



# Tarihi harç örneklerinin çoklu analitik yöntemler kullanılarak incelenmesi: Tyana Roma Hamamı (Niğde-Kemerhisar) örneği

## Examination of historical mortar samples using multiple analytical methods: Tyana Roman Bath (Niğde-Kemerhisar) example

Hacer Bilgilioğlu<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

### Öz

Tarihi yapıları oluşturan yapı malzemeleri genellikle taş, harçlarla yapılan tuğlalar ve ahşaptan oluşmaktadır. Tarihi yapıların restorasyon çalışmalarında ilksel harç bileşenlerinin oranı çok önemli olduğundan harç örneklerinin kimyasal ve dokusal olarak incelenmesi ve bileşenlerin oranlarının saptanması gerekmektedir. Bu sebeple koruma/onarım çalışmalarında jeolojik kökenli malzemenin özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Tyana Roma Hamamı'na ait yapıların korunması/onarımına yönelik harç özelliklerinin analitik yöntemlerle tespiti amaçlanmıştır. Bu kapsamda pH ve iletkenlik analizi, agregada tane boyutu dağılımı için granülometrik elek analizi, X-Işını Floresans (XRF) analizi, X-Ray Diffraction (XRD) spektroskopisi ve petrografik incelemeler yapılmıştır. Petrografik incelemelerde örnekler içerisinde bağlayıcı, mineraller ve litik bileşenler tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan XRD analiz sonuçlarında mineral ve bağlayıcı özelliklerinin petrografik özelliklerle uyumlu olduğu görülmektedir. Örneklerin ana agrega içeriğinin kil/silt malzeme olduğu, iletkenlik ve pH analiz sonuçlarına göre ise harç örneklerinin yüksek derecede toplam tuz içeriklerine sahip, bazik özellikte olduğu tespit edilmiştir. Jeokimyasal analiz sonuçlarında ise örneklerin kireç türünün zayıf hidrolik kireç ile hidrolik kireç özellikte olduğu belirlenmiştir. Elde edilen tüm analiz sonuçları ile Roma Hamamı koruma/onarım çalışmalarında kullanılabilecek veriler üretilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tyana, Bağlayıcı, Petrografi, X-Işını Floresans (XRF), X-Ray Diffraction (XRD)

### 1 Giriş

Tarihi yapılar geçmişten günümüze milletlerin uygarlık yolundaki kültürünü taşıyan kültür varlıkları olup, gelecek nesillere yol gösterip ışık tutmaktadır. Ülkeler açısından bu milli kültürlerin korunup gelecek nesillere aktarılması oldukça önemlidir. Ülkemiz birçok medeniyete ev sahipliği yapmış birçok tarihi yapı barındıran ender bir coğrafyadır. Ülkemiz ve tüm dünya için tüm tarihi yapılar ortak miras olarak değerlendirilmektedir. Bu milli kültürün devamlılığının sağlanabilmesi için tarihi yapıların yeni

### Abstract

The building materials that generally constitute historical structures are stone, bricks made with mortar, and wood. Since the proportion of primary mortar components is crucial in restoration works of historical buildings, it is necessary to chemically and texturally analyze mortar samples to determine the proportions of its constituents. Therefore, understanding the properties of geological materials is highly important in conservation and repair works. This study aims to identify the characteristics of mortar used in the preservation and restoration of the structures belonging to Tyana Roman Baths through analytical methods. In this scope, pH and conductivity analysis, granulometric sieve analysis for aggregate particle size distribution, X-Ray Fluorescence (XRF) analysis, X-Ray Diffraction (XRD) spectroscopy, and petrographic examinations were conducted. Petrographic examinations identified binders, minerals, and lithic components within the samples. Furthermore, the XRD analysis results indicated that the mineral and binder properties are consistent with the petrographic characteristics. The particle size analysis revealed that the main aggregate content consisted of clay/silt material, while the conductivity and pH analysis results indicated that the mortar samples had a high degree of total salt content and exhibited alkaline properties. The geochemical analysis results determined that the lime type in the samples was weak hydraulic lime and hydraulic lime. All the obtained analysis results were utilized to generate data that can be used in the conservation and repair works of the Roman Baths.

**Keywords:** Tyana, Cement, Petrography, X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD)

nesillere en iyi şekilde aktarılması titizlik gerektiren bir konudur [1]. Bu konudaki en önemli adımlarından biri de tarihi yapılarda uygulanacak koruma ve onarım çalışmalarında uygun yapı malzeme seçimi ve doğru uygulamaların belirlenmesidir [2]. Tarihi yapılarda kullanılan yapı elemanlarının özellikleri ile günümüzde kullanılan malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri oldukça farklı olup restorasyon sırasında uygun olmayan malzeme seçimi tarihi yapılar için tehdit oluşturmaktadır [3,4]. Tarihi yapılarda kullanılan

\* Sorumlu yazar/ Corresponding author, e-posta / e-mail: hcanbas@aksaray.edu.tr (H. Bilgilioğlu)  
Geliş / Received: 31.03.2023 Kabul / Accepted: 13.08.2023 Yayınlanma / Published: 15.10.2023  
doi: 10.28948/ngumuh.1274588

malzemeler özenle seçilmiş olmalı ve tüm atmosferik şartlara uzun süre dayanıklı olmasına özen gösterilmelidir. Ancak yapılar için kullanılmış kayaç ve bağlayıcı malzemeler bir süre sonra ayrışıp aşınarak yapı için tehlikeli durumlar oluşturmaktadır. Bu sebeple yapı için seçilecek malzeme, kullanılacak yere ve amaca uygun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikte olmaması durumunda yapının dayanımını düşürerek çeşitli mühendislik problemlerine sebep olabilmektedir [5-7]. Geçmiş dönemlerde tarihi yapıya uygun olmayan kaya, harç ve sıva ile yapılan restorasyon çalışmaları tarihi yapılara telafisi mümkün olmayan zararlar meydana getirmiştir [8-10]. Tarihi yapıların restorasyonu, kültürel mirasın korunmasında önemli olup, restorasyon süreçlerinde kullanılan kaya ve harç malzemelerinin doğru seçimi, yapıların orijinal haline uygun olarak geri dönüştürülmesini sağlar. Bu kapsamda, birçok tarihi yapıda restorasyonda kullanılan kaya ve harç malzeme seçiminde yapılan hatalara ait örnek çalışmalar incelenmiştir [11-15]. Bu çalışmalara örnek olarak antik bir yapı olan Kaleiçi Yivli Minare Camii'nin restorasyon sürecinde yanlış harç seçiminin neden olduğu sorunlar incelenmiştir. Kaleiçi Yivli Minare Camii'nin restorasyon sürecinde kullanılan harç malzemesi, orijinal harcın fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerine uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu yanlış harç seçimi tarihi yapıda nem ve buharlaşma, tuz kristalleşmesi gibi sorunlara sebep olmuştur [13]. Yine Osmanlı dönemine ait bir tarihi yapı olan Çelebi Camii'nin restorasyonunda kullanılan yanlış harç seçimi ile yapıdaki nem dengelemesi bozulmuş ve kullanılan harcın farklı malzeme özellikleri nedeniyle uyumsuzluk ve tutarsızlık yaratmıştır [14]. Bir diğer örnek çalışma olan Mardin Nusaybin'de bulunan Mor Yakup Kilisesi örneğinde de geçmişte binada yapılan harç-sıva esaslı uygulamaların hatalı restorasyon işlemleri olduğunu göstermektedir. Bu hatalı çimento kullanımı, binanın iç duvarlarındaki restorasyon işlemleri sırasında yapıya zarar vermiştir [16].

Çalışma alanı olarak belirlenen Tyana antik kenti, Kapadokya bölgesinde bulunmaktadır ve tarihi kalıntıları ile ünlüdür. Kent, Roma İmparatorluğu döneminde önemli bir ticaret merkezi olarak kabul edilmiş olup, Roma hamamı da bu dönemde inşa edilmiştir. Bu dönemlerde hamamlar, antik dönemde sosyal hayatın önemli bir parçası olmuş olup ve genellikle şehir merkezlerinde bulunuyordu. Tyana antik kenti de, bu dönemde önemli bir ticaret merkeziydi ve hamamı da bu nedenle oldukça büyük bir öneme sahiptir. Hamamın inşa edildiği dönemde kullanılan malzemeler ve yapım teknikleri, bu önemli yapıyı anlamak açısından oldukça önemlidir. Bu makalede, Tyana antik kentinde bulunan Roma hamamından alınan harç örneklerine arkeometrik analizler yapılmıştır. Bu analizler arasında mineralojik-petrografik analizler, kimyasal analizler, fiziksel analizler gibi yöntemler yer almaktadır. Bu analizlerin nasıl uygulandığı, hangi sonuçları elde etmeye yardımcı olduğu ve restorasyon süreçlerinde nasıl yardımcı olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca yapılan analizler ile yapıda kullanılan malzemelerin özellikleri ve yapım teknikleri, restorasyon çalışmalarında kullanılacak malzeme ve tekniklerin belirlenmesine yardımcı olabilecektir. Elde edilen sonuçlarla yapıya ait harç özelliklerinin belirlenerek restorasyon için

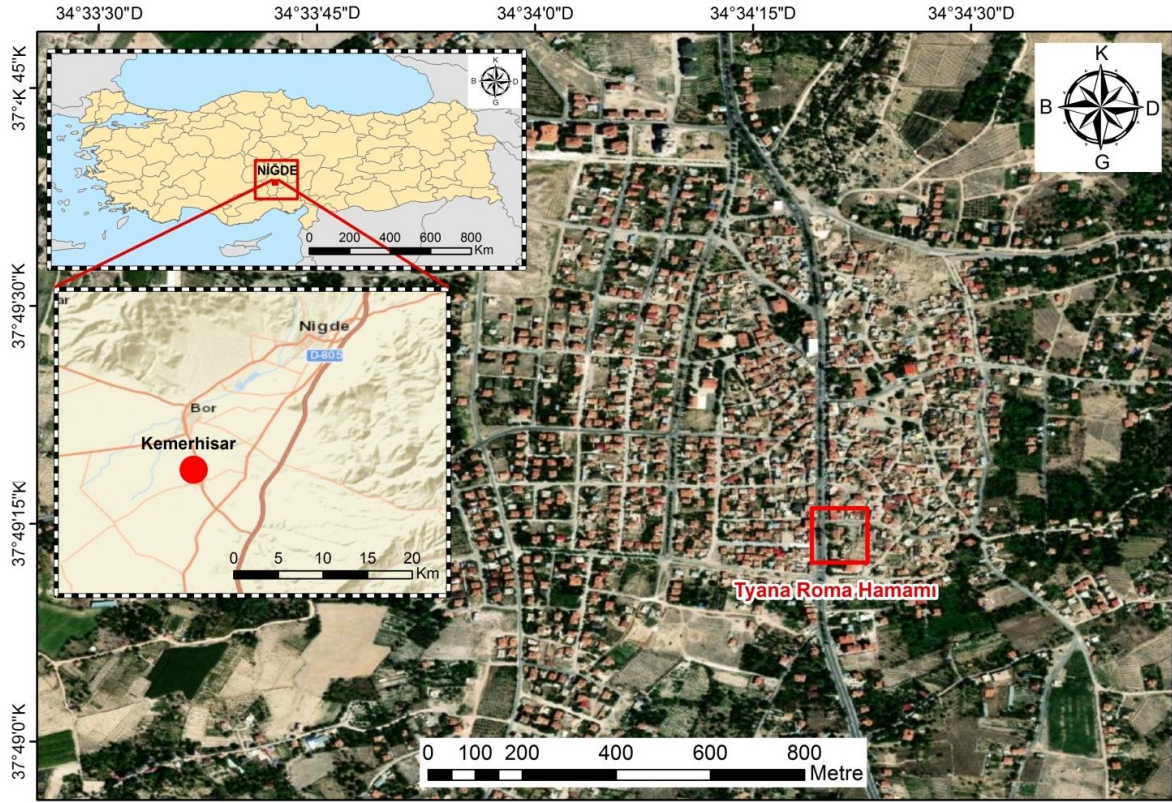
doğru harç malzemesinin seçimi yapının orijinal doğasının bozulmaması ve eski görünümünün tamamen değişmemesine neden olacaktır.

### 1.1 Tyana antik kenti tarihçesi

Hitit, Roma ve Bizans dönemi önemli şehirlerinden olan Tyana şehri Niğde Kemerhisar kasabasında kurulmuştur (Şekil 1). Niğde iline yaklaşık olarak 23 km uzaklıkta, Bor İlçesinin 5 km güneydoğusunda bulunan Tyana antik kenti, batıda Kızılırmak ve Tuz Gölü, doğuda Fırat Nehri, güneyde Toroslar ve kuzeyde ise Yozgat'a kadar uzanan bir kesimi kapsamaktadır. Antik dönemlerde Kapadokya Bölgesi'nde Kilikya'yı Kapadokya'ya bağlayan tarihi yolların üzerinde bulunması sebebiyle birçok defa farklı uygarlıklar tarafından ele geçirilmiştir. Antik kent Hristiyanlık döneminde Küdüs'e giden hacılar tarafından kullanıldığı için hacıyolu olarak da adlandırılmıştır [17]. Strabon, Tyana'nın güçlü sur duvarlarına sahip bir yerleşme olduğundan elverişli konumundan topraklarının düz ve bereketli olduğundan bahsetmektedir. Tyana kenti Strabon'a göre Kaisareia'dan (Mazaka/Kayseri) ayırt etmek için Tauros yakınlarındaki Eusebeia olarak adlandırılır. Bölgenin Seleukos hâkimiyetinden kurtarılmasından sonra Kapadokya Bölgesi'ndeki iki önemli kent olan Kaisareia (Mazaka/Kayseri) ve Tyana kenti V. Ariarathes Eusebes Philopator tarafından yeniden kurulmuştur [18,19]. Kaisareia (Mazaka/Kayseri) ve Tyana kenti Eusebeia (Argaios yanındaki Eusebeia) olarak adlandırılması kurucusuna ithafen verilmiş olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Eusebeia isminin verilmesi kutsal gölün yakınındaki Asbamaios tapınağında Zeus onuruna düzenlenen ayinlerle bağlantılı olduğu birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir [20,21].

Roma imparatorluk döneminde Hadrianus'tan-Severuslar dönemlerinde kente verilen önem artmıştır. Septimius Severus'un Tyanalı Apollonius'a olan hayranlığı kentin öneminin artmasının en önemli nedenlerinden biri olarak görülmüştür. Daha sonraki dönemlerde de oğlu Caracalla da Apollonius'a büyük hayranlık duymuştur. Roma imparatorluk döneminde Severuslar zamanında kentte çeşitli imar faaliyetleri yürütülmüş ve bu imar faaliyetleri sırasında su kemerleri, Roma Havuzu, Zeus Asbamaios'a adanan bir tapınak, Roma Hamamı ve Heroon, başta olmak üzere çeşitli yapılar inşa edilmiştir. Caracalla'nın (MS 211-217) imparatorluğu sırasında oldukça önemli bir yere sahip olan Tyana, Colonia olarak belirlenmiş ve Antoniana Colonia Tyana olarak adlandırılmıştır [22]. Caracalla'nın kentin ismini Tyana'yı Colonia olarak belirlemesi ve kentin Suriye'ye uzanan stratejik bir konuma sahip oluşu, doğuya düzenleyeceği seferlerde kentin bulunduğu coğrafi konumdan faydalanma isteğinin sebebiyle olduğu düşünülmüştür [19].

Tyana'da Severuslar dönemine ait büyük ve çok sayıda kamu yapısı bulunmaktadır. İmparator Caracalla ve annesi Julia Domna'nın Tyana'ya oldukça önem vermiş ve çok çeşitli imar faaliyetleri gerçekleştirmişlerdir. Kentin güneyine doğru uzanan Su kemerleri İmparator Caracalla Döneminde yapıldığı ve kent için tepelerden su getirmek amacıyla yapıldığı düşünülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı haritası.

Söz konusu su kemerleri karmaşık bir hidrolik sistemi ile yapılmış olup şehirdeki tüm konutların faydalanabilmesi amaçlanmıştır. Köşk Höyük yakınlarında şehrin birkaç km kuzeydoğusunda kemerlerin su deposunun da bulunduğu 60x20 m boyutlara sahip olan Roma Havuzu'nun inşa edilmiş olabileceği düşünülmektedir [22–24].

Bölgede önemli bir kent olan Tyana ise yapılan araştırmalarda Hitit Çağında Tuwanuwa, Geç Hitit döneminde Tuwana, Pers ve Hellenler döneminde Dana, Roma İmparatorluk döneminde Tyana, Osmanlı İmparatorluğu döneminde Kilisehisar ve Cumhuriyet döneminde ise Kemerhisar olarak birçok farklı isimlerle bilinmektedir. Roma İmparatorluk döneminde Severuslar ile kente verilen değer artmış olup Roma Hamamı, Roma Havuzu ve Su kemerleri, başta olmak üzere çeşitli imar faaliyetleri sürdürülmüştür. Antik kentte inşa edilmiş Roma Hamamının suyu kentin kuzeydoğusunda Köşkhöyük yakınlarındaki Roma Havuzunda biriktirilen sularla ve su kemerleri vasıtasıyla kente getirilmekteydi. Severuslar dönemine MS 3. yüzyılda Roma hamamının mimari parçaları ise yapılmış olup, Bizans döneminde ise çeşitli yenileme ve eklemeler yapılmıştır.

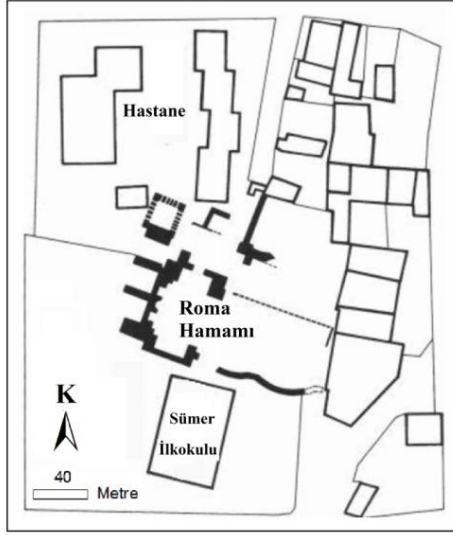
## 1.2 Tyana Roma hamamı

Tyana antik kentinde bulunan Roma Hamamı, güneyinde Sümer İlkokulu kuzeyinde ise bir sağlık ocağı bulunan 40x42 m boyutlarındadır (Şekil 2-3). Şekil 3'teki ortofoto kazı arşivinden alınmış olup, yüksek çözünürlüklü hava görüntülerinden gerçek yeryüzü koordinatlarına göre düzeltilmiş bir görüntüdür. Hamamdaki araştırmalar

arasıyla, Alman araştırmacılar 1995 yılında, İtalyan araştırmacılar 2001-2004 yıllarında ve 2016 yılında ve halen de Niğde Müzesi başkanlığında Türk araştırma ekibi araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Severuslar döneminde mimari parçaları yapılmış hamamının Bizans döneminde ise çeşitli yenileme ve eklemeler yapılmıştır. Roma hamamlarının kökeni Yunan hamamlarıdır ancak Romalılar hamamı geliştirmişlerdir. Romalılar, hamam gibi yapılarda yerleşim yeri seçerken dikkat ettikleri en önemli kıstas, sıcak bir alanda olmasıdır bu sebeple kuzey ve kuzeydoğu rüzgârlarından uzak olmasına dikkat etmişlerdir. Ayrıca hamamın önemli bölümlerinden olan caldarium (sıcaklık) ve tepidarium (ılıkılık)'un mümkün olduğu kadar güneybatıdan ışık alması bir diğer önemli ölçüttür. Eğer bu şartlara uygun bir bölge bulunamazsa en azından güneyden ışık almasına özen gösterilmektedir. Bu nedenle, kentin kuzeydoğusunda bulunan Köşkpınar höyüğü yanında bulunan Roma Havuzunda biriktirilen sular ve konumu hamam yapısı için uygun görülmüştür. Roma hamamı 40\*42 boyutlarında içerisinde beş geniş odası, basilica hamamı, banyo odaları gibi bölümlerden oluşmaktadır. Hamam içinde caldarium (sıcaklık) geçiş tepidarium (ılıkılık) ve öz konusu banyo odalarının ise frigidarium (soğukluk) ve tepidarium (ılıkılık) bazilika hamamı ile bağlantısı sağlanmıştır. Hamamdaki ısıtma ise kuzey tarafta bulunan ve caldarium ile basilika hamamı (basilica thermarum) arasında yer alan praefurnium (külhan) ile gerçekleştirilmiştir [23,24].

Yapılan arkeolojik araştırmalarda Roma hamamının üç tabarnae (dükkanlar), legnaia, praefurnium (külhan), apodyterium (soyunma odası), basilica thermarum (orta

salon), frigidarium (soğukluk), tepidarium (ılıkılık) ve caldarium (sıcaklık) bölümlerinden oluşan bir kompleks olduğu görülür. Kompleksi oluşturan bölümler doğu kısmında yan yana sıralı üç tabarnae, tabarnaenin arkasında legnaia ve caldarium, güneye doğru caldarium ile bitişik ve neredeyse aynı ölçülere sahip tepidarium ve frigidarium bölümleri kuzey kısmında aynı aks üzerine denk gelen basilica thermanum ve apodyterium yer almaktadır [24].



Şekil 2. Tyana Roma hamamı genel görünüm planı [22].



Şekil 3. Hamamın genel ortofoto görüntüsü [24].

### 1.3 Tyana çevresi jeolojisi

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan Niğde ilinin Bor ilçesine 5 km uzaklıkta bulunmaktadır. Niğde yöresi güneydoğusunda Aladağlar ve güneyinde ise Bolkar Dağları olup Toridler ve Anadolidlerin bir araya geldiği alanı kapsamaktadır [25]. Niğde masifi, Niğde'nin güney doğusunda yer alır ve Orta Anadolu masifinin güney ucunu oluşturur [25]. Niğde masifindeki metamorfik kayaların tümü, Niğde grubu olarak adlandırılır ve litolojik özelliklerine göre Gümüşler, Kaleboynu, Aşığediği formasyonları ve Üçkapılı granodiyorit olarak farklılaştırılıp tanımlanmıştır [26].

Çalışma alanının temelini Niğde grubu kayalar oluşturmakta olup orta Anadolu Kristalin Kompleksi

metamorfik kayalarının güneyini oluşturmaktadır [25,27]. Bu kayalar orta-yüksek dereceli Paleozoik yaşlı metamorfik kayalardır. Bu metamorfik kayalara, Üst Kretase yaşlı ofiyolitler üzerlemiş durumdadır. Temele ait metamorfik ve ofiyolitik kayalar Üst Kretase-Paleosen yaşlı granitoidler tarafından sıcak dokanakla kesilmişlerdir [27,28]. Niğde Grubu kayaları Gümüşler, Kaleboynu ve Aşığediği metamorfiklerden oluşmakta ve Üç kapılı granitoidi tarafından kesilmektedir. Çalışma alanında bulunduğu Kemerhisar bölgesinde ise Niğde grubu metamorfikleri üzerinde diskordan olarak ignimbiritler, kireçtaşları ve travertenler Kızılkaya ignimbiritleri ve Gökbez formasyonu gelmektedir. Gökbez formasyonu Tyana çevresinde geniş alanlarda gözlenmektedir. Miyo-Pliyosen yaşlı Gökbez formasyonu marn-kireçtaşı-çamurtaşından oluşmuştur ve üst seviyelerinde bitüm ve traverten ara katkıları gözlenmektedir. Gökbez formasyonunun kalınlığı 50-150 m arasındadır [29]. Tyana Su kemerleri yapımında çalışma alanına yakın blok elde etmek için uygun olan Gökbez formasyonunun üst kısmından alınan travertenler kullanılmıştır. Kuzeyden güneye doğru Gökbez formasyonunun göl ortamında çökeldiği, çökeltme sırasında Niğde Grubu metamorfikleri ve Havuzlu ignimbiritinden malzeme aldığı, kuzeyde mikritik, güneyde sparitik ve batı kesimlerde ise omikritik kireçtaşlarının çökeldiği saptanmıştır [30,31].

## 2 Materyal ve metot

Tarihi yapıları oluşturan malzemeler görsel olarak incelendiğinde oldukça dayanıklı olduğu düşünülmektedir. Ancak yapıyı oluşturan malzemeler iklimsel, çevresel, atmosferik gibi çeşitli etkilerle, kırık, çatlak, tuzlanma, parça kaybı, vb. gibi bozulmalara maruz kalarak tahrip olmaktadır. Bu çalışma, tarihi Roma Hamamı'ndan praefurnium (külhan), basilica thermanum (orta salon), caldarium (sıcaklık) bölümlerinden alınan harç örneklerinin malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Roma Hamamı'ndan alınan harç örnekleri, öncelikle görsel olarak yerinde incelenmiş, mevcut bozulma türleri gözlemlenmiş ve örnekler gruplandırılmıştır. Daha sonra analizler için uygun hale getirilen numuneler amaca yönelik olarak basit ve ileri analiz teknikleriyle, tarihi Roma Hamamı harçlarının nitelikleri belirlenmiştir. Bu kapsam da Roma Hamamı örneklerinin petrografik özelliklerinin belirlenerek ve örneklerin içyapıları, farklı mineral türleri ve yapısal düzenlemeleri detaylı bir şekilde incelenmek için ince kesitler yaptırılmıştır. Petrografik analizler sonucunda belirlenemeyen ve küçük boyutlu minerallerin kimyasal yapılarını belirlemek için, örnekler X-Işınları Difraktometre (XRD) analizine tabi tutulmuştur. XRD analizi, örneklerdeki kristal yapıları ve minerallerin kimyasal bileşimleri hakkında ayrıntılı bilgi sağlamaktadır. Harç örneklerinin kimyasal bileşimlerini belirlemek için X-Işını Floresans (WD-XRF) analizi yapılmıştır. Bu analiz ile harçların elementel bileşimleri tespit edilerek, örneklerin kimyasal bileşenleri ve mineralojik yapıları, dayanım özellikleri ve kireç türü (kategorisi) Cementation Index verileri değerlendirilmiştir. Bu analizlere ilaveten örneklerin fiziksel özelliklerini belirlemek için, özgül ağırlık, suda çözünen toplam tuz

içeriği, iletkenlik ve pH deneyleri, agregaların tane boyutu dağılımlarının belirlenmesi için granülometrik analizler uygulanmıştır.

## 2.1 Fiziksel testler

### 2.1.1 Özgül ağırlık deneyi

Özgül ağırlık tanelerin kuru ağırlığının, taneler ile aynı hacimdeki ve 20 °C sıcaklığındaki suyun ağırlığına oranı olarak bilinmektedir. Hesaplanan özgül ağırlık değeri birim hacim ağırlık, malzemenin boşluk oranı ve doygunluk derecesi gibi ağırlık-hacim ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan bir parametredir. Harç örneklerinin piknometre yöntemi ile özgül ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Özgül ağırlık deneyi BS1377, TS 1900 [32] standartlarına uygun yapılmıştır. Analiz, Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### 2.1.2 Tane boyu dağılımı/granülometrik analizler

Harç ve sıvalarda tane boyu dağılım analizi örnek içerisindeki bağlayıcı kısım ve karbonatlı agregalar dışındaki silikatlı agregaların oranları, nitelikleri ve boyut dağılımlarının saptanması amacıyla yapılır [33,34]. Bu çalışmada tane boyu dağılımı analizi sadece belirtilen harç örneklerinin agrega içindeki çakıl, kum, silt-kil oranlarının tespiti ve agregaların boyutlarını belirlemek için yapılmıştır [35]. Tanelerin belirli büyüklükteki delik veya açıklıklardan geçebilme veya geçememe özelliğine dayanarak yapılan bir sınıflandırma işlemi olan elek analizi ile numunenin hangi boyutta ne kadar malzeme içerdiği tane boyu dağılımı ile tespit edilmektedir. Agregada içindeki çakıl, kum, silt-kil oranlarının tespiti için yapılan granülometrik elek analizi 25.00 mm. 19.00 mm. 9.50 mm. 4.75 mm. 2.00 mm. 0.850 mm. 0.250 mm. 0.106 mm. 0.075 mm ASTM D2487-2000 [36] standartlarında kullanılan elek açıklıkları kullanılarak eleme gerçekleştirilmiştir [37]. Bu yöntemde, analiz edilen örnek, elek açıklıkları farklı olan ve üstten alta doğru gittikçe elek çapı küçülecek şekilde üst üste yerleştirilerek eleme işlemi yapılır. Eleme işlemi sonunda elekler sırasıyla çıkarılıp, her bir eleğin üstünde kalan örnek miktarı tartılarak tane boyuna ait toplam elekten geçen yüzde ağırlık değerleri hesaplanır. Elekten geçen malzeme oranı logaritmik olarak diyagramda gösterilerek tane boyutu dağılım eğrisi elde edilir. Roma hamamı harç örnekleri için yapılan elek analizi Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### 2.1.3 pH ve iletkenlik testleri

Tarihi yapılara ait harç örneklerinin bünyesindeki farklı malzeme türlerinin içeriğinde kapilarite sonucu su ile taşınan tuzlar, doğal olarak, malzemenin kendi bünyesindeki tuzlar ve ilişkide bulunduğu malzemedeki kimyasal dönüşümler hakkında bilgi vermektedir [5]. Roma hamamı için belirlenen örnekler öğütücü ile toz haline getirilerek 25 ml su içerisine alınan 5 gram örnek hazırlanarak üzerine standart sodyum heksametafosfat eklenmiştir. Hazırlanan örnekler Jenway marka kondüktometri iletkenlik aleti ile pH ve iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. pH analizi için ISO

10523 [38], iletkenlik analizi için ISO 7888 [39] standardı kullanılmıştır. Harç örneklerinin gözeneklerinde ve yüzeyinde bulunan tuz miktarı ve ortamın pH değeri nicel olarak belirlenmiştir [40,41]. Analizler, Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma (ASÜBTAM) Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### 2.1.4 Petrografik ince kesit yapımı optik mikroskop incelemeleri

Petrografik incelemelerde doku, mineraller, bileşenler ve matris (hamur) hakkında tanımlamalar yapılmaktadır [37,42,43]. Bu petrografik tanımlamalarla harç örneklerinin içerdiği agregaların türleri, bağlayıcı-agrega oranları, belirlenerek muhtemel kaynak alanları üzerine öneriler yapılabilir. Ayrıca örneğin mineral içeriği, dokusu varsa ayrışma, bozunma özelliklerin tespit edilmesi ile yapıda kullanılacak malzemeler için önerilerde bulunulabilir [37].

Petrografik analizler ince kesitler üzerinden yapılmaktadır. İnce kesitlerin hazırlanması için örnekler kesici çarklar vasıtasıyla kibrit kutusu ebatlarına getirilerek döner disk yardımıyla düzgün yüzeyler elde edilir. Oluşturulan düzgün yüzeylere epoksi türü yapıştırıcı ile lam yapıştırılarak örnekler ince kesit aletinde 0.03 mm inceliğe kadar incelenmektedir. İnce kesit yapımı için seçilen parçanın örneğin tamamının yansıtmasına dikkat edilmelidir. Özellikle tarihi yapılarda örnek elde etmek zor olması sebebiyle alınan parçanın bütünü yansıtmasına özen gösterilmelidir. Hazırlanan ince kesitler üstten ve alttan aydınlatmalı Leica DM750P model optik mikroskop ile Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarı'nda incelenmiştir. Örnekler için mikrofotograf çekimi mikroskoba bağlı dijital kamerayla kullanılarak yapılmıştır.

### 2.1.5 X-Işınlı Floresans Spektrometresi (WD-XRF) analizleri

X-Işınlı Floresans spektroskopisi (XRF), analiz edilen malzemenin elementel bileşimin belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden biri olup kantitatif analiz yapar. XRF'in çalışma prensibi X-ışınlarına maruz kalan örneklerden elde edilen karakteristik X-ışınları yansımalarıyla örneklerin kimyasal analizi yapılmaktadır. Temel olarak ölçülen her elementin gösterdiği floresans ışınları dalga boyu o element için ayırt edicidir ilkesine dayanır. Roma hamamına ait harç örneklerinin kimyasal bileşimi WD-XRF yöntemiyle tespit edilmiştir. Analizler ASÜBTAM bünyesindeki Jeokimyasal Analiz Laboratuvarı'nda (JAL) Panalytical Axios Max marka WD-XRF cihazında gerçekleştirilmiştir. WD-XRF cihazı yüksek flexibility için mikroilemci kontrollü cihaz yüksek performanslı SSD-max Rhanodlu ve ultra ince Berilyum pencere (75 µm) x-ray tüpüne sahiptir. Tüp 4 kW maximum güç ve 160mA maximum akımda çalışabilmektedir [44]. Analiz için belirlenen harç örnekleri öncelikle kırıcı cihazlarında kırılıp, bilyeli öğütücülerde yaklaşık 20 mikron boyutuna kadar toz haline getirilmektedir. Öğütülen ve toz haline getirilen örnekler bağlayıcı malzeme ile karıştırılıp 12 bar basınç ile preslenerek pellet haline getirilmektedir. Hazırlanan pellet örnekleri Dalga boyu ayırıcı X Işını Fluorescence (WD-XRF) tekniği ile ana ve iz element

analizleri ölçümleri yapılmaktadır. Örneklerin ateşte kayıplarının belirlenmesi için porselen krozelere konulan örnekler etüvde 800°C sıcaklıkta bekletilerek etüv sonrası tekrar ölçümleri sağlanarak ateş de kayıpları hesaplanmıştır. Analizler ASÜBTAM Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### 2.1.6 XRD analizleri

X-Ray Diffraction (XRD) spektroskopisi, yani X-ışını kırınımı, bir maddenin kristal yapısal özelliklerini incelemek için kullanılan bir analitik tekniktir. XRD çalışma prensibi, X-ışınlarının bir maddeye çarptığında, madde tarafından saçılan X-ışınlarının belirli açılarda kırınımının gözlenmesine dayanır. XRD analizinde, kristal yapıya sahip bir madde, X-ışınları ile aydınlatılır. X-ışınları, madde atomlarının elektronları ile etkileşir ve madde tarafından saçılır. Saçılan X-ışınları, belirli açılarla kırılır ve bir dedektör tarafından kaydedilir. Analizi yapılacak numune öncelikle öğütücülerde boyutta toz haline getirilerek, toz haline gelen örnek dik preslenerek analize uygun hale getirilir. Toz X-Ray difraksiyon tekniği ile edilen analiz sonuçları hazırlanmış kataloglar yardımıyla elde edilmiş pikler ile karşılaştırma yapılarak hangi minerale ait olduğu belirlenmektedir. XRD analizi dalga boyu  $\lambda = 1,788970 \text{ \AA}$  olan Co tüpü kullanılan Inel Equinox 1000 cihazında gerçekleştirilmiştir. 5 mm x 300 mm açıklığa sahip difraktometrede X-ışınları 6°'lik bir açıyla numuneye düşürülür [45,46]. Mikroskopik analizlere ek olarak yapılan XRD analizi, farklı tipteki agregalarının mineralojik olarak tanımlanmalarının yapılabilmesi için uygun bir yöntemdir. Petrografik sonuçlar ve XRD analiz sonuçları kombinasyon uygulanabilir ve bağlayıcı tanımlaması yapılabilir. XRD analizleri Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### 3 Bulgular

Harç, yapıyı oluşturan unsurların malzemesini bir arada tutan kireç ve çakıllı bağlayıcı malzeme, sıva ise yapının duvarlarındaki harç, taş ve tuğla malzemelerinin üzerine atılan çakıl, kum, kil, kireç vb. malzemedir. Tarihi yapılardaki harç ve sıva örneklerinde malzemenin fiziksel ve kimyasal bileşimsel özellikleri tarihi yapının koruma ve onarım çalışmalarında başarılı olunması açısından oldukça önemlidir. Roma hamamına ait praefurnium (külhan), basilica thermarum (orta salon), caldarium (sıcaklık) bölümlerinden alınan harç örnekleri fiziksel, kimyasal ve petrografik bileşimsel özelliklerini belirlemek amacıyla kapsamlı bir arkeometrik incelemeye tabi tutulmuştur. Arkeometrik incelemelerde malzemelerin özelliklerinin anlaşılması tarihi yapının koruma ve onarım çalışmaları için büyük önem taşımaktadır.

Harç örnekleri hem saha hem de laboratuvar ortamında görsel olarak incelenmiş ve malzeme türlerine göre gruplandırılması gerçekleştirilmiştir. Örneklerin incelemeleri doğrultusunda, harçların fiziksel, kimyasal ve petrografik özelliklerinin belirlenebilmesi için materyal metot kısmında detaylı anlatılan analizler gerçekleştirilmiştir. Roma hamamından alınan örneklerden yapılan fiziksel testlerden özgül ağırlık değerleri **Tablo 1**'de ve granüloметриk analiz sonuçları ise **Şekil 4**'te

gösterilmiştir. Roma hamamı basilica alanından alınan örneğin özgül ağırlık değeri 2.61 g/cm<sup>3</sup>, calderium alanından alınan örneğin özgül ağırlık değeri 2.51 g/cm<sup>3</sup> külhan alanından alınan örneğin özgül ağırlık değeri ise 2.65 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Harç örneklerinin özgül ağırlık hesaplamaları.

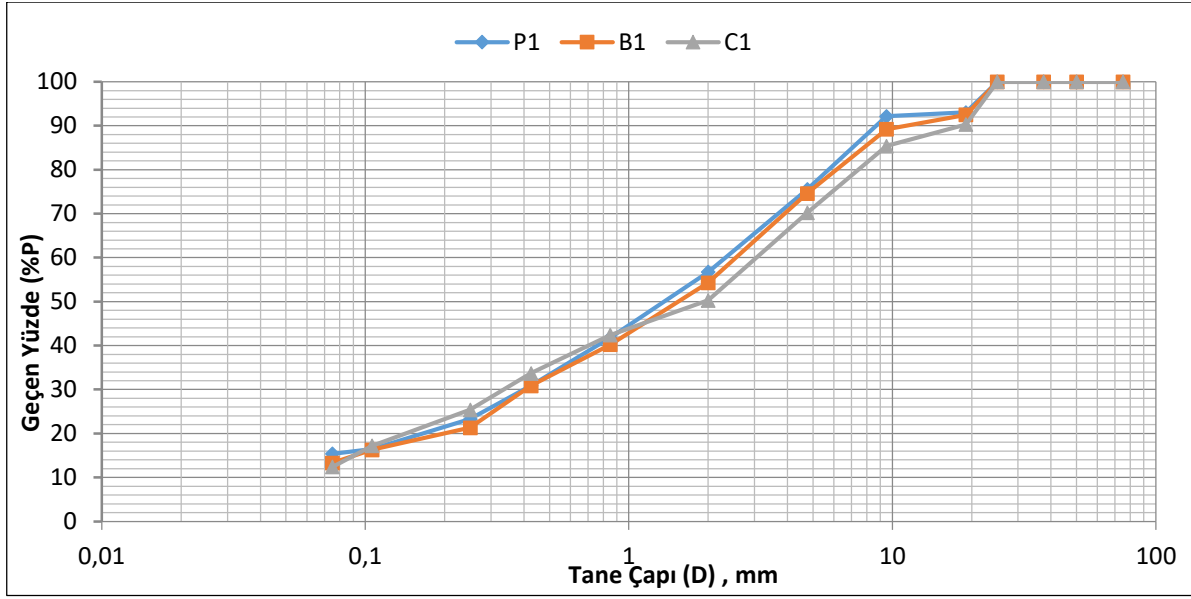
Örnek	Basilica Thermarum	Calderium	Praefurnium (külhan)
Numunenin özgül ağırlığı (Gs)	2.61g/cm <sup>3</sup>	2.51 g/cm <sup>3</sup>	2.51 g/cm <sup>3</sup>

Tarihi yapı için yapılan tüm analizler yapıya zarar vermeden, hassasiyet gösterilerek alınmış olup, belirli miktarlarda örnek alınabilmiştir. Belirlenen üç harç örneğinin agrega boyutunu belirlemek için ayrı ayrı elek analizi yapılmış olup tane boyu ve agrega dağılımı değerlendirilmiştir. Harç örneklerinin tane boyu dağılımı belirlemek için yapılan elek analizi sonuçları Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi Unified Soil Classification System-(USCS) ASTM D2487-2000 [36] standardında sınıflandırılmış olup harç örneklerinin tane boyu dağılımı kötü derecelenmiş siltli-kum (SM) ve kötü derecelenmiş killi kum (SC) olarak bulunmuştur. Elek analizi sonuçları ile de örneklerin granüloметриk eğriler çizilmiş olup sonuçlar **Şekil 4**'te gösterilmiştir.

Harç örneklerinin bünyesindeki farklı malzeme türlerinin içeriğinde doğal olarak yer alan veya kapilarite sonucu su ile taşınan tuzlar, malzemenin kendi bünyesinde ve ilişkide bulunduğu malzemedeki kimyasal dönüşümleri belirlenebilmektedir [35]. Örneklerin pH ölçümleri ortalaması 8.81 olup 8.54-9.12 arasında değerlere sahiptir ve bu değerler örneklerin bazik özellikte olduğunu göstermektedir (**Tablo 2**). Örneklerin tümünün bazik özellik göstermesinin kireç bağlayıcıdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Örnekler içinde en yüksek iletkenlik basilica örneğine ait, en düşük iletkenlik özelliği gösteren örnek ise külhan örneğine aittir. Kondaktometrik iletkenlik analiz sonuçlarına göre harç örneklerinin yüksek derecede toplam tuz içeriklerine sahip olduğu gözlenmektedir (**Tablo 2**).

**Tablo 2.** Roma Hamamı harç örneklerinin iletkenlik ve pH ölçümleri.

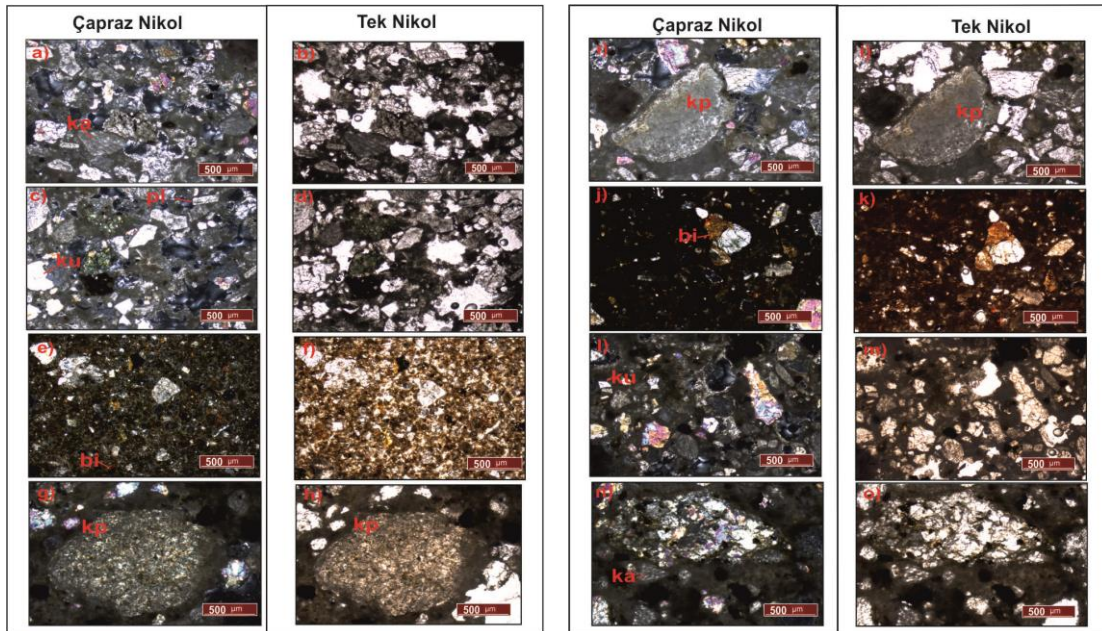
Örnek adı	İletkenlik (EC) (µs/cm)	pH
Basilica	9470	9.12
Caldarium	6820	8.78
Külhan	12520	8.54



Şekil 4. Örneklerin granülometrik analiz sonuçları (P1: Praefurnium (Külhan), B1: Basilica, C1: Caldarium).

Harç örneklerinin mineralojik ve petrografik özellikleri incelendiğinde, örneklerde genel olarak mineral, litik, ve bağlayıcı olmak üzere üç farklı bileşen gözlenmektedir. Örneklerde gözlenen mineral bileşenleri kuvars, plajiyoklas, kalsit, muskovit, opak mineraller ve kayaç parçalarıdır (Şekil 5). Litik bileşenler çoğunlukla (Şekil 5 g, h, i, j), traverten, kumtaşı, kireçtaşı kayaç parçalarından oluşmaktadır. Ayrıca az da olsa tuğla ve kiremit parçaları da litik bileşen olarak görülmüştür. Örneklerde gözlenen litik bileşenlerin Tyana antik kenti çevresi jeolojisi ve çevredeki kayaç parçaları

(traverten, kireç taşı, kumtaşı) ile uyumlu olduğu görülmektedir [47]. Petrografik incelemelerde harç örneklerinin bağlayıcısının kireç olduğu saptanmıştır. Tyana antik kentinde bulunan yapı taşlarının %75'inin sedimanter (kireçtaşı, traverten, kumtaşı), %20 metamorfik (gnays, mikaşist) ve %5'ininde magmatik (andezit, serpantinit, gabro,) kökenli olduğu daha önce yapılan çalışmalarda araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [30,31,47]. Roma hamamına ait harç örneklerinin polarizan mikroskop altında çekilmiş mikro fotoğrafları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Harç örneklerinin polarizan mikroskop altında çekilmiş mikro fotoğrafları (ka: kalsit, kp:kayaç parçası, ku: kuvars, bi: biyotit) (a, c, e, i, j, l, m tek nikol görüntüsü, b, d, f, h, i, k, m, o: çapraz nikol görüntüsü).

**Tablo 3.** Harç örneklerinin ana oksit jeokimyasal sonuçları.

Örnek	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	LOI	TOPLAM
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Külhan	0.34	0.44	1.33	7.17	0.10	1.19	28.81	0.16	0.00	0.05	1.76	39.36	0.41	19.60	100.73
Calderium	0.23	0.14	0.21	1.28	0.03	0.34	54.8	0.02	0.001	0.003	0.23	0.22	0.34	43.5	101.37
Basilica	0.51	0.81	2.88	17.08	0.46	1.74	41.75	0.28	0.011	0.07	2.49	5.7	0.8	24.9	99.5

Tarihi yapıya ait harç örneklerinin element içerikleri WD-XRF ile belirlenmiştir. Harç örneklerine ait jeokimyasal analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

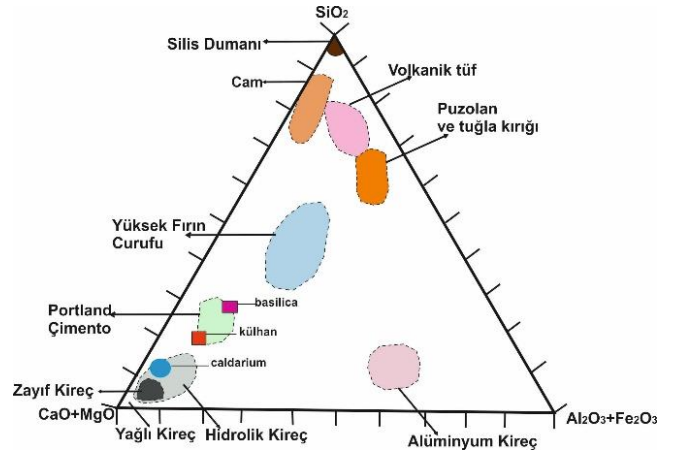
Örneklerdeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>O gibi elementler, feldispat gurubu, mika ve kil minerallerini Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve MgO gibi elementler ise piroksen grubu amfibol grubu ve klorit minerallerini işaret etmektedir. Örneklerin düşük Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve K<sub>2</sub>O değerleri ve yüksek CaO içeriği yüksek olması kalsit ve kireç bağlayıcıdan oluştuğunu göstermektedir. Külhan örneğinin diğer örnekler göre SO<sub>3</sub> değer oldukça yüksektir. Bu durum bu örneğin sülfat içerikli bir bağlayıcı kullanılmış olması ile ilişkilendirilir. MgO değerleri tüm örnekler de çok yüksek olmadığı gözlenmektedir. Harç içerisinde MgO'in fazlalığı dolomitik kireçtaşını CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ifade etmesi sebebiyle harç için uygun olmamasından dolayı tercih edilmemektedir. Harç örneklerin kimyasal analizi ile elde edilen kireç türleri ve dayanım özellikleri ile ilgili fikir veren Cementation Index (CI) değerleri ile örneklerin tamamen benzer özelliklerde olduğunu göstermiştir (Tablo 3). Roma hamamına ait harç örneklerin CI değerleri 0.34-0.80 değerleri arasında değişim gösterirken, kireç türü olarak zayıf hidrolik kireç ile hidrolik kireç katsayısında veriler sunmaktadır. Harç örneklerinin CI verileri örneklerin dayanımları ile ilgili veriler sağlamakta ayrıca yüksek CI verileri örneklerin hidroliklik özelliğini göstermektedir (Tablo 4). Roma hamamına ait incelenen harçlar oldukça düşük değerlerde CI verilerine yani oldukça düşük dayanımlara sahiptirler. CI değeri düşük olan harçlar CaO oranı yüksek ve toplamdaki agrega içeriği %5'in altında, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı da kısmen yüksek olan hidrolik özelliği olan harçlardır [48].

**Tablo 4.** Harç örneklerinde CI.

Kireç türü	CI
Yağlı Kireç -YK	< 0.30
Zayıf hidrolik kireç - ZHK	0.30-0.50
Ortalama Hidrolik Kireç- OHK	0.51-0.70
Hidrolik Kireç	0.71-1.11
Doğal Çimento-DC	1.11-1.70
Doğal Çimento/Çimento	1.70 <

Yapılan tarihi harç çalışmalarında agrega içeriğine bağlı olarak yağlı harç, hidrolik harç ya da çimentolaşma özelliğindeki harç ayrımı yapılmaktadır. Agrega içeriği %5'in altında olan ve CaO oranı yüksek harçlar yağlı harçlar, agrega oranı %5'in üzerinde olan ve CaO oranı düşük olan

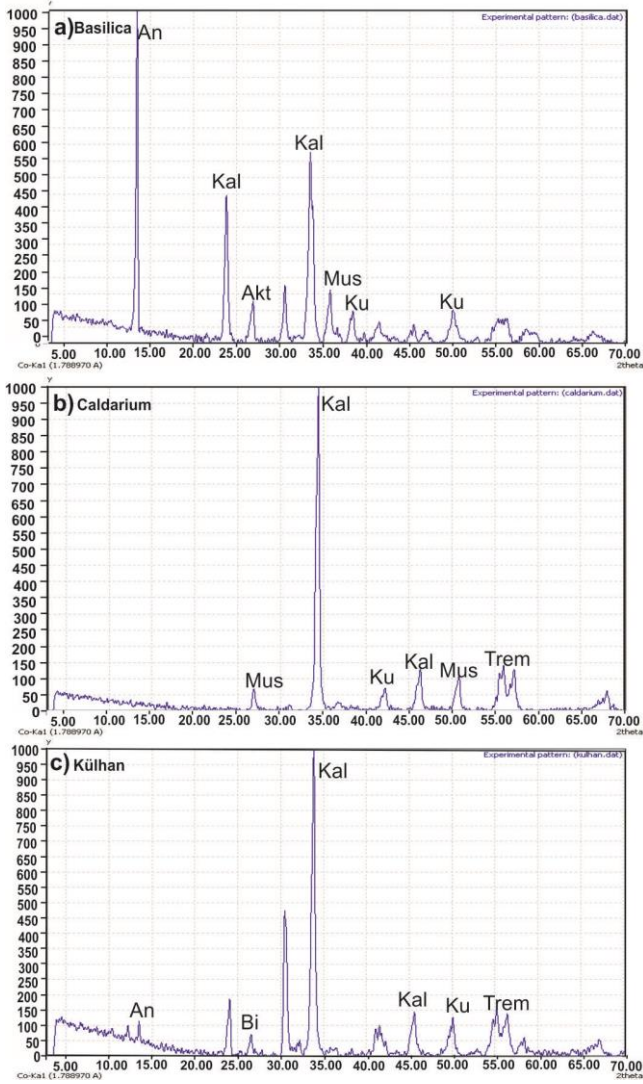
harçlar ise hidroliklik özelliği olan harçlardır. Ayrıca bu tür harçların birleşiminde yüksek oranda demir (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), silisyum (SiO<sub>2</sub>) ve alüminyum (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bulunmaktadır. Calderiuma ait örneğin; CaO içeriği %54.8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %0.21; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %0.23 ve SiO<sub>2</sub> %1.28 oranlarına sahip iken; Külhan ve Basilica örneklerinde, CaO içeriği %28.81-41.25, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %1.33-3.88, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %1.76-2.49 ve SiO<sub>2</sub> içeriği %7.17-18.08 aralığındadır. Buna göre Külhan ve Basilica örneklerin CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> değerleri Calderiuma örneğinden farklı olup bu farklılık bağlayıcısının kimyasal kompozisyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Analizleri yapılan harç örnekleri kimyasal içeriklerine ve oksit bileşik oranlarına göre Keily diyagramında (SiO<sub>2</sub>-CaO+MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) gösterilerek gruplandırılmış calderium örneği hidrolik kireç alanına basilica ve külhan örneği ise portland çimento alanlarında gözlenmiştir [49] (Şekil 6).



**Şekil 6.** Roma hamamı harç örneklerinin Keily diyagramındaki konumları [49].

Harç örneklerinden optik mikroskop altında belirlenmeyen daha küçük parçalar için XRD analizi yapılmıştır. Yapılan XRD analizlerine göre harç örneklerinin baskın olarak kuvars ve kalsit pikleri gözlenmekte olup tremololit, biyotit, muskovit ve kaolin mineral pikleri de gözlemlenmiştir (Şekil 7). Kuvars minerali kullanılan agregalarının genellikle silisyum mineralini içerdiğini gösterirken, kalsit minerali bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir [50]. Elde edilen XRD sonuçları petrografik sonuçlarla uyumlu olduğu söylenebilir.





**Şekil 7.** Örneklerin XRD analiz sonuçları a) Basilica örneği b) Calderium örneği c) Külhan Örneği (An: Anhidrit, Kal: Kalsit, Trem: Tremolit, Mus: Muskovit, Bi: Biyotit, Ku: Kuvars).

#### 4 Tartışma ve sonuçlar

Bir restorasyon çalışması için arkeometrik analizler hem belgeleme hem koruma/onarıma yönelik uygulamalar için oldukça önemli bir role sahiptir. Bu çalışma, Tyana Roma Hamamına ait harç örneklerinin korunmasına/onarımına yönelik olarak gerçekleştirilen arkeometrik analizler ile elde edilen veriler üzerinden yapılacak restorasyon uygulamaları için örnek bir çalışmadır. Tyana antik kenti içerisinde yapılan hem farklı, hem de bir ilk çalışma olarak alanda yerini alacak uygulamalar içeren bir nitelik taşımaktadır. Arkeometrik çalışmalar kapsamında örnekler üzerinde temel fiziksel analizler, kimyasal analizler ve petrografik analizler yapılmıştır. Yapılan kimyasal analizler aracılığıyla malzeme bileşiminin belirlenmesi ile harçların kimyasal bileşimindeki değişiklikleri tespit ederek, farklı yapım aşamalarında veya farklı kullanım dönemlerinde yapılan değişikliklere dair ipuçları sağlanabilmektedir. Bu kapsamda yapılan petrografik analizler, harç örneklerindeki minerallerin ve agregaların türünü, yoğunluğunu, kristal yapısını

belirleyebilir, restorasyon malzemelerinin doğru seçimini ve uygulanacak restorasyon stratejilerini belirlemeye yardımcı olabilir. Roma hamamı örneklerinin petrografik incelemelerinde içerisinde litik bileşenler (Kumtaşı, kireçtaşı, traverten vb.) mineralojik bileşenler ve bağlayıcı olmak üzere üç bileşenden oluştuğu, örnekler içerisindeki litik bileşenlerin (Kumtaşı, kireçtaşı, traverten vb.) Tyana antik kenti çevresinin jeolojik yapısıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca XRD analiz sonuçları ile mineral ve bağlayıcı özellikleri petrografik özelliklerle uyumlu olduğu görülmektedir. Roma hamamı örneklerinden yapılan kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında düşük  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  değerleri ve yüksek CaO değeri göstermesi kalsit ve kireç bağlayıcıya işaret etmektedir. Kimyasal analiz sonucuna göre örneklerin CI değerleri 0.34-0.80 değerleri arasında değişim gösterirken, kireç türü olarak zayıf hidrolik kireç ile hidrolik kireç katıysısında veriler sunmaktadır. Örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre belirlenen hidrolik kireç türü, su ile tepkimeye girerek sertleşir ve dayanıklı bir yapı oluşturur. Ancak, "zayıf hidrolik kireç" su ile sınırlı bir tepkime gösterir ve düşük mukavemetli bir yapıya neden olabilir. Zayıf hidrolik kireç içeren yapıların restorasyon çalışmasında daha yüksek hidrolik özelliklere sahip kireç harçları tercih edilerek, restorasyonun dayanıklılığı ve uzun ömürlülüğü sağlanabilir. Ayrıca, harç örnekleri için yapılan fiziksel analizler, harcın dayanıklılığı, su geçirgenliği, agrega boyutu gibi önemli mekanik özellikleri hakkında bilgi sağlayarak, yapıdaki hasarın nedenlerini ve yayılımını anlamada yardımcı olabilir. Roma hamamı harç örneklerinin pH özelliği bazik ortamı temsil etmekte ve iletkenlik 6820-12520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında olduğu görülmektedir. Restorasyon projelerinde harçların iletkenlik değeri, düşük olması tercih edilir. Bu nedenle, verilen değerlere yakın veya daha düşük iletkenlik değerlerine sahip harçlar, restorasyon projelerinde kullanılmak için tercih edilebilir. pH değerleri ise orijinal yapı malzemeleri ile kimyasal olarak uyumlu olması beklenir. Restorasyon süreçlerinde pH değeri bazik olan harçlar, yapı malzemelerine bazik bir ortam sağlayarak, asidik etkilere karşı koruyucu bir bariyer oluşturabilir. Restorasyon süreçlerinde kullanılan harçların agrega (kum, çakıl, taş vb.) tane boyu, harcın fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini etkileyebilir ve restorasyonun başarıyla tamamlanması için önemli bir faktördür. Roma Hamamı harç örneklerinde belirlenen silt-kil agrega boyutu genellikle düşük dayanıklılığa sahip olup harcın dayanıklılığını etkileyebilir.

Tüm bu bilgiler kapsamında Tyana Roma hamamı harç özellikleri Anadolu'da yer alan Roma dönemine ait bir diğer yapı olan Sagalassos Antik Kenti'ndeki Roma hamamına ait harçlarının analizi ile karşılaştırılmıştır [51,52]. Roma döneminde inşa edilen bu iki hamamın harç özellikleri benzer özellik göstermekte ve hamamların inşasında kullanılan malzemelerin çoğu, kireç, kum ve çakıl gibi doğal malzemeler olduğu görülmektedir. Roma dönemine ait yapıların harç özellikleri ve malzeme kullanımı, her ne kadar Roma İmparatorluğu geniş topraklara sahip olsa da inşa edilen yapılarda kullanılan harçların benzer malzeme ile yapıldığı gözlenmektedir.

Sonuç olarak Tyana antik kenti Roma Hamamı'na ait, arkeometrik harç analizleri, yapının restorasyon ve koruma süreçlerinde önemli bir rolü olduğu, yapıya ait harç bileşimlerinin ve özelliklerinin, orijinal yapı malzemelerini anlamak, restorasyon ve bakım onarım çalışmalarını daha doğru ve uygun bir şekilde yaklaşım yapılabilmesi amaçlanmıştır.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine ve örneklerin kullanımına izin veren Tyana Kazı başkanı Prof. Dr. Osman DOĞANAY'a ve kazı ekibine, yapılan analizler için Aksaray Üniversitesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'na, Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma (ASÜBTAM) Laboratuvarı'na, Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)'ne ayrıca makaleye yapıcı yorumları ile katkıda bulunan hakemlere ve editöre teşekkür ederim.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Benzerlik oranı (iThenticate): %19

#### Kaynaklar

- [1] G.Ö. Kuşçuoğlu, M. Taş Sürdürülebilir Kültürel Miras Yönetimi. *Journal of Yalvaç Academy* 2, 58–67, 2017.
- [2] E. Uğurlu, H. Böke, Tarihi Yapıların Özgün Değerleri ile Korunması. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi* 1, 17–19, 2009.
- [3] A.A. Akyol, Y.K. Kadioğlu, Ş. Demirci, Zeugma (Gaziantep) Antik Kenti duvar resimleri arkeometrik çalışmaları. *Anadolu University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering* 12, 37–56, 2011.
- [4] M. Aydın, H. Tanrikulu, S. Tetiker, Şanlıurfa-Hacı Yedigâr Camii restorasyon amaçlı yapı malzemelerinin arkeometrik özelliklerinin incelenmesi. *Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi* 24, 238–247, 2019. <https://doi.org/10.22520/tubaar.2019.24.012>.
- [5] B. Duman, T. Koralay, Y.K. Kadioğlu, A.A. Akyol, Tarihi harç ve sıva örneklerinin çoklu analitik yöntemler kullanılarak incelenmesi: Tripolis (Yenice/Denizli) örneği. 31. Arkeometri Sonuçları Toplantısı 2016.
- [6] J. Hormes, A. Diekamp, W.Klysubun, G.L. Bovenkamp, N. Börste, The characterization of historic mortars: a comparison between powder diffraction and synchrotron radiation based x-ray absorption and x-ray fluorescence spectroscopy. *Microchemical Journal* 125, 190–195, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.microm.2015.11.034>.
- [7] Martín Sánchez, M.J.Nuevo, M.A. Ojeda, S. Guerra Millán, S. Celestino, E. Rodríguez González, Analytical techniques applied to the study of mortars and coatings from the tartessic archaeological site "El Turuñuelo" (Spain). *Radiation Physics and Chemistry* 167, 108341, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.05.031>.
- [8] M. Bayazit, D. Yıldız, Fatih Paşa Cami (Diyarbakır) sıva ve harç örneklerinin arkeometrik karakterizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 10, 709–720, 2019. <https://doi.org/10.24012/dumf.408838>.
- [9] C. Yalçın, Mor Kuryakos Manastırı (Batman) harç, sıva ve taş örneklerinin arkeometrik tekniklerle incelenmesi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 2021.
- [10] A.A. Akyol, Y.K. Kadioğlu, Hasankeyf Artuklu Köşkü arkeometrik çalışmaları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 1, 29–42, 2012.
- [11] M. Zeybek, A. Kaya, Tarihi yığma kiliselerde hasarların fotogrametrik ölçme tekniğiyle incelenmesi: Artvin Tbeti Kilisesi örneği. *Geomatik* 5, 47–57, 2020. <https://doi.org/10.29128/geomatik.568584>.
- [12] Güleç, G. Emre, Sultanahmet Büyük Saray kazıları kalıntıları harç sıva analizleri. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi* 1, 50–60, 2009.
- [13] M. Yılmaz, S. Tek, Antalya Yivli Minare ve Camisinin restorasyon, güçlendirme ve zemin etüt çalışmaları. *MASROP E-Dergi* 12, 49–72, 2018.
- [14] İ. Ciritci, G. Yücel, Ani yağışlar ve su baskını riski altındaki tarihi yapılar İstanbul Tarihi Yarımada: Ahi Çelebi Camisi. *Academic Perspective Procedia* 2, 172–181, 2019. <https://doi.org/10.33793/acperpro.02.02.23>.
- [15] H. Günöz, Kapadokya bölgesi bizans dönemi kaya kiliseler duvar resimlerinde ticari ve ticari-olmayan enjeksiyon harçlarının performans problemleri üzerine analitik bir değerlendirme. *Art-Sanat Dergisi* 153–179, 2017.
- [16] L. Karataş, A. Alptekin, M. Yakar, Material analysis for restoration application: A case study of the World's First University Mor Yakup Church in Nusaybin, Mardin. *Heritage Science* 11, 1–17, 2023. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00935-2>
- [17] D. French, Roman Roads and Milestones of Asia Minor = Küçük Asya'daki Roma Yolları ve Miltaşları. BAR Publishing, Ankara, 1981.
- [18] D. Magie, Roman Rule in Asia Minor, Volume 2 (Notes) : To the End of the Third Century After Christ. Princeton University Press, New Jersey, 2017.
- [19] D. Berges, Tyana in Kappadokien: Von Der Hethitischen Residenz Zur Gräco-Römischen Colonia. Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG), Darmstadt, 2002.
- [20] J.A. Cramer, A Geographical and Historical Description of Asia Minor, Oxford University Press, Oxford, 1832.
- [21] R. Dussaud, Louis Robert- Hellenica, Recueil d'épigraphie, de Numismatique et d'antiquités Grecques. Syria. Archéologie, Art et histoire, 1955.
- [22] D. Berges, J. Nollé, Tyana : Archäologisch-Historische Untersuchungen Zum Südwestlichen Kappadokien. Habelt, Bonn, 2000.
- [23] T. Gürkan, O. Doğanay, Tyana Roma Hamamı kazılarında ortaya çıkan sütun başlık parçaları.

- Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi 1, 327–353, 2020. <https://doi.org/10.17498/kdeniz.833275>.
- [24] T. Gürkan, Tyana Antik Kenti Roma Hamamı kazılarında bulunmuş taş malzemeler. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 2021.
- [25] İ. Ketin, Anadolu'nun tektonik birlikleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 66, 20–37, 1966.
- [26] M.C. Göncüoğlu, Niğde Masifinin Jeolojisi. İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurultayı, sayfa 16–19, Ankara, Türkiye, 1981.
- [27] İ. Seymen, Kaman (Kırşehir) Dolayında Kırşehir Masifinin Metamorfizması. 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 12-15, Ankara, 1981.
- [28] M.C. Göncüoğlu, Geochronological Data from the Southern Part (Niğde Area) of the Central Anatolian Massif. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 105–106, 1986.
- [29] MTA 1/100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, 2005.
- [30] M. Korkanç, Characterization of Building Stones from the Ancient Tyana Aqueducts, Central Anatolia, Turkey: Implications on the Factors of Deterioration Processes. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 77, 237–252, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0930-2>
- [31] M. Korkanç, A. Savran, Impact of the surface roughness of stones used in historical buildings on biodeterioration. Construction and Building Materials 80, 279–294, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.073>.
- [32] TS 1900-1, İnşaat Mühendisliği Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [33] J.M. Teutonico, A Laboratory Manual for Architectural Conservators (Vol. 168), Rome, 1988.
- [34] Güleç, T. Tulun, Physico-Chemical and petrographical studies of old mortars and plasters of Anatolia. Cement and Concrete Research 27, 227–234, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00005-7).
- [35] G. Aslan, Mozaikli villa (Tripolis-Denizli) mekân duvarlarında kullanılan harçların arkeometrik yöntemlerle incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale üniversitesi, Arkeoloji Enstitüsü, 2019.
- [36] ASTM, American Society for Testing and Materials Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>.
- [37] N. Alkan, E. Çağırın Ö.H. Ersan, M. Eruş, Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarları Müdürlüğü; İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü (KUDEB) Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarları Yayınları, 2009.
- [38] EN ISO 10523. Water Quality-Determination of pH, 2012.
- [39] ISO 7888 Determination of Electrical Conductivity, 1985.
- [40] C.A. Black, Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling.in: C.A., Black (Eds), Agronomy, American Society of Agronomy, Wisconsin, USA, 1965.
- [41] F. Feigl, Spot Tests in Organic Analysis. Elsevier Publishing Company, London, 1966.
- [42] P.F. Kerr, Optical Mineralogy. McGraw-Hill Higher Education, USA, 1978.
- [43] G.R. Rapp, Properties of Minerals. in: G.R. Rapp (Eds.), *Archaeomineralogy*, Springer Berlin, pp. 13-40, Heidelberg, 2002.
- [44] B. Güllü, E. Yılmaz, The Effect of Particle Size on the Major Element Oxide Analysis of Granitic Rocks with Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence (WD-XRF). 9th Geochemistry Symposium with International Participation; Aydın, Türkiye, 2022.
- [45] B. Gullu, Y.K. Kadioglu, Use of tourmaline as a potential petrogenetic indicator in the determination of host magma: CRS, XRD and PED-XRF Methods. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 183, 68–74, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.04.032>.
- [46] B. Güllü, K. Deniz, Nature and crystallization stages of spherulites within the obsidian: Acıgöl (Cappadocia-Nevşehir, Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences 31, 545–562, 2022. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1819>.
- [47] M. Korkanç, İgnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına etkisi: Nevşehir Taşı. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 31, 49–60, 2007.
- [48] A. Akyol, M. Yılmaz, Hasankeyf Sultan Süleyman Cami Minaresi Harç Örneklerinin Arkeometrik Analizleri. Cedrus 8, 643–658, 2020. <https://doi.org/10.13113/cedrus.202033>.
- [49] M. Eroğlu, M. Bilgen, Y. Kağan Kadioğlu, K. Deniz, Karabük Ovacık Çukur Camisi yapı malzemelerinin arkeometrik analizleri. Art-Sanat 16, 151–179, 2021. <https://doi.org/10.26650/artsanat.2021.16.0006>.
- [50] C. Oğuz, F. Türker, N.U. Koçkal, Andriake Limanında Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri. Teknik Dergi 26, 429, 2015.
- [51] D. Ergenç, A. Türer, P. Degryse, E. Torun, J. Poblome, Ç. Meral Akgül, Multiscale assessment of masonry materials from the Roman Imperial Baths at Sagalassos. Measurement 198, 111368, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111368>.
- [52] N. Aysal, Ş. Caran, Sagalassos Antik Kenti (Pisidia) yapı ve dekor taşlarının mineralojisi, petrografisi ve kaynak alanlar. İstanbul Yerbilimleri Dergisi 29, 2019.

