daha iyi uyuşarak makro boşlukların bir kısmını doldurmaları sonucunda su, nem veya tuz gibi faktörlerden daha az etkilendikleri için tüm deneylerde başarılı olmuştur.

Od taşında yapılan konservasyon uygulamasının, volkanik tüfler için bir örnek olması bakımından faydalı olacağı düşünülmektedir. Kireçtaşı, kumtaşı gibi taşlardan çok daha farklı bir yapıya sahip olan bu taşlarda konservasyon uygulaması çok detaylı çalışmaları gerektirmektedir. Bu araştırma sonunda ortaya konan çalışma sistematigi her tüf için izlenmelidir ancak konservasyon için kullanılacak ürünlerin seçimine ve uygulama yöntemlerine karar vermeden önce mutlaka laboratuvar ortamında uygunluklarının denenmesi önerilmektedir.

## Kaynaklar

- ASTM E 2167-01, (2001). Standard guide for selection and use of stone consolidants, American standards.
- ASTM E 96/E96 M-05 (2005). Standard test method for water vapour transmission of materials, American standards.
- ASTM D 5313, (1992). Standard test methods for wetting-drying cycles of building materials, American standards.
- Bianchetti P.L., Lombardi G., Marini S., Meucci C., (1990). The volcanic rocks of the monuments of the Forum and Palatine (Rome): Characterizations, alterations, and results of

chemical treatments, *Proceedings*, International Meeting on Lavas and Volcanic Tuffs, Easter Island, Chile, 83.

Charola A. E., (2001). Water repellents and other protective treatments: a critical review, *Proceedings*, Hydrophobe III, 3rd International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents, Aedificatio Publishers, 4-10

Çorapçioğlu K., (1993). *Taş ayrışmasının nedenleri ve koruma teknikleri*, MSÜ Mimarlık Fakültesi Yayını, sf.48.

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

Hilbert, G., Wendler E., (1996). Influence of different consolidating agents on the water vapour diffusion properties of selected stones, *Proceedings*, 8th Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 1345, Berlin.

Hristova J., Todorov V., (1996). Consolidation effect of wacker silicones on the properties of sandy limestone, *Proceedings*, 8th Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 1195/1199, Berlin.

Horie, C. V., (1994). *Materials for conservation, organic consolidants, Adhesives and Coatings*, Butterworth Heinemann, Cornwall, 77.

Kober H., Wittman F. H., Siemes A. J. M., Verhoef L. G. W., (1995). Water thinnable silicon impregnating agents for masonry protection, *Proceedings*, 1st International Symposium on Surface Treatment of Building Materials with Water Repellent Agents, 3/1-3/13.

Lukaszewicz J. M., (1996). The influence of stone pre-consolidation, *Proceedings*, 8th Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 1209-1211, Berlin.

Neftçi, A., (2002). Laleli Külliyesi'nin İnşaat Süreci, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 62-63.

Rossi Manaresi R., (1993). Stone protection from antiquity to the beginning of the industrial revolution, *Journal of Science and Technology for Cultural Heritage*, 2, 149/159.

Topkaç, S., (1992). Ahi Çelebi Camisi restorasyonu ve çevre düzenlemesi, *Yüksek lisans tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Useche L. A., (1990). Studies for the consolidation of the facade of the church of Santo Domingo, Popayan, Colombia, *Proceedings*, International Meeting on Lavas and Volcanic Tuffs, Easter Island, Chile, 165.

TSE 699 (1976). Doğal taşlar, deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1925 (2000). Doğal taşlar, deney metotları, kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12370 (2001). Doğal taşlar, deney metotları, tuz kristallenmesine direncin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12371 (2003). Doğal taşlar, deney metotları, dona dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14579 (2006). Doğal taşlar deney metotları- ses hızının ilerlemesinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.