

Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri

Cem OĞUZ¹
Fikret TÜRKER²
Niyazi Uğur KOÇKAL³

ÖZ

Bu çalışmada Antalya ili içerisinde yer alan Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu döneminde inşa edilmiş olan tarihi yapılarda kullanılan harçların fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Numuneler genel olarak, yapının değişik dönemleri hakkında bilgi verecek olan bölgelerden alınmıştır. Laboratuvar ortamında bu tarihi yapılardan alınan harçlar üzerinde parlatılmış yüzeylerinde stereo mikroskopla petrografik değerlendirme yapılmıştır. XRD, SEM/EDX, TG/DTA, XRF, birim hacim kütle, kütlece su emme, hacimce su emme, özgül kütle, kompasite, porozite, asit kaybı ve elek analizi, tuz analizleri, pH, protein, yağ, puzolanik aktivite-iletkenlik analizleri ve nokta yükleme deneyi uygulanmış, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucu, farklı dönemlerde inşa edilen yapılarda kullanılan Roma, Bizans, Selçuklu dönemi harç malzemesi bölgede dağılım sunan kayalardan üretilmiş olmasından dolayı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri açısından dönemler arasında bir farklılık gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapı, karakterizasyon, mikroyapı, harç.

ABSTRACT

Properties of Roman, Byzantine and Seljuk Period Mortar in Andriake Harbour

In this study, the physical, chemical, mechanical and micro-structural properties of mortars in historic constructions built during Roman, Byzantine and Seljuk periods in Andriake Harbour, Antalya were investigated. Samples were generally taken from the regions to provide information about the different periods of the structure. Petrographic evaluation on the polished surfaces of the samples collected from the historic constructions was performed with stereo microscope in laboratory environment. XRD, SEM/EDX, TG/DTA, XRF, unit weight, water absorption by weight, water absorption by volume, specific mass, compactness, porosity, acid loss, sieve, salt, pH, protein, fat, pozzolanic activity-conductivity analyses together with point load tests were applied and the results were

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 20.11.2013 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

¹ Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - cemoguz@akdeniz.edu.tr

² Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - fturker@akdeniz.edu.tr

³ Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - nukockal@akdeniz.edu.tr

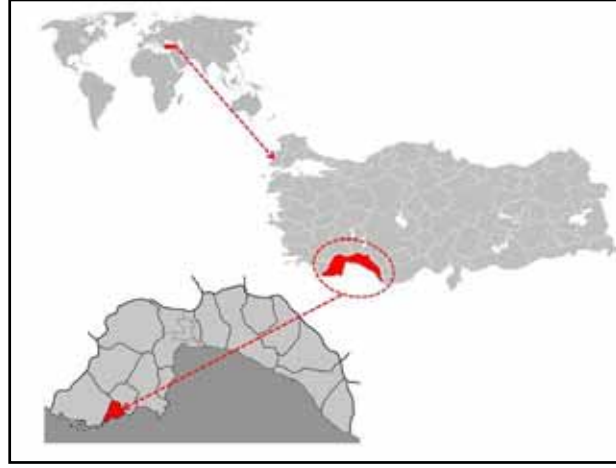
evaluated. Due to analysis results, a significant difference was not observed among the structures built in Roman, Byzantine, Seljuk periods in terms of physical, chemical and mechanical properties, although they were produced from the rocks with certain distributive properties.

Keywords: Historical building, characterization, microstructural, mortar.

1. GİRİŞ

Kültürel mirasımızın en önemli eserleri olan tarihi yapılar, iyi bir şekilde korunmalı ve değerlendirilmelidir. Tarihi yapılarda bulunan harç, tuğla ve taşlar kullanıldıkları dönemin yapım teknolojisi hakkında önemli bilgiler verdikleri için tarihi belge niteliği taşımaktadırlar. Tarihi yapılar ve bu yapılarda kullanılan yapı malzemeleri, incelenmesi gereken önemli eserlerdir. Tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirilme sürecinde özgün malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine uygun, benzer malzemelerin üretilmesi, geliştirilmesi ve kullanılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

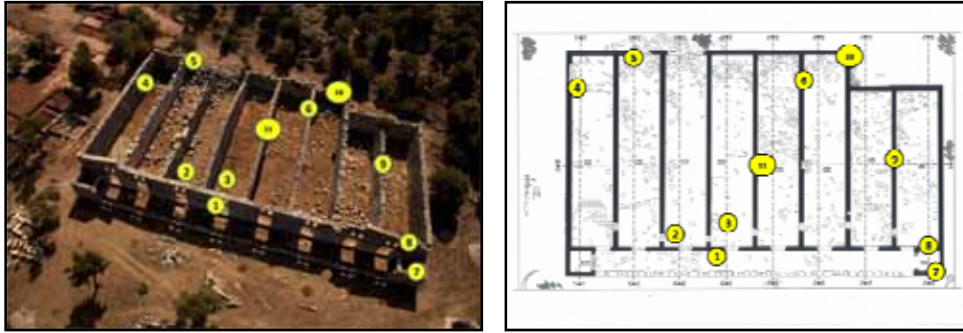
Myra, Antalya körfezinin batısında Teke yarımadasının güneyinde yer alan, Antalya il merkezine 140 km uzaklıkta Demre ilçesi sınırlarındadır (Şekil 1). Demre, doğusunda Finike İlçesi, batısında Kaş İlçesi, güneyinde ise Akdeniz ile sınırdır. Myra'nın Roma ve Bizans dönemlerinde görkemli bir metropol olduğu bugün alüvyon dolgu üstünde kalan kısımları nedeniyle sadece birkaç yapıdan anlaşılabilir. Andriake yerleşimi, Myra antik kentinin 4.7 km güneybatısında yer alır. Myra'nın liman yerleşimidir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bildirim haritası.

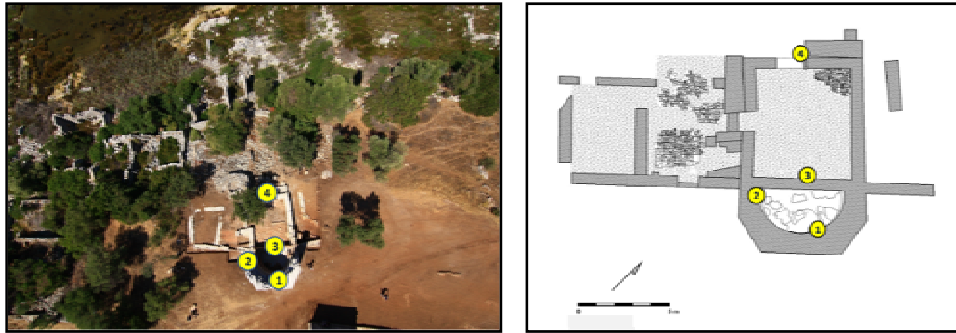
Andriake, mükemmel sığınma olanakları sunan doğal limanı ve görkemli liman yapıları ile Antik Dönemlerde uluslararası bir ticaret merkezi, bölgenin en önemli limanı ve uğrak yeridir [1].

Akdeniz sahillerinde sadece iki benzeri bulunan Andriake Granarium'unun (İmparatorluk Silosu) arkeolojide çok özel bir yeri vardır [2]. Sekiz bölümden oluşan çok iyi korunmuş yapı 64.24 x 38.65 m ölçülerindedir (Şekil 2). İ.S. 2. yüzyıl'da yapıldığı tarihlenmektedir. Andriake'ye özgü denilebilecek bir yapı malzemesi olarak arkeolojide ilk kez burada mureks harcından bahsetmek gereklidir. Geç dönem kullanımlarıyla büyük oranda tahrip olan zeminde İ.S. 6. yüzyılda faal olduğunu düşünülen mureks işliklerinin artıklarıyla kireç harcının karıştırılması suretiyle elde edilen mureks harcı kullanılmıştır.



Şekil 2. Granarium 2011 hava fotoğrafı ve planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi).

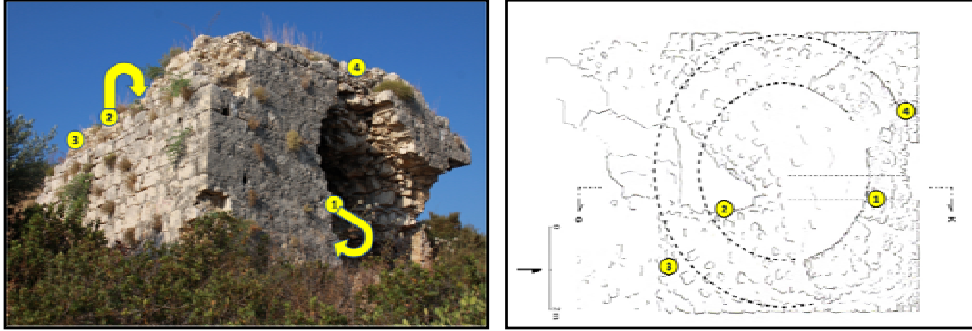
Sinagog, 2009 kazı sezonu çalışmalarında büyük bir sürpriz bulgu olarak ortaya çıkmıştır [1]. 3.90 m çapındaki apsisin bulunduğu ana odanın ölçüleri 7.25 x 5.08 m'dir (Şekil 3). Yapı ve mimari bezemeler sinagog kalıntılarının İ.S. 5. yüzyıl'dan olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Sinagog 2011 hava fotoğrafı ve planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi).

Taşdibi'nin Myra'nın Andriake sonrasındaki limanı olduğuna dair bir diğer veriyi ise yarımada karaya çıkış yerinin tam üzerindeki bir noktaya inşa edilmiş olan mânar

(Selçuklu topraklarında silindirik bir kule anlamına gelen Arapça bir kelime) sağlamaktadır [3]. Dörtgen kaidesi, 6.70 x 6.70 metre boyutları ve 5 metre yüksekliği ile bugün büyük oranda in situ korunmuş durumdadır (Şekil 4). Selçuklu Sultanı I. Alaeddin Keykubat döneminde (1220-1236) inşa edilmiş olduğu tarihlenmektedir.



Şekil 4. Taşdibi 2011 hava fotoğrafı ve planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi).

Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen katılaşma özelliğine sahip malzemeye “harç” denir [4]. Kireç kullanılarak elde edilen harç ve sıvalar, Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden, çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede, yapıların inşalarında kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak kireç, dolgu malzemesi olarak da ince agregaların karıştırılmasıyla kireç harcı ve sıvaları elde edilir. Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın özelliklerini geliştirmek amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı da bilinmektedir [5].

Kireç, hidrolik ve hidrolik olmayan kireç olmak üzere ikiye ayrılır. Hidrolik olmayan kireç, kirecin saf formudur, bunlara hava kireci ya da yüksek kalsiyumlu kireç de denir. Gelişmiş analizler gösteriyor ki, Romalılar sadece hidrolik olmayan kireç kullanmışlardır. Hidrolik olmayan kireçlerle hazırlanan harçlar CO₂'nin harç tarafından emilmesiyle sertleşirler [6]. Agreganın boyutu, dayanıklılığı, içeriği harç ve sıvanın mukavemetini doğrudan etkiler. Tarihi yapılarda yaygın olarak kum, tuğla ve kiremit kırığı, kırılmış taş, mermer, tras kullanılmıştır [7]. Agreganın tipinin yanı sıra mineralojisi, karışımdaki miktarı, maksimum tane büyüklüğü dağılımı ve bağlayıcı/agrega oranı da harcın performansını etkilemektedir [8].

İ.S. 2. yüzyılda puzolanın kireçle reaksiyona girerek harca hidrolik özellik verdiği fark edilmiştir. Roma harcı volkanik tüf olan puzolan ve kirecin karışımı ile yapılmıştır. Romalılar kireç-puzolan karışımı harçların, kireç harçlarından daha iyi olduğunu anlayıp çoğunlukla bu harçları kullanmayı tercih etmişlerdir. Sur duvarlarında, tonozlarda hatta birçok sivil mimari yapılarda da kullanılmıştır [9, 10]. Hidrolik harçların dayanımı ve dayanıklılığı, diğerine göre daha yüksek olurken bu olumlu özellik, bağlayıcı olarak hidrolik kireç kullanılarak ve/veya doğal puzolan ilavesi ile sağlanmaktadır. Özel bir kireç harcı türü olan; tuğla, kiremit gibi pişirilmiş kil ürünlerinin kırıklarını içeren horasan harcı

da hidrolik olarak nitelendirilmektedir [5]. Hidrolik olmayan kireç harçları, sönmüş kirecin, havadaki CO₂ ile birleşmesi neticesinde dayanım kazanırken; hidrolik harçlar bu tepkimenin yanı sıra nem altında açığa çıkan kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidratların (C-A-H) oluşumu ile dayanım kazanmaktadır [11].

Tarihi yapıların koruma ve onarım çalışmalarında kullanılacak yeni malzemelerin özgün malzemelerle uygunluk içerisinde olması gerekir. Bu uygunluk özgün malzemenin; estetik, mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi ile sorgulanmalıdır [12].

Bu çalışmada, Antalya ili içerisinde tarihi Myra Andriake Limanında yer alan Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemlerinde inşa edilmiş olan üç yapıda kullanılan harçların özellikleri, standartların yanı sıra literatürde yer alan ve yaygın olarak kullanılan deney yöntemlerinden bazıları uygulanarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Antalya ili içerisinde Myra ve Limanı Andriake’de yer alan Roma Dönemi yapılan Granarium yapısının on farklı bölgesinden (iki tanesi Bizans Dönemi yapılmış), Bizans Dönemi yapılan Sinagog yapısının dört farklı bölgesinden ve Selçuklu Döneminde inşa edilen Taşdibi yapısının dört farklı bölgesinden toplam onsekiz adet harç numuneler alınmıştır. Numune alınan bölgeler yapıların plan ve hava fotoğrafları üzerinde işaretlenmiş (Şekil 2-3-4) ve bu bölgelerin fotoğrafları çekilmiştir.

Duvar örgü harcı numuneleri alınırken numunelerin mümkün olduğunca yüzeyden olmamasına dikkat edilmiş, özgün malzemelere zarar verilmemesi ilkesi esas alınmıştır. Bu nedenle yapılardan karot alınması yöntemi yerine elle ve yardımcı aletlerle örnek alma yöntemi tercih edilmiştir. Numune alma işlemi, kazı ekibinde yer alan arkeologlar gözetiminde çekiç ve keski yardımıyla yapıya zarar vermemeye özen gösterilerek büyük bir titizlik içerisinde yapılmıştır. Numuneler mümkün olduğunca kütle halinde çıkarılmaya çalışılmış, ancak bazı numunelerin zayıf olmaları ve çabuk dağılmaları nedeniyle kütle elde edilmesi zor olmuştur. Alınan numuneler yapı isimleri ve malzeme türüne göre gruplandırılarak kodlanmış ve laboratuvar çalışmaları başlamadan önce ölçek verilerek fotoğraflanmıştır. Numune kodlamalarında ilk harf yapı adlarının ilk harfini (Granarium:G, Sinagog:S, Taşdibi:TD), ikinci harf yapı malzeme cinsini (harç:H) üçüncü rakam da alınan bölgeleri göstermektedir. Örneğin: GH4, Granarium’un 4. bölgesinden alınan harç numunesini ifade etmektedir.

Laboratuvara getirilen numuneler ilk olarak basınçlı hava ve fırça yardımıyla çevresel kirliliklerden temizlenmiştir. Daha sonra temizlenen numunelerden yapılması düşünülen analizlere uygun büyüklükte ve özellikte parçalar seçilmiştir. Laboratuvara getirilen numunelerden parlatılmış yüzey elde etmek amacıyla seçilen parçalar, önce Metacut-M250 serisi kesme cihazı yardımıyla sulu kesime tabi tutulmuştur. Kesme işlemi sonrasında düzleştirilen yüzeyler, Buehler- Metaserv Grinder Polisher marka cihaz vasıtasıyla dönen disk üzerinde zımpara tozu, gümüş tozu yardımıyla parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler Nikon SMZ 745 T marka görüntüleme aparatlı trinoküler stereo-mikroskop yardımıyla incelenerek görüntüleri alınmıştır.

SEM analizleri için numune yüzeyinin iletken olması gerektiğinden 10x10x10 mm boyutlarındaki numunelerin yüzeyleri altın ile kaplanmıştır. XRD, XRF, TG/DTA analizleri için numuneler, öğütücüde öğütülmüş ve tane boyutu 63 µm'nin altında tozlar üretilmiştir. Kimyasal ve fiziksel analizler için 40-50 gr ağırlığında numuneler hazırlanmıştır. Mekanik deneylerin yapılabilmesi için numune boyutlarının 40x40x40 mm'lik küp veya 40x40x160 mm boyutunda prizma olması gerekmektedir. Ancak kireç harçları çok dağılgan oldukları için bu boyutta örnek kesmek çok zordur, bu durumda nokta yükleme analizleri de basınç dayanımıyla ilgili bilgi vermektedir [13].

Agrega, bağlayıcı ve agregabağlayıcı ara yüzeyleri olmak üzere üç farklı noktada kimyasal kompozisyonlar ve mikroyapısal özellikler, Philips XL-30S FEG ve FEI Quanta 250 FEG marka elektron mikroskopları ve bu mikroskoplara bağlı olan EDAX ve Oxford X-ACT modellerde EDX dedektörleri kullanılarak tespit edilmiştir.

Harçların mineralojik kompozisyonları belirlemek için XRD çekimleri, Phillips X'Pert Pro X-Ray Diffractometer marka cihazla Cu-K α radyasyonu ile 2 θ 5-70° açı aralığında gerçekleştirilmiştir (jeneratör 45 kV, 40 mA, dalga boyu (λ) 1.5443 Å (CuK α)).

XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi) analizi Spectro IQ II model cihaz ile yapılmıştır. Bu analizle; Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, Cr₂O₃, MgO, SiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, TiO₂, kızdırma kaybı (%) bulunarak, kimyasal elementlerin cinsi ve bulunma oranları tespit edilmiştir.

Termal analizler Perkin Elmer Diomand TG/DTA model cihazla yapılmıştır. Termal analiz toz halindeki numunelerin nitrojen gazı ile dakikada 10 °C ısıtma oranı ile 30-1200 °C arasında ısıtılması ile yapılmıştır. Harçların hidrolik özellikleri TG/DTA analizi ile belirlenmiştir. Sıcaklık değişimleri karşısındaki kütle kayıplarının incelendiği bu analiz neticesinde, 200-600°C ve 600-900°C aralıklarındaki kütle kayıpları (%) cinsinden tespit edilmiştir. 200-600°C aralığındaki kütle kaybı, kimyasal bağlı suyun (H₂O) çıkışını; 600-900°C aralığındaki kütle kaybı ise karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu sonucu karbondioksit (CO₂) çıkışını ifade etmektedir. Harçların hidrolik özellikleri, kayıp karbondioksit ve su yüzdelерinin birbirine oranlanması (CO₂/H₂O) ile değerlendirilir. Bu oranın 1 ile 10 arasında olması durumunda harçların hidrolik özellik gösterdiği, 10 ile 35 arasında olması durumunda ise hidrolik özellik göstermediği kabul edilmektedir [14].

Harç numunelerin standart boyutlarda olmaması nedeniyle tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılamadığından nokta yükleme (point-load) deneyi tercih edilmiştir. Standart nokta yükleme deneyi YKM CAS CI-1580A Indicator model cihaz ile yapılmıştır.

İletkenlik ölçümü ile puzolanik aktivite testinde, ilk olarak doymuş Ca(OH)₂ çözeltisi hazırlanmış, iletkenlik değeri ölçülmüştür. Sonra malzemenin elek analizinde 100 µm altında kalan kısmı 1gr/50 ml oranında çözeltiliye eklenmiş ve iletkenliği ölçülmüştür. Ölçülen iki iletkenlik değeri arasındaki fark, puzolanlık özelliğini vermektedir. İletkenlikler arasındaki fark 1.2 mS/cm'den büyük ise malzeme iyi puzolan, 0.4-1.2 mS/cm arasında ise puzolan, 0.4 mS/cm'den küçük ise puzolan olmadığını göstermektedir [15]. İletkenlik HQ40d model multimetre cihazı yardımı ile ölçülmüştür.

Asit kaybı analizi, harçlarda bağlayıcı, ince agregaya, iri agregayı ayırmak ve bağlayıcı kireç miktarını hesaplamak için yapılır. Silis kökenli agregaya/ kireç oranının belirlenmesi amacı ile harç örneklerinden en az 50 gr'lık toz numune tartılmıştır. Beher içine konulan toz

numuneler, %10 oranında seyreltilmiş HCl ile 60 dakika karıştırılmış, 1 saat bekletildikten sonra filtre kâğıdından süzülerek asitteki kayıp oranı belirlenmiştir [11].

Malzemelerde bozulmalara neden olan tuzların numuneler içerisindeki varlıklarının belirlenebilmesi için klorür, nitrat, sülfat ve karbonat iyonları tespitlerini kapsayan tuz analizleri gerçekleştirilmiştir. Tuz analizleri için öncelikle stok çözelti hazırlanmıştır. Bunun için tuz analizlerinde kullanılacak toz haline getirilen 1 gr harç numunesi üzerine 100 ml saf su konularak malzeme 24 saat bekletilmiştir. Böylece numune içeriğinde bulunan suda çözünebilir tuzlar saf su içerisinde iyon haline getirilir. 24 saat sonunda katı (çökelti) ve sıvı kısım (stok çözelti) ayrılmıştır. Katı (çökelti) kısmın test tüpünün dibinde kalıp, çözeltinin berrak olması gerekmektedir. Stok çözeltisinde klor, sülfat, karbonat ve nitrat gibi suda çözünen tuzların bulunma oranları belirlenmiştir [10]. Bu analizler göreceli olarak ölçülmüş ve tabloda +, - olarak gösterilmiştir. Analizlerde tespit edilen tuzların miktarı fazla ise + miktarı da artırılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Makro Boyutta İnceleme

İlk olarak makroskobik gözlemler ile malzemelerin şekli, boyutu, sertliği, bileşenleri, rengi, dokusu, yoğunluğu, katmanları incelenmiş, fotoğraflama çalışmalarıyla numune alınan yerler ve numuneler makro ve mikro ölçekte belgelenmiştir (Şekil 5).



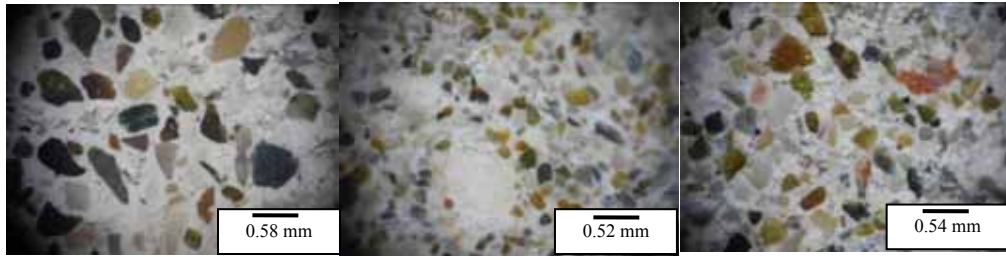
Şekil 5. GH4 kodlu taş duvar harcı numunesi.

Numunelerin parlatılan yüzeyleri önce gözle daha sonra stereo mikroskop yardımıyla incelenmiş, her dönemden birer numunenin alınan ölçekli görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Onsekiz adet harç numunesinin dört tanesinde (SH4, GH2, GH8, GH10) kırılmış tuğla parçaları agrega ile birlikte kullanılmıştır.

Birbirinden çok az farklılıklar göstermekle birlikte, harçlar boşluklu bir yapıya sahip olup, özellikle beyaz, krem, siyah, koyu ve kırmızımsı kahve renklerinde silt boyutundan 1 cm çapına yaklaşan yuvarlaklaşmış, yarı yuvarlaklaşmış ve/veya köşeli ancak çoğunlukla uzun ve yassı taneler içermektedirler. Harçlarda gözlemlenen koyu ve kırmızımsı kahve

Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçlarının Özellikleri

tonundaki tanelerin çoğunluğunun kırılmış tuğla olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Granarium'un tabanından alınan harç numunelerde (GH2) bol miktarda fosil kavkı parçalarına (mureks) rastlanmıştır. Bununla birlikte, geniş çatlakların, kalsit minerallerinin yeniden kristalleşmesiyle dolduğu gözlenmiştir. Harçlarda kullanılan değişik türdeki agregaların çoğunluğunu kuvars, feldspat mineraline sahip agregaların oluşturduğu saptanmıştır. Genel olarak grimsi-beyaz renkli, siyah taneler çok belirgin durumdadır. Beyaz, krem, koyu kahve, kırmızımsı kahve, yeşil, taneler vardır. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır. İnce tanelerin arasında karbonatlı ara malzemenin bağ kurduğu gözlenmektedir.



Roma Dönemi GH5

Bizans Dönemi SH1

Selçuklu Dönemi TDH4

Şekil 6. Harç numunelerin stereo mikroskop görüntüleri.

3.2. Fiziksel Analizler

Alınan harç numuneleri üzerinde; su emme oranı (kütlece ve hacimce) (S_k , S_h) birim hacim kütle (görünür yoğunluk) (Δ), özgül kütle (gerçek yoğunluk) (ρ), porozite (p), kompasite (k) gibi fiziksel deneyler, TS EN 1936 standardındaki yöntemlere göre yapılmıştır [16]. Sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

Harç numunelerin fiziksel özellikleri analiz edildiğinde (Tablo 1); birim hacim kütlelerinin 1.45-1.86 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.38-2.65 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 14.60-26.78, hacimce su emme yüzdesinin % 25.88-40.10, porozitesinin % 29-41, kompasitesinin % 59-71 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlardan, harçların nispeten hafif ve oldukça boşluklu olduğu görülmektedir. Dönemsel incelendiğinde Roma dönemi sekiz adet harçta ortalama olarak birim hacim kütlelerinin 1.65 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.56 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 20.72, hacimce su emme yüzdesinin % 33.85, porozitesinin % 36, kompasitesinin % 64, Bizans dönemi altı adet harçta ortalama olarak birim hacim kütlelerinin 1.57 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.48 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 22.30, hacimce su emme yüzdesinin % 34.80, porozitesinin % 37, kompasitesinin % 63, Selçuklu dönemi dört adet harçta ortalama olarak birim hacim kütlelerinin 1.68 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.60 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 17.21, hacimce su emme yüzdesinin % 28.75, porozitesinin % 36, kompasitesinin % 64 olduğu belirlenmiştir. Bu değerler, İstanbul, Kayseri bölgesindeki farklı alanlardan alınmış Roma, Bizans ve Selçuklu dönemi harçları ile Antalya ve İtalya'daki Roma dönemi harçları arasında benzer fiziksel özellikler göstermektedir [11, 17, 18, 19, 20].

Tablo 1. Harç numunelerin fiziksel analiz sonuçları.

| SN | NUM. ADI | DÖNEM | Δ (gr/cm ³) | S _k (%) | S _h (%) | δ (gr/cm ³) | POROZİTE p (%) | KOMPASİTE k (%) |
|----|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | SH1 | Bizans | 1.67 | 19.97 | 33.40 | 2.63 | 36 | 64 |
| 2 | SH2 | Bizans | 1.55 | 21.46 | 33.27 | 2.38 | 35 | 65 |
| 3 | SH3 | Bizans | 1.67 | 18.06 | 30.18 | 2.50 | 33 | 67 |
| 4 | SH4 | Bizans | 1.52 | 21.68 | 32.91 | 2.38 | 36 | 64 |
| 5 | GH1 | Roma | 1.60 | 22.18 | 35.41 | 2.50 | 36 | 64 |
| 6 | GH2 | Bizans | 1.55 | 25.82 | 40.10 | 2.63 | 41 | 59 |
| 7 | GH4 | Roma | 1.69 | 18.89 | 32.00 | 2.50 | 32 | 68 |
| 8 | GH5 | Roma | 1.63 | 21.44 | 34.86 | 2.55 | 36 | 64 |
| 9 | GH6 | Roma | 1.60 | 23.59 | 37.77 | 2.63 | 39 | 61 |
| 10 | GH7 | Roma | 1.86 | 14.60 | 27.11 | 2.63 | 29 | 71 |
| 11 | GH8 | Roma | 1.66 | 19.56 | 32.54 | 2.52 | 34 | 66 |
| 12 | GH9 | Roma | 1.54 | 23.53 | 36.20 | 2.50 | 38 | 62 |
| 13 | GH10 | Roma | 1.59 | 21.95 | 34.89 | 2.63 | 40 | 60 |
| 14 | GH11 | Bizans | 1.45 | 26.78 | 38.95 | 2.43 | 40 | 60 |
| 15 | TDH1 | Selçuklu | 1.65 | 15.71 | 25.88 | 2.50 | 34 | 66 |
| 16 | TDH2 | Selçuklu | 1.57 | 19.13 | 29.98 | 2.63 | 40 | 60 |
| 17 | TDH3 | Selçuklu | 1.85 | 15.60 | 28.85 | 2.63 | 30 | 70 |
| 18 | TDH4 | Selçuklu | 1.65 | 18.40 | 30.30 | 2.65 | 38 | 62 |

3.3. Mekanik Analizler

Harç numunelerinin standart boyutlarda olmaması nedeniyle tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılamadığından nokta yükleme (point-load) deneyi tercih edilmiştir. Ondört adet harç numunesi üzerinde nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir. Nokta yükleme dayanım indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki oran, “dayanım dönüşüm faktörü indeksi (K)” ile ifade edilmektedir. Yapılan literatür taramasında bu değer 6 ile 12 arasında değiştiği görülmüştür [21, 22, 23]. K değeri için, zayıf kayalarda geçerli olan 10,6471 değeri esas alınmıştır [24]. Bu değerle, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi çarpılarak eşdeğer tek eksenli basınç dayanım değeri bulunmuştur.

Nokta yükleme deney sonuçlarına göre basınç dayanımları; Bizans dönemi Sinagog’ta (5. yüzyıl) ortalama 8.3 MPa, Roma Dönemi Granarium’da duvarlarda (2. yüzyıl) ortalama 6.0 MPa, Bizans dönemi tabanda (6. yüzyıl) ortalama 9.5 MPa, Selçuklu dönemi Taşdibi’nde (13. yüzyıl) ortalama 6.6 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler, İstanbul, Kayseri

bölgesindeki farklı alanlardan alınmış Roma, Bizans ve Selçuklu dönemi harçları ile Bergama, İtalya'daki Roma dönemi harçları arasında benzer mekanik özellikler göstermektedir [11, 17, 18, 19, 25].

Tablo 2. Harç numune nokta yükleme deney sonuçları.

| SN | NUM.ADI-YILI | NUMUNE TİPİ | I_s | $I_s(50)$ | BASINÇ DAYANIMI (MPa) |
|----|--------------|----------------------|-------|-----------|-----------------------|
| 1 | SH1(5yy) | HARÇ (taş_taş) | 2.83 | 0.90 | 9.6 |
| 2 | SH3(5yy) | HARÇ (taş_taş) | 1.51 | 0.65 | 6.9 |
| 3 | GH1(2yy) | HARÇ (taş_taş) | 0.75 | 0.29 | 3.1 |
| 4 | GH2(6yy) | HARÇ (taban-mureks) | 3.61 | 1.42 | 15.1 |
| 5 | GH4(2yy) | HARÇ (taş_taş) | 2.00 | 0.72 | 7.6 |
| 6 | GH6(2yy) | HARÇ(taş_taş) (çatı) | 1.58 | 0.60 | 6.4 |
| 7 | GH7(2yy) | HARÇ(yalıtım-temel) | 2.23 | 0.75 | 8.0 |
| 8 | GH8(2yy) | HARÇ (yalıtım-çatı) | 1.75 | 0.60 | 6.4 |
| 9 | GH9(2yy) | HARÇ (taş_taş) | 0.64 | 0.22 | 2.4 |
| 10 | GH10(2yy) | HARÇ (taş_taş) | 2.17 | 0.76 | 8.1 |
| 11 | GH11(6yy) | HARÇ (taban) | 1.04 | 0.37 | 3.9 |
| 12 | TDH1(13yy) | HARÇ (taş_taş) | 1.24 | 0.44 | 4.7 |
| 13 | TDH2(13yy) | HARÇ (taş_taş) | 1.65 | 0.62 | 6.6 |
| 14 | TDH4(13yy) | HARÇ (taş_taş) | 2.10 | 0.80 | 8.6 |

3.4. Kimyasal Analizler

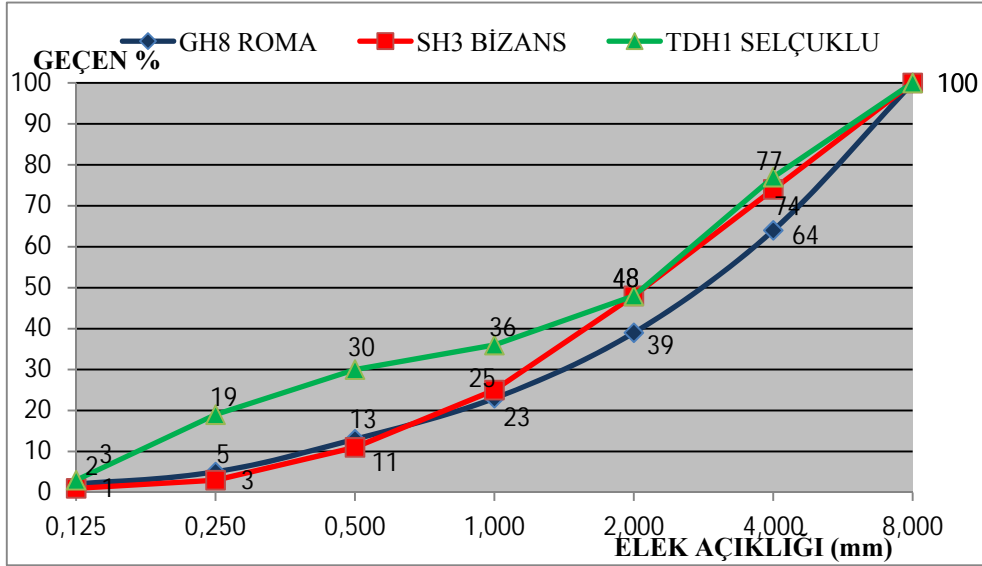
3.4.1. Asit Kaybı ve Elek Analizi

Asit ile tepkimeye girmeyen ve filtre kağıdının üzerinde kalan kısım etüvde kurutulmuş asitteki kayıp oranı belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Roma dönemi yapılarında (Granarium üst yapı) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/6, Bizans dönemi yapılarında (Sinagog, Granarium zemin) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/7, Selçuklu dönemi yapılarında (Taşdibi) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/4 olduğu görülmektedir. Roma ve Bizans dönemi harçlarda görülen düşük bağlayıcı/agrega oranlarına, hava koşulları neticesinde yıkanan ve/veya aşınan kalsitin neden olduğu düşünülmektedir. Selçuklu dönemine göre Roma ve Bizans dönemlerinde bağlayıcının daha az kullanıldığı söylenebilir. Tarihi harç numunelerdeki agrega tane boyutu ve dağılımının belirlenmesi için yapılan elek analizi sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Maksimum tane boyutu 4 mm olan GH5, kodlu numunelerin dışındaki tüm gruplarda, agrega maksimum tane boyutunun 8 mm olduğu tespit edilmiştir. Harçlardaki agrega yapısında iri agregalar yuvarlanmış, ince

agregalar ise kırıklı / köşeli yapıdadır. Bu durum harçlarda kullanılan agregaların seçiminde hem dere yatağından hem de taş ocağından alınan agregaların birlikte kullanıldığına işaret etmektedir.

Tablo 3. Tarihi harç numunelerde asit kaybı analizi sonuçları.

| SN | NUMUNE ADI | DÖNEM | ASİT KAYBI (%) | BAĞLAYICI/AGREGA ORANI |
|----|------------|----------|----------------|------------------------|
| 1 | SH1 | Bizans | 10,2 | 1/9 |
| 2 | SH3 | Bizans | 11,3 | 1/8 |
| 3 | GH1 | Roma | 22,5 | 1/3 |
| 4 | GH2 | Bizans | 15,8 | 1/5 |
| 5 | GH5 | Roma | 12,3 | 1/7 |
| 6 | GH6 | Roma | 10,9 | 1/8 |
| 7 | GH8 | Roma | 9,7 | 1/9 |
| 8 | GH10 | Roma | 14,5 | 1/6 |
| 9 | TDH1 | Selçuklu | 21,7 | 1/4 |
| 10 | TDH3 | Selçuklu | 21,6 | 1/4 |



Şekil 7. Roma (GH8), Bizans (SH3) ve Selçuklu (TDH1) Dönemi tarihi harç numunelerindeki agregaların elek analizi.

3.4.2. Tuz Analizi

Tablo 4'de harç numunelerinin tuz analizleri sonuçları görülmektedir. Granarium'un denize yakın bölgesinden alınan GH1 numunesinde klorür varlığı tespit edilmiştir. GH1 numunesinin yapıdaki konumu dikkate alındığında klorürün deniz suyundan kaynaklandığı düşünülmektedir. GH1 numunesi ile aynı yapıdaki diğer GH4, GH6, GH7, GH8, GH9, GH10 numunelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ile karşılaştırıldığında tuzun olumsuz etkisinin olmadığı görülmektedir. Numunelerde nitrat varlığı, bölgenin yoğun tarım yapılan bir bölge olmasından kaynaklandığı kanaatine varılmaktadır. Sülfat ve karbonat varlığı tespit edilmemiştir.

Tablo 4. Harç numunelerin tuz analizleri

| NUM. ADI | NUMUNE TİPİ | Klorür Cl ⁻ | Sülfat SO ₄ ⁻² | Karbonat CO ₃ ⁻² | Nitrat NO ₃ ⁻ |
|----------|-----------------------|---------------------------|---|---|--|
| SH1 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | + |
| SH2 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | - |
| SH3 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | - |
| SH4 | HARÇ (taban) | - | - | - | - |
| GH1 | HARÇ (taş_taş) | +++ | - | - | + |
| GH2 | HARÇ (taban-mureks) | - | - | - | - |
| GH4 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | - |
| GH5 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | - |
| GH6 | HARÇ (taş_taş) (çatı) | - | - | - | - |
| GH7 | HARÇ (yalıtım-temel) | - | - | - | + |
| GH8 | HARÇ (yalıtım-çatı) | - | - | - | - |
| GH9 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | +++ |
| GH10 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | + |
| GH11 | HARÇ (taban) | - | - | - | - |
| TDH1 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | - |
| TDH2 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | +++ |
| TDH3 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | - |
| TDH4 | HARÇ (taş_taş) | - | - | - | - |

3.4.3. İletkenlik, pH, Protein ve Yağ Analizleri

Tablo 5'de görüldüğü üzere, deney yapılan onsekiz numuneden yedi tanesinde (%39) iletkenlikler arası fark 0.40-0.49 mS/cm arası bulunduğundan puzolanik aktiviteye sahip

olduğu görülmektedir. Geri kalan onbir numunede (%61) iletkenlikler arası fark 0.40 mS/cm'den küçük değer aldığından numunelerin puzolan olmadığı tespit edilmiştir.

Malzemelerin asidik veya bazik olduğunun belirlenebilmesi amacıyla pH değeri ölçülmüştür. pH değerinin Tablo 5'de görüldüğü üzere 8.61-9.01 arasında olması bazik özellik taşımaktadır.

Tablo 5. Harç numunelerin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri.

| NUM. ADI | NUMUNE TİPİ | İletkenlik (mS/cm) | pH | Protein | Yağ |
|----------|----------------------|--------------------|------|---------|-----|
| SH1 | HARÇ (taş_taş) | 0.28 | 8.99 | + | + |
| SH2 | HARÇ (taş_taş) | 0.23 | 8.87 | - | + |
| SH3 | HARÇ (taş_taş) | 0.39 | 9.01 | + | - |
| SH4 | HARÇ (taban) | 0.22 | 8.91 | + | + |
| GH1 | HARÇ (taş_taş) | 0.04 | 8.61 | - | - |
| GH2 | HARÇ (taban-mureks) | 0.48 | 8.85 | + | + |
| GH4 | HARÇ (taş_taş) | 0.49 | 8.82 | - | + |
| GH5 | HARÇ (taş_taş) | 0.42 | 8.83 | + | + |
| GH6 | HARÇ(taş_taş) (çatı) | 0.34 | 8.86 | + | - |
| GH7 | HARÇ (yalıtım-temel) | 0.45 | 8.72 | + | + |
| GH8 | HARÇ (yalıtım-çatı) | 0.31 | 8.77 | + | + |
| GH9 | HARÇ (taş_taş) | 0.37 | 8.82 | - | - |
| GH10 | HARÇ (taş_taş) | 0.47 | 8.83 | + | + |
| GH11 | HARÇ (taban) | 0.40 | 8.80 | - | + |
| TDH1 | HARÇ (taş_taş) | 0.46 | 8.88 | - | - |
| TDH2 | HARÇ (taş_taş) | 0.25 | 8.84 | - | + |
| TDH3 | HARÇ (taş_taş) | 0.24 | 8.85 | + | + |
| TDH4 | HARÇ (taş_taş) | 0.28 | 8.88 | + | - |

Tarihi yapılardan alınan numunelerde organik katkı maddelerini tespit etmek için protein ve yağ analizleri yapılmıştır. Bir ucu ısıtılarak kapatılmış kapiler tüpe, toz haline gelmiş numuneden 3-5 mm yüksekliğinde olacak kadar doldurulmuştur. Çok ince kesilmiş süzgeç kağıdının tüpün içine gelecek yüzüne, konsantre HCl içinde %5 hazırlanmış paradiaminobenzaldehit çözeltisini emdirerek tüpe yerleştirilmiş ve tüp alt kısmından ısıtılmıştır. Süzgeç kağıdında oluşan pembe-mor renk, malzemede proteinin varlığını göstermektedir. Malzemelerde yağların tespit edilebilmesi için daha önce hazırlanmış toz numuneden saat camı üzerine bir miktar konur. Üzerine birkaç bakır sülfat (CuSO₄) kristali eklenip karıştırılır. Bir iki damla konsantre amonyak (NH₃) çözeltisi eklenir. Ardından

hidrojen peroksit (H_2O_2) damlatılarak reaksiyonun tamamlanması beklenir. Yaklaşık 20 dakika sonra numunede kalıcı sabun kabarcıkları yağ varlığını göstermektedir. Kabarcıklar geçici ise yağ yoktur [10, 19]. Malzemelerde proteinin varlığı genellikle yumurta, kan, kazein, gibi malzemenin içinde bulunan protein esaslı katkı maddelerinden kaynaklanmakta olduğu düşünülse de kullanılan malzemelerin kirliliğinden de olabilir. Tablo 5'de görüldüğü üzere deney yapılan onsekiz numuneden onbir numunede (%61) protein, oniki numunede (%66) yağ, sekiz numunede (%44) hem protein ve hem de yağ varlığının, harçlarda kullanılan katkılardan kaynaklanmış olabileceği ve/veya malzemelerin kirliliğinin etkisi de düşünülmektedir. Üç numunede (%17) protein ve yağ varlığına rastlanmamıştır. Ancak proteinin zamanla bozulma ihtimali gözönüne alındığında protein varlığı tespit edilemeyen numuneler için kesin bir yargıya varmak güçleşmektedir.

3.5. Harçların Mikro Yapı Analizleri (SEM/EDX Analizi)

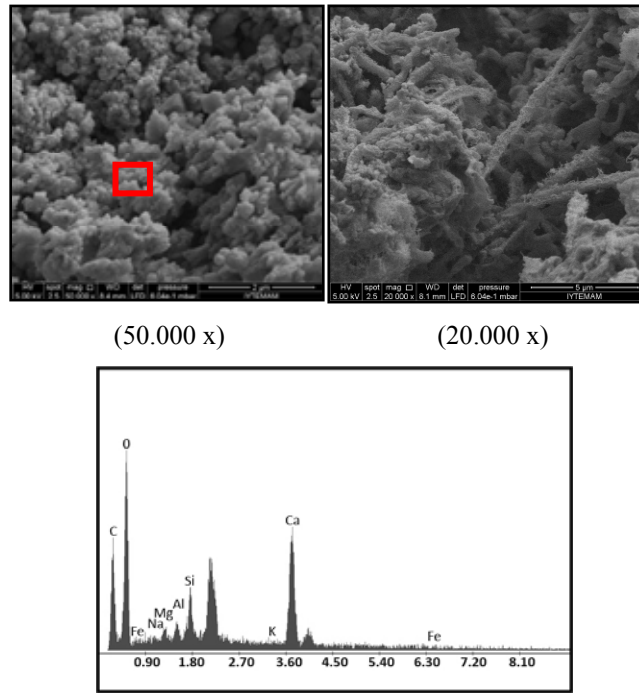
Myra Andriake Limanında bulunan yapılarda kullanılan Roma, Bizans ve Selçuklu dönemlerindeki harçlar, kalsit ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Kalsit minerali, bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kuvars minerali ise kullanılan agregaların genellikle silisyum mineralini içerdiğini göstermektedir. SEM/EDX ile yapılan analizlerde bunların yüksek oranlarda kalsiyum içermesi harçların hazırlanmasında saf kirecin kullanıldığını göstermektedir. Harçların SEM görüntülerinde, agregalar ile harç matrisinin birbirleri ile iyi bir şekilde bağlandığı, ara yüzeylerde ağsı ve iğnemi dokudan oluşan yapıların bulunduğu gözlenmiştir. Ara yüzeylerin EDX ile yapılan kimyasal kompozisyon analizlerinde kalsiyum, silisyum ve alüminyum elementleri gözlenmiştir. Harç matrisinde kalsiyum, agregalarda ise silisyum miktarları ara yüzeylerden daha fazladır. Bu sonuçlar, kireç ile puzolanik agregaların reaksiyona girerek ara yüzeylerde hidrolik reaksiyon ürünlerini, kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) ve kalsiyum-alüminat-hidratları (C-A-H) oluşturduğunu göstermektedir. Bu ürünlerin oluşumu, harçlara yüksek mekanik özellikler kazandırmaktadır.

Sayfa kısıtlılığı sebebiyle örnek olarak bir deney numunesinin sonuçları gösterilerek tümü değerlendirilmiştir. Buna göre; Harçlarda kullanılan agregaların EDX analizlerinde (SH2) yüksek oranda silisyum dioksit ile alüminyum oksit içermesi ve bunların puzolanik özellik göstermesi, kireç ve agregaların ara yüzeyinde dayanımı arttıran kalsiyum silikat hidrat ve alüminat hidrat yapılarının oluşmuş olabileceğini göstermektedir. Harçlarda bağlayıcı kısımdan alınan SEM görüntülerinde kalsit kristallerinin arasında bağ şeklinde uzanmış formu kalsiyum silikat oluşumu olarak yorumlanabilir. Bağlayıcı agrega ara yüzeyindeki jelsi yapılar (GH6, GH8, GH10, GH11) harçta kalsiyum silikatlı bileşikler olduğunu göstermektedir. Harcın bağlayıcı kısmında alüminyum ve silisyumun yer alması, XRD analizinden de (SH1) yararlanıldığında kalsiyum silikatlı bileşiklerin varlığına işaretir. Agrega kısmında görülen magnezyum elementinin tuğla kırığı agregalarından kaynaklandığı söylenebilir.

Ayrıca SEM/EDX analizlerinde karbon elementlerinin varlığı, numunelerin reolojisini ve mekanik özelliklerini geliştirmek için harca katılan organik katkılar (bitkisel, hayvansal) kullanıldığını işaretir [26]. Tablo 5'te görüldüğü üzere deney yapılan onsekiz numuneden onbeş tanesinde protein ve yağ varlığı, bunu destekler niteliktedir.

GH5 harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 8, Tablo 6). GH5 harcı numunesinin agrega kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği saptanmıştır.

Kirecin hammaddesi kireçtaşı, yüksek oranda kalsit mineralleri içeren tortul bir kayaç türüdür. Kireçtaşı, çoğunlukla dolomit içerir. Dolomit, kalsiyum ve magnezyum karbonat ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) içeren bir tür mineraldir. Kireçtaşı içerisindeki dolomit yüzdesi, %50'den fazla ise kireçtaşı, dolomit oranı %10 ile %50 arasında ise kireç taşı dolomitik kireçtaşı olarak, %10'un altında ise tabii kireçtaşı olarak adlandırılır [27]. Harçların EDX analizlerinde bağlayıcı kısmında magnezyum oranının %10'un üzerine çıkmaması ve XRD analizlerinde ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) fazının miktarının oldukça düşük olması nedeniyle belirgin olarak görülmemesi, harçlarda bağlayıcı olarak kullanılan kirecin tabii kireçtaşından elde edildiğini göstermektedir.



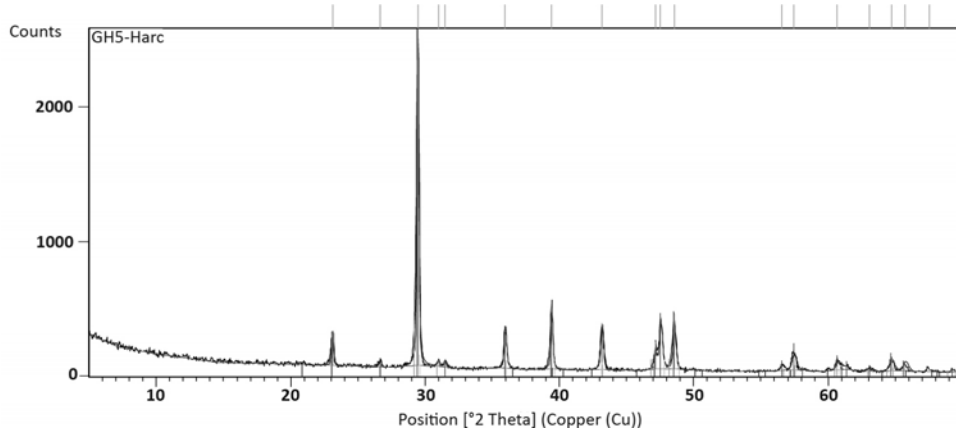
Şekil.8. GH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Tablo 6. GH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.

| Element | C | O | Na | Mg | Al | Si | K | Ca | Fe |
|---------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Wt % | 22.08 | 36.71 | 1.09 | 1.83 | 2.19 | 4.67 | 0.67 | 28.78 | 1.99 |

3.6. Harçların Mineralojik Kompozisyonları (XRD Analizi)

Harçların XRD ile yapılan mineralojik analizlerinden, çoğunlukla hem kalsit hem de kuvars mineralleri gözlenmiştir. Kalsit minerali, bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kuvars minerali ise kullanılan agregalarının genellikle silisyum mineralini içerdiğini göstermektedir. Roma dönemi GH5 harç numunesinde, kalsit, kuvars ve eser dolomit minerali saptanmıştır (Şekil 9). Bizans dönemi SH1 harç numunesinde, çoğunlukla kalsit, kuvars, mullit mineralleri saptanmıştır. Eser miktarda Hematit minerali gözlenmiştir. Selçuklu dönemi TDH1 harç numunesinde, kalsit, kuvars mineralleri tespit edilmiştir. Ayrıca eser miktarda dolomit minerali gözlenmiştir. Harçlardaki agregaların genelde kuvars ve heksagonal kristal yapıda olduğunu, bağlayıcı kısmının ise genellikle rombohedral kristal sistemine sahip kalsit olduğunu göstermiştir.



| Bileşimin Rengi | Referans kodu | Bileşimin | | Kristal Sistemi | Birim Hücre Parametreleri | | | | | |
|-----------------|---------------|---------------|-------------------|-----------------|---------------------------|--------|---------|------|------|-------|
| | | İsmi | Kimyasal Formül | | a | b | c | Alfa | Beta | Gamma |
| Red | 01-086-2334 | Kalsit | CaCO ₃ | Rombohedral | 4.9940 | 4.9940 | 17.0810 | 90 | 90 | 120 |
| Blue | 03-065-0466 | Kuvars düşük | SiO ₂ | Heksagonal | 4.9509 | 4.9509 | 5.4285 | 90 | 90 | 120 |
| Green | 01-086-2341 | Kalsit yüksek | CaCO ₃ | Rombohedral | 4.9940 | 4.9940 | 17.0810 | 90 | 90 | 120 |

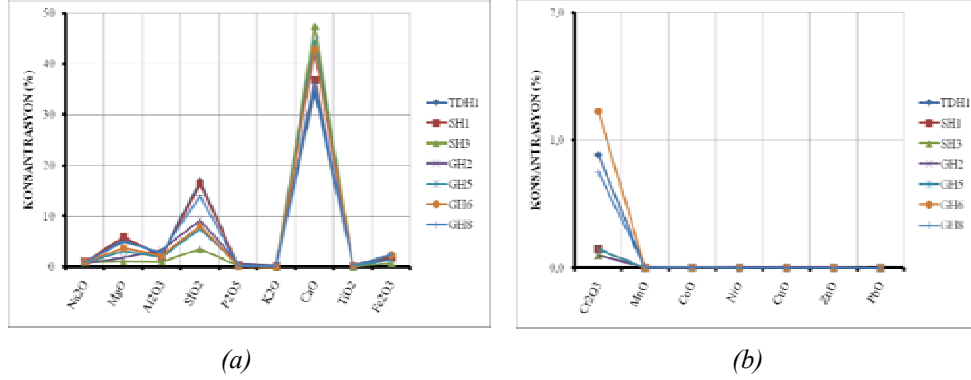
Şekil 9. GH5 harcı XRD grafiği.

3.7. Harçların Kimyasal Kompozisyonları (XRF Analizi)

Harçların yapısını oluşturan temel oksitlerin ve eser oksitlerin % konsantrasyon miktarları X ışınları floresans (XRF) analizi ile belirlenmiştir (Şekil 10).

Harçlar, yüksek miktarda CaO (%34-47), SiO₂(% 4-17), MgO (%1-6) ve düşük miktarda Al₂O₃ (%1-3), Fe₂O₃ (%0.7-2), Na₂O (%0.6-0.9), K₂O (%0-0.3), TiO₂ (%0.05-0.2), P₂O₅ (%0.06-0.5) içermektedir. İncelenen harçların eser oksit miktarları birbirine benzer özellik göstermektedir (Şekil 10). Kızdırma kaybı %35-45 arasındadır. Şekil 10'a göre harçların üretiminde kullanılan hammaddenin ortak bir kaynaktan alınmış olabileceğini söylemek mümkündür.

XRF analiz neticelerine paralel olarak, harç matrisinde kalsit minerallerinin baskın olduğu, bunun dışında düşük miktarda silikatlarında bulunduğu ancak alçı fazının bulunmadığı anlaşılmıştır. Bazı harçlarda, dolomitik agregalara da rastlanmıştır.



Şekil 10. Harçların temel (a) ve eser (b) oksit miktarları.

3.8. Termal Analizler

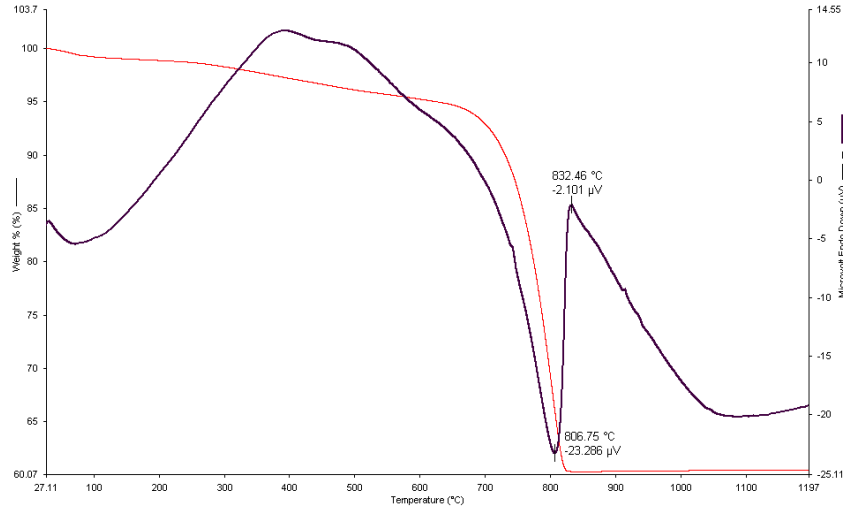
Harçlarda toplam yedi numune üzerinde yapılan TG/DTA analizleri sonucunda belirli sıcaklık aralıklarında gerçekleşen kütle kayıpları belirlenmiştir. Numuneler 1200°C'ye kadar ısıtılarak oluşan termik reaksiyonlar endotermik (dışarıdan ısı alan) ve ekzotermik (dışarıya ısı veren) pikleri birlikte değerlendirme yapılmıştır (Şekil 11). Selçuklu dönemine ait harçların 200°C, 600°C ve 900°C'lerdeki kütle kayıplarının Roma ve Bizans dönemine kıyasla daha az olduğu, CO₂/H₂O oranlarının Roma döneminde ortalama 13, Bizans döneminde ortalama 11, Selçuklu döneminde ortalama 14 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 7. Harç numuneler TG/DTA sonuçları.

| SN | NUM. ADI | DÖNEM | H ₂ O % | CO ₂ % | CO ₂ /H ₂ O % |
|----|----------|----------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 1 | SH1 | Bizans | 3.52 | 28.69 | 8 |
| 2 | SH3 | Bizans | 2.14 | 39.80 | 19 |
| 3 | GH2 | Bizans | 4.50 | 33.70 | 7 |
| 4 | GH5 | Roma | 3.63 | 34.88 | 10 |
| 5 | GH6 | Roma | 2.17 | 34.99 | 16 |
| 6 | GH8 | Roma | 2.45 | 30.71 | 13 |
| 7 | TDH1 | Selçuklu | 2.22 | 30.09 | 14 |

Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçlarının Özellikleri

Buna göre; Tablo 7'de incelenen yedi harç numunesinde ($\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$) oranı 10'un altında olan Roma dönemi (GH5), Bizans dönemi (SH1, GH2) harçlarının hidrolik özellikte olduğu söylenebilir. Roma dönemi (GH6, GH8), Bizans dönemi (SH3), Selçuklu dönemi (TDH1) harçlarının ($\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$) oranı 10'un üstünde olduğundan hidrolik değildir.



Şekil 11. GH5 harç numune TG/DTA grafiği.

Moropoulou vd [9], harçları dört gruba ayırmıştır. Tipik kireç harçları kimyasal su %3'ten az, CO_2 %32'den fazla, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ oranı 10'dan fazla olan harçlardır. Hidrolik kireç harçları kimyasal su %3.5-6.5 arası, CO_2 %24-34 arası, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ oranı 6.5-9.5 arası harçlardır. Tuğla kırıklı harçları kimyasal su %3.5-8.5 arası, CO_2 %22-29 arası, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ oranı 3-6 arası harçlardır. Puzolanik harçlar ise kimyasal su %5-14 arası, CO_2 %12-20 arası, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ oranı 3'ten az olan harçlardır. Tablo 7'ye göre; Roma dönemi (GH6, GH8), Bizans dönemi (SH3), Selçuklu dönemi (TDH1), harçları tipik kireç harcı, Roma dönemi (GH5), Bizans dönemi (SH1, GH2), hidrolik kireç harcı sınıfına girmektedir.

4.SONUÇ

Tarihi yapıların onarımında kullanılacak malzemelerin doğru seçilebilmesi veya üretilmesi için, özgün malzeme özelliklerinin çok iyi tespit edilmesi bir zorunluluktur.

Roma, Bizans, Selçuklu dönemi harçlarının fiziksel, mekanik, hammadde özellikleri açısından birbirine benzediği görülmektedir. Yapılan analizler sonucu, yapılarda kullanılan harçlarda bağlayıcı/agrega oranları ve içerikleri, fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri açısından dönemsel bir farklılaşma tespit edilememiştir.

Myra Andriake Limanı'nda bulunan yapılarda kullanılan Roma, Bizans ve Selçuklu dönemlerindeki harçlar, kalsit ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Kalsit minerali,

bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kuvars minerali ise kullanılan agregaların genellikle silisyum mineralini içerdiğini göstermektedir. Farklı dönemlerde inşa edilen yapılarda kullanılan harç malzemesi bölgede dağılım sunan kayalardan üretilmiştir ve dönemsel olarak harç kimyasında bir farklılık gözlenmemektedir.

Harçların düşük birim hacim kütle ve yüksek gözenekliliğe sahip olduğu saptanmıştır. Çoğunda bağlayıcı-agrega arasında iyi aderans sağlandığı SEM analizinden gözlenmiştir. Harçların SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda kalsiyum bulunması, harçların hazırlanmasında saf kirecin kullanıldığını göstermektedir.

Myra ve limanı Andriake'deki Roma dönemi, Bizans dönemi, Selçuklu dönemi harçlar, tipik kireç harcı, hidrolik kireç harcı sınıfına giren bir dağılım göstermektedir. Roma dönemi, Bizans dönemi harçlarının bir kısmının hidrolik özellikte ve diğer kısmının hidrolik olmadığı TG/DTA analizlerinden görülmekle birlikte, Selçuklu dönemi harçlarının hidrolik olmadığı tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler, ileriki aşamalarda zengin bir kültürel mirasa sahip olan ülkemizde tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmalarına ışık tutabilecek ve tarihi yapılarda araştırma ve çalışma yapacak kişi veya kurumlara yol gösterici nitelikte olabilecektir.

Semboller

| | |
|-----------|--|
| Δ | Birim hacim kütle (Görünür yoğunluk) |
| δ | Özgül kütle (Gerçek yoğunluk) |
| C-A-H | Kalsiyum Alümina Hidrat |
| C-S-H | Kalsiyum Silika Hidrat |
| EDX | Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektroskopisi |
| I_s | Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (MPa) |
| $I_s(50)$ | Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (MPa) |
| k | Kompasite (Doluluk oranı,%) |
| p | Porozite (Boşluk oranı,%) |
| S_k | Kütlece su emme yüzdesi (%) |
| S_h | Hacimce su emme yüzdesi (%) |
| SEM | Taramalı Elektron Mikroskobu |
| TG/DTA | Termogravimetrik/ Diferansiyel Termal Analiz |
| W_t | Konsantrasyon (EDX analizi) |
| XRD | X-Işını Kırınımı |
| XRF | X-Işını Floresans Spektrometresi |

Teşekkür

Bu çalışma, 2011.03.0121.014 nolu proje kapsamında Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, destek ve katkılarından dolayı Akdeniz Üniversitesi'ne teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Çevik, N., Myra ve Limanı Andriake Kazılar Başlarken Ön Düşünceler. Arkeoloji ve Sanat Dergisi, 134:53-82, 2010.
- [2] Çevik, N. ve Bulut, S., İkinci Kazı Sezonunda Myra ve Limanı Andriake. Ed. N. Çevik, Arkeolojisinden Doğasına Myra /Demre ve Çevresi, 25 -118, 2010.
- [3] Duggan, T. M. P. ve Aygün, Ç.A., Myra'nın Ortaçağ ve Sonrasındaki Limanı Taşdibi-Stamira. Ed. N. Çevik, Arkeolojisinden Doğasına Myra/Demre ve Çevresi, 161 -168, 2010.
- [4] Akman, M. S. Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları ikinci baskı, Ders Kitabı, İstanbul, 162, 1990.
- [5] Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri. Yapı Dergisi, 269: 90-95, 2004.
- [6] Akman, M. S., Güner, A. ve Aksoy, İ. H. Horasan harcı ve betonun tarihi ve teknik özellikleri. 2. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İstanbul, 1986.
- [7] Akbulut-Ekşi, D. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri. Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 178, 2006.
- [8] Stefanidou, M. and Papayianni, I. The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars. Cement and Concrete Composites, 27:914-919, 2005.
- [9] Moropoulou, A., Bakolas, A. and Anagnostopoulou, S. Composite Materials in Ancient Structures. Cement&Concrete Composites. 27: 295-300, 2005.
- [10] Kahraman, G. Erken Bizans dönemi horasan harçlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 156, 2008.
- [11] Ulukaya, S., Yüzer, N. ve Yoruç-Hazar, A. B. Kireç Harçlarının Tanımlanmasında Uygulanan Deneysel Yöntemlerinin Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Yapı Örneklerinde İrdelenmesi. 4. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu. 27-29 Kasım, İstanbul, 289-300, 2013.
- [12] Schueremans, L., Cizer, O., Janssens, E., Serré, G. and Van Balen, K. Characterization of Repair Mortars for the Assessment of Their Compatibility in Restoration Projects: Research and Practice, Construction and Building Materials, Vol. 25, pp. 4338-4350, 2011.
- [13] Güleç, A., Acun, S. and Ersen, A., A characterization method for the fifth century traditional mortars in the Land Walls of Constantinople, Yedikule. Studies in Conservation, 50: 295-306, 2004.

- [14] Sağın Uğurlu, E. ve Böke, H., Koruma Amaçlı Üretilecek Horasan Harç ve Sıvalarda Kullanılacak Kirecin ve Tuğlaların Özellikleri. 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul, 385-396, 2010.
- [15] Luxán, M.P., Madruga, F., and Saavedra, J., Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products of conductivity measurement”, *Cement and Concrete Research*, 19:63-68, 1989.
- [16] TS EN 1936, Doğal taşlar deney metotları: Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [17] Franzini, M., Leoni, L. and Lezzerini, M., A procedure for determining the chemical composition of binder and aggregate in ancient mortars: its application to mortars from some medieval buildings in Pisa. *Journal of Cultural Heritage*, 1:365–373, 2000.
- [18] Kahraman-Altaş, G., Acun-Özgünler, S. ve Güldal, E., İstanbul’daki Roma dönemi saray yapılarındaki horasan harçlarının incelenmesi. *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 4:41-49, 2012.
- [19] Kozlu, H. H., Kayseri yöresindeki tarihi harçların karakterizasyonu ve onarım harçlarının özellikleri. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 335, 2010.
- [20] Oğuz, C., Türker, F. ve Koçkal, N.U., Construction Materials Used in the Historical Roman Era Bath in Myra. *The Scientific World Journal*, 2014:1-9, 2014.
- [21] Gürdal, E., Altaş, G.K. ve Özgünler, S.A., İstanbul’da Bulunan Erken Bizans Dönemi Dini Yapılarında Kullanılan Horasan Harçların Özelliklerinin İncelenmesi, Restorasyon-Konservasyon-Arkeoloji ve Sanat Tarihi Yıllığı, T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü, İstanbul I. Bölge Müdürlüğü, 2:63-72, 2011.
- [22] Pekmezci, I.P., Çukurova Bölgesindeki (Kilikya) Bazı Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçları İçin Öneriler, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [23] Ulukaya, S., Yüzer, N., Selçuk, M.E. ve Yıldırım, M., Tarihi Kireç Harçlarının Tanımlanmasında Uygulanan Deney Yöntemlerinin İrdelenmesi, İnşaat Mühendisliğinde 100. Yıl Teknik Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 22-24 Kasım, İstanbul, 2012.
- [24] Tunçoku, S. S. and Caner-Saltık, E. N., Opal-A Rich Additives Used in Ancient Lime Mortars. *Cement and Concrete Research*. 36:1886-1893, 2006.
- [25] Özkaya-Aslan, Ö. and Böke, H., Properties of Roman Bricks and Mortars Used in Serapis Temple in The City of Pergamon. *Materials Characterization*. 60: 995-1000, 2009.
- [26] Genestar, C. and Pons, C., Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain) analytical characterisation. *Journal of Cultural Heritage*. 291-298, 2003.
- [27] Arıkan, B., Patara Hurmalık Hamamı Antik Yapı Malzemelerinin Mikroanaliz Teknikleri ve Spektroskopik Yöntemlerle Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 117 s., 2009.

