

Afyon Ulu Cami Arkeometrik Analizleri

Doç. Dr. Ali Akın AKYOL¹
 Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU²
 Negin DERAKHSHAN HOUREH³

Makale Geliş Tarihi: 28.02.2021
 Yayına Kabul Tarihi: 25.10.2021

Özet

Afyon tarihi kent merkezinde bulunan Ulu Cami'ye ait yapısal ve dekoratif malzemelerden (taş, tuğla, harç ve sıva katı, pigment, metal ve ahşap) oluşan örnekler, çeşitli analitik metotlar kullanılarak arkeometrik yönden incelenmiştir. Caminin inşasında kullanılmış olan taşlar yoğunlukla andezittir. Caminin cephelerinde ve minare kaidesinde kullanılan yapısal nitelikteki taşlar yakın çevre yerel kayaç formasyonunu doğrudan yansıtmaktadır. Cami ve minareden örneklenen tuğlalar özgün nitelik taşmaktadır. Caminin özgün taş/tuğla derz ve moloz dolgu harçları kireç ve kireç/kil karışımı bağlayıcı içeriklerine sahiptir. Caminin özgün sıvaları günümüze malesef ulaşamamıştır. Caminin ahşap unsurları üzerinde yer alan pigment örneklerin renk bileşimlerini başta mangan (Mn), bakır (Cu) ve demir (Fe) olmak üzere gümüş (Ag), kalay (Sn), antimon (Sb), titanyum (Ti), vanadyum (V), neobyum (Nb), molibden (Mo) ve kurşun (Pb) oluşturmaktadır. Ahşap üzerinden örneklenen çivi/mıh örneklerin kimyasal yapısını da %97,26 ve %96,84 oranlarında demir (Fe) oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Afyon Ulu Cami, Arkeometri, Petrografik Analiz, Mikro-XRF Analizi, Pigment Analizi.

ARCHAEOLOGICAL ANALYSES OF AFYON GRAND MOSQUE

Abstract

Samples including structural and decorative materials (stone, brick, mortar and plaster layer, pigment, metal and wood) of the Grand Mosque located in the historical city center of Afyon were analyzed archaeometrically using various analytical methods. The stones used in the construction of the mosque are mostly andesite. Structural stones used on the facades of the mosque and on the base of the minaret directly reflect the local rock formation in the immediate vicinity. The bricks sampled from the mosque and minaret are original. The original stone/brick joint and rubble filling mortars of the mosque have lime and lime/clay mixed binder contents. The original plasters of the mosque, unfortunately, have not survived today. The compositions of the pigment samples on the wooden elements of the mosque are mainly manganese (Mn), copper (Cu) and iron (Fe), silver (Ag), tin (Sn), antimony (Sb), titanium (Ti), vanadium (V), neobium (Nb), molybdenum (Mo) and lead (Pb). The chemical structure of nails sampled from wood is composed of iron (Fe) at the rates of 97.26% and 96.84%.

Keywords: Afyon Grand Mosque, Archaeometry, Petrographic Analysis, Micro-XRF Analysis, Pigment Analysis.

¹ Doç. Dr. Ali Akın Akyol, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü. E-posta: ali.akyol@hvb.edu.tr. ORCID: 0000-0002-4174-575X.

² Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadioğlu, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü. E-posta: kadi@ankara.edu.tr. ORCID: 0000-0002-7894-2220.

³ Negin Derakhshan Horeh, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kültür Varlıklarını Koruma Ana Bilim Dalı Doktora Öğrencisi. E-posta: negin.derakhshan@hvb.edu.tr. ORCID: 0000-0001-8131-3049.

GİRİŞ

Afyon Ulu Cami, Afyonkarahisar'ın tarihi şehir merkezinde, eski bir yerleşim yeri olan Camii Kebir Mahallesi'nde bulunmaktadır. 19. yüzyıla değin Hocabey Cami olarak anılan Afyon Ulu Cami, H. 671-676 (M. 1272-77) yılları arasında Sahipata Fahreddin Ali'nin oğlu Nasraddin Hasan tarafından yaptırılmıştır. Doğu kapısındaki kitabeye göre 1341 yılında Mugiseddin Emir İsa bin Muzafferüddin tarafından onarılmış olan Afyon Ulu Cami, kibleye dikey dokuz neften oluşmakta ve 40 ahşap direk taşınmaktadır. Bu direkler silindirik formlu olup mukarnaslı ahşap başlıkları vardır ve altta mermer kaidelere oturmaktadır. Moloz taş malzeme ile inşa edilmiş olan yapı enine dikdörtgen plan şemasına sahip, kırma çatılıdır. 30,45x39,45 m dış ölçülerine sahip olan caminin kubbesi kurşun ile örtülüdür. Caminin çatısı 1983 yılında yenilenmiştir. Afyon Ulu Camisi'nin son cemaat mekânı bulunmamaktadır. Caminin kuzey duvarı boyunca devam eden kadınlar mahfeli bulunmaktadır. Yapının kuzey, doğu ve batı yönlerinde olmak üzere üç girişi vardır. Caminin minaresi kuzey-batıda bulunmakta olup kaide kısmı kesme taş, çatı bitimine kadar beşgen formda bir sıra kesme taş üç sıra tuğla olarak devam etmektedir. Gövde ise tuğla örgü olup aralarda yeşil sırlı tuğladan baklava motifleri bulunmaktadır. Çeşitli kaynaklarda yapının Yıldırım Beyazıt Dönemi'nde onarım geçirdiği ve minarenin bu döneme ait olduğu belirtilmektedir. Kaidenin bir kısmının kare planlı, bir kısmının çok planlı oluşu, kaidenin alt kısmının kesme taş, üst kısmının taş ve tuğla almaşık sistemde olması bu düşünceyi desteklemektedir. Afyon Ulu Camisi'nde ahşap sütun başlıkları, taşıyıcı kirişler ve ahşap kaplama tahtaları üzerinde bitkisel ve geometrik motiflerden meydana gelen kalem işi süslemelerin olduğu bilinmektedir, ancak yapının gördüğü her onarımda bunların bir kısmı zarar görmüştür. Buna rağmen, camide boyalı nakışlarla bezeli iki yüzün üzerinde ahşap levha olduğu gibi bazı konsol ve sütun başlıklarındaki süslemeler günümüze kadar ulaşabilmiştir. Harimdeki bazı kirişlerde, sütun başlıklarında, giriş aralarındaki levhalarda ve bir lambri üzerinde bitkisel süslemeler bulunmaktadır (Karakuş, 2021: 133-138). Bu özellikleri ile UNESCO Dünya Kültür Mirası Listesi'ne aday olan Ulu Cami, mimarisi ve dekoratif özellikleri ile sanat tarihi açısından ele alınmasına rağmen yapısal malzemeleri bütüncül bir şekilde arkeometrik yönden daha önce incelenmemiştir. Bu çalışmada caminin yapısal unsurları ve malzeme özellikleri bir proje kapsamında ele alınarak belgelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Bu amaçla Afyon Ulu Cami'de gerçekleştirilen yapısal malzeme incelemeleri, belgeleme ve örneklemelerin sonucunda elde edilen yapısal ve dekoratif (taş, tuğla, harç, sıva, pigment ve metal) örnekler üzerinde

gerçekleştirilen arkeometrik çalışmaların sonuçları ve değerlendirmeleri bu makalenin konusunu oluşturmaktadır.

ARKEOMETRİK YÖNTEM VE ANALİZLER

Afyon Ulu Cami'ye (Şekil 1) ait yapısal malzemelerden (taş, tuğla, harç, sıva, pigment ve metal) oluşan örnekler önce görsel olarak değerlendirilmiş, fotoğraflanarak belgelenmiş, gruplandırılmış ve analiz edilmek üzere kodlanmıştır (Tablo 1,2).

Fiziksel özellikler, yapı malzemelerinin (özellikle taşların) belirlenmiş standart sınırlar içinde tanımlanabilen özelliklerinin teknik yönden ifadesidir. Malzemelerin dayanımlarının belirlenmesi için temel fiziksel testler (birim hacim ağırlığı, su emme kapasitesi ve gözeneklilik) uygulanmıştır (RILEM, 1980) (Tablo 3a,3b).

Farklı yapı malzemelerinin içeriğinde doğal olarak bulunan veya suda çözünerek sonradan malzemelerin yüzeyine veya gözeneklerine kılcal etki sonucu su ile taşınan tuzlar, malzemenin hem kendi bünyesinde, hem de ilişkide buldukları diğer malzemelerin yapılarında gerçekleşebilecek kimyasal değişimler hakkında bilgi vermektedir. Tarihi yapıya ait taş, tuğla ve toprak örneklerin bünyesinde bulunan suda çözünen tuz miktarı (toplam) ve türleri ile pH değerleri belirlenmiştir (Tablo 4a,4b). Analiz için hazırlanan örneklerin toplam tuz içerikleri Neukum Seri 3001 marka pH-sıcaklık-iletkenlik ölçer ile kaydedilmiş, sonuçlar ilgili eşitlikler kullanılarak toplam tuz miktarlarına ağırlıkça yüzde olarak (%^{w/w}) ulaşılmıştır (Black, Evans, Ensminger, White, Clark, 1965; Brady ve Weil, 2004; Means ve Parcher, 1963).

Standart spot tuz testleri, alanda örneklemeler sırasında veya laboratuvar ortamında analizler öncesinde uygulanan ön testler veya süreçsel anyon/kasyon testleridir. Suda çözünerek malzemeye taşınan bu tuzlar; sodyum, potasyum ve magnezyum tuzları olan sülfat, fosfat, nitrat, nitrit, klorür ve karbonat vb. gibi gruplardır (Feigl, 1966). Taş, tuğla ve toprak örneklerde tuz (kation/anyon) türünün belirlenmesi için spot tuz testleri uygulanmış, örneklerin pH dağılımları belirlenmiştir (Tablo 4a,4b). Anyon analizlerinde; standart Merck nitrit (NO₂⁻; 108025), Merck nitrat (NO₃⁻; 111170), Merck sülfat (SO₄²⁻; 114789), Merck fosfat (PO₄³⁻; kod: 114846), Merck klorür (Cl⁻; kod: 110079) ve Merck toplam sertlik (CO₃²⁻; kod: 110025) test kitleri kullanılmıştır.

Afyon Ulu Cami'den örneklene harç ve sıva katı örneklerinin agrega ve bağlayıcı oranlarının belirlenmesi için öncelikle kuru tartıma alınan örnek daha sonra bağlayıcı (toplam karbonat içerik; CO_3^{2-}) içeriklerinden arındırılmak üzere seyreltik asitle (%5'lik HCl) muamele edilmiştir. Süzme, yıkama ve kurutma işlemleri ile (Şekil 4a-4c) kireç ve tüm karbonat içeriklerinden (bağlayıcısından) ayrılan ve agrega kısmı elde edilen harç ve sıva örnekler, oda sıcaklığında kurutulduktan sonra tekrar tartıma alınarak ağırlıkça toplam bağlayıcı ve agrega (% w/w) miktarına ulaşılmıştır (Tablo 5a ve Şekil 5a). Örneklerin karbonat içerikli olmayan agregalarına 63-1000 μm arasındaki eleklerle sistematik eleme işlemi (TSE, 2012) uygulanarak agrega tanecik dağılımları (granülometrik analiz) belirlenmiştir (Tablo 5a,5b ve Şekil 5b,6).

Afyon Ulu Cami'ye ait yapısal örneklerin (taş, tuğla, harç, sıva ve toprak) ince kesitleri hazırlanmış ve optik mikroskopta incelenmiştir. İnce kesitler, örneklerde dıştan içe doğru tüm tabakaları gösterecek şekilde taş ve tuğla örnekleri için doğrudan, harç, sıva ve toprak örneklerde ise sertleştirme yapılar hazırlanmıştır (Kerr 1977; Rapp, 2002). İncelemelerde LEICA Research Polarizan DMLP Model alt ve üstten aydınlatmalı optik mikroskop kullanılmıştır. Fotoğraflamalar mikroskoba bağlı Leica DFC280 dijital kamerayla, değerlendirmeler de Leica Qwin Digital Imaging Programı kullanılarak yapılmıştır. Agregayı oluşturan kayaç ve mineraller Point Counting Programı ile tanımlanmışlardır (Tablo 6a-6e ve Şekil 7a,7b).

Afyon Ulu Cami'ye ait tuğla, toprak, harç ve sıva örneklerin kimyasal bileşimi X-Işınları Floresan Analizi Yöntemi (PED-XRF) kullanılarak oldukça detaylı bir şekilde belirlenmiştir (Shackley, 2011) (Tablo 7a-7b). Analiz için seçilen örnekler agat havanda toz haline getirildikten sonra 32 mm'lik diskler oluşturulmuş her bir disk XRF analizinde kullanılan bir kimyasal ile (wacks) karıştırılarak aletin örnek bölgesine yerleştirilmiş ve analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, X-LAB 2000 model PED-XRF (Polarized Energy Dispersive-XRF) spektrometresi kullanılmıştır. X-Lab 2000 PED-XRF spektrometresi atom numarası 11 olan sodyumdan (Na), 92 olan uranyuma (U) kadar olan elementleri analiz edebilme özelliğine sahiptir. Cihazın duyarlık gözlenebilme sınırı, ağır elementlerde 0,5 ppm ve hafif elementlerde ise 10 ppm kadardır. Analizde temel ve iz ya da eser elementler oksit yüzdeleri (%) halinde, iz elementler ise milyonda bir (ppm) derişimle verilmiştir. Analizde USGS (Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma) standartları ve referans olarak GEOL, GBW-7109, ve GBW-7309 kullanılmıştır.

Harç ve sıva örneklerin bağlayıcı kategorisi (hidroliklik özelliği) ve dayanım özellikleri, örneklerin kimyasal bileşim özellikleri ile elde edilen Cementation Index (CI) verileri yardımı ile değerlendirilmiştir (Boynton, 1980) (Tablo 8).

Pigment örneklerin renkleri de kromametrik (renk tanımlama) analiz ile belgelenmiştir (Tablo 9). Renk analizleri, standart CIE L*a*b* (Commission Internationale de L'Eclairage) renk sistemi kullanılarak yapılmıştır. (L) değeri rengin açıklık değerini, (+a) değeri renkteki kırmızı yoğunluğunu, (-a) değeri rengin yeşil yoğunluğunu, (+b) değeri rengin sarı yoğunluğunu ve (-b) değeri de rengin mavi yoğunluğunu temsil etmektedir (Ohno, 2007).

Afyon Ulu Cami ahşap yüzeyleri üzerinden oldukça küçük boyutlarda (2-4 mm) örneklenebilen pigment ve metal (çivi/mıh) örneklerin kimyasal bileşimlerini belirlemek için bu konuda tahribatsız analiz imkanı sağlayan Mikro-XRF analizi tercih edilmiştir (Tablo 10a,10b). Analizlerde SPECTRO marka MIDEX-M model Mikro-XRF cihazı kullanılmıştır. Oldukça hızlı ve nicel değerler üzerinden örnekleri değerlendirmeyi sağlayan bu cihaz, taşınabilir benzerlerinden daha hassas analiz yapma imkanı vermektedir.

ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Tarih içinde çeşitli dönemlerde geçirdiği değişiklikler ve uğradığı tahribat ile Afyon Ulu Cami'nin korunmasına yönelik arkeometrik yapı malzeme analizleri, alanda gerçekleştirilen örnekleme çalışmaları sonrasında başlatılmıştır (Tablo 1,2 ve Şekil 2,3).

Afyon Ulu Cami yapısal ve dekoratif malzemelerinin arkeometrik incelemeleri; duvar örgülerin ana yapı malzemesini oluşturan taşların, minare duvar örgü ve merdivenleri ile pencere kemerleri ve derz dolgularından örneklenen tuğlaların, taş/tuğla arası derz harçlarının, cami harimi taş yüzeylerin üzerini kaplayan sıvaların, cami ahşap sütun, yastık ve panelleri ile üzerlerinde bezemelerde kullanılan pigmentlerin, ahşap sütuna çakılı çivi (mıh) örneklerin analizlerini içermektedir. Çalışmaya konu olan yapısal ve dekoratif malzeme örnekleri; alanda ve laboratuvar ortamında görsel olarak değerlendirilmiş, malzeme türlerine göre gruplandırılmış, fotoğraflanarak belgelenmiş ve kodlanmıştır (Tablo 1,2 ve Şekil 2a,2b).

Taş Örnekler

Afyon Ulu Cami ve minaresinin kaidesinin duvar örgülerini oluşturan

(yapısal) taşlar yoğunlukla andezit taş türüne sahiptir. Ayrıca kireç ve tuf gibi başka türde taşlar da örneklenmiştir. Temel fiziksel testlerin uygulandığı andezit örneklerin doygun/kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla 2,46-2,70 g/cm³ (ort. 2,57 g/cm³) / 2,32-2,65 g/cm³ (ort. 2,42 g/cm³) arasında, toplam su emme kapasiteleri %0,81-4,56 (ort. %2,43) arasında ve toplam gözenekliliklerinin de %2,14-10,38 (ort. %5,76) arasındaki değerlerdedir (Tablo 3a). Yapısal özellikleri ile düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekli yapıya sahip olan taşlar daha düşük dayanım verileri sunmaktadır (Kadioğlu, 2001). Nispeten düşük gözenekli yapıdaki andezit örnekler düşük (AUC-T4 gibi) ve ortalama (AUC-T11 gibi) düzeyde dayanım verileri sunmaktadırlar. Örnekler içinde AUC-T7 örneği en yüksek fiziksel dayanım verilerine sahiptir (Tablo 3a).

Taş örneklerin suda çözünen toplam tuz miktarları, içerdiği tuz (anyon) türleri ile pH değerleri belirlenmiştir. Taş hammadde özelliklerinden bağımsız olarak örneklerin pH değerleri zayıf bazik ortam şartlarını yansıtır şekilde 8,03-8,59 (ort. 8,25) arasındaki değerlerdedir (Tablo 4a). Aynı örneklerin içerdiği toplam tuz miktarları da %0,55-2,81 (ort. %1,31) arasında değişim göstermektedir (Tablo 4a). Düşük gözenekli yapıdaki andezit örneklerin yüksek oranlarda tuzlanmaya uğradığı anlaşılmaktadır.

Taş örnekler içerdikleri tuz türleri açısından değerlendirildiğinde; örneklerin düşük miktarda klorür (3 ve 6 mg/L), nitrat (AUC-T2 örneğine 10 mg/L) ve sülfat (20 mg/L) ile ortalama/yüksek miktarlarda fosfat (0,20, 0,40 ve 1,00 mg/L), nitrit (0,10 ve 0,25 mg/L) ve karbonat (112, 192 ve 400 mg/L) türü tuzlanmalar içerdikleri belirlenmiştir (Tablo 4a). Kaynağını çevresel ve yapısal nedenlerden (eksoz gazlarına ait nitrit/nitrat, kuş dışkıları ve nemli ortamda açığa çıkan vejetasyondan kaynaklanan fosfat ile ayrışan onarım/özgün derz harçlarından kaynaklanan sülfat ve karbonat türü tuzlanmalar) kaynaklanan zayıf bazik ortamda bulunan taşların tuzlanması bünyesel niteliklidir. Bununla beraber taşlardaki tuzlanmalar mevsimsel etkilerle (yağışlı dönemler) artan (kuruma ile yaz aylarındaki kristalizasyon) veya azalan oranda (cephe yağışları ile yıkanan sonbahar/kış aylarında) yıl içinde değişimler gösterebilmektedir.

İnce kesit optik mikroskop analizi ile petrografik yönden incelenen taş örnekler 5 farklı kayaç türünde; bazalt, andezit, traverten, lamprofir ve mermer olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 6a ve Şekil 7b). Yapısal nitelik taşıyan bazaltlar da 2 farklı alt türde (olivin ve alkali bazalt) tanımlanmışlardır (Şekil 7b). Bazalt ve andezit örnekler farklı boyutlarda bozulmalar (opasitleşme gibi) göstermektedirler (Tablo 6a). Yapıtaşları olan andezitler yakın çevre formasyonuna ait kayaç grubundandır (Kibici, Dinç,

Uçar, 2012). Cephe duvarlarında kullanılmış ve örneklenen mermerler ise devşirme özelliği taşıyan daha önceki dönemlere (antik dönemlere) ait taşlar olarak Afyon çevresindeki mermer yataklarından temin edilmiş olabilir. Mermerlerin köken analizi ise daha uzun erimli akademik bir başka çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Tuğla Örnekler

Afyon Ulu Cami duvar örgü dolgularını ve pencere kemerleri ile minare duvar örgüsünü oluşturan tuğla örneklerine fiziksel testler uygulanmıştır. Tuğla örneklerin fiziksel test verileri değerlendirildiğinde, doygun/kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla 2,20-2,33 g/cm³ (ort. 2,30 g/cm³) / 1,46-1,67 g/cm³ (ort. 1,57 g/cm³) arasındaki, toplam su emme kapasiteleri %17,18-23,00 (ort. %20,29) arasındaki ve toplam gözeneklilikleri de %28,61-33,64 (ort. %31,71) arasındaki değerlerdedir (Tablo 3a). Tuğla örnekler düşük değerlerde birim hacim ağırlığı (1,80 g/cm³'ün altında BHA ile) ve gözeneklilik (%30'un üzerinde gözeneklilikleri ile) verileriyle düşük düzeyde dayanıma sahiptirler (Tablo 3a) (Özışık, 2000). Örnek seti içinde minare merdiveninden örneklenen AUC-B4 örneği dayanımı en yüksek tuğla örnektir.

Tuğla örneklerin tuz içeriğini klorür (3 mg/L) ve sülfat (20 mg/L) ile nitrit (0,10 ve 0,25 mg/L) ve karbonat (112 ve 192 mg/L) türlerinde tuzlar oluşturmaktadır (Tablo 4a). Bazik ortamdaki örneklerin pH'ları 8,33-8,60 (ort. 8,52) arasında, toplam tuz içerikleri de %0,58-3,30 (ort. %1,91) arasında değişim göstermektedir (Tablo 4a). Örneklerde nitrat ve fosfat türü tuzlanmalar belirlenmemiştir (Tablo 4a). Tuğla örnekler farklı oranlarda tuzlanmalar içermektedir. Gözenekli yapıdaki tuğlalar nemli ortam şartlarında tuzlanmanın tahripkar etkisini taşlara oranla daha yüksek oranda taşıyan yapısal malzemelerdir.

Tuğla örneklerin petrografik özellikleri ince kesit optik mikroskop analizi ile belirlenmiştir. Örnekler 3 farklı grup altında sınıflandırılmıştır (Tablo 6c). Örneklerin boşluklu yapısı (gözenekliliği), karbonat içeriği ve kil yapısı göz önüne alınarak 800-900°C arasında pişirim uygulanarak üretilmiştir (Tablo 6c ve Şekil 7a). Örneklerin matriks boşluk oranı %8-18 arasındaki değerlerdedir (Tablo 6c). Örneklerin agrega içeriğini iri (>1,0 mm) ve orta (0,5-1,0 mm) boyutta agregalar oluşturmaktadır (Şekil 7a). Tuğlaların agrega içeriği (%35-45 arasında MTA) heterojen dağılımlı, kırıklı/köşeli yapıdadır (Şekil 7a). Örneklerin kayaç kökenlerini andezit, andezitik bazalt ve alkali bazalt türü kayaçların ayrışmasını yansıtan agregaların oluşturduğu anlaşılmıştır (Tablo 6c ve Şekil 7a).

Tuğla örneklerden AUC-B1, AUC- B2 ve AUC-B3 örneklerinin kimyasal bileşimi PED-XRF analizi ile belirlenmiştir. Örneklerin kimyasal içeriğini azalan oranda SiO_2 (ort. %58,13), Al_2O_3 (ort. %13,35), CaO (ort. %10,70), Fe_2O_3 (ort. %5,33), LOI (toplam karbonat; ort. %4,10), K_2O (ort. %3,06) ve MgO (ort. %1,83) oluşturmaktadır (Tablo 7a). Tuğla örneklerden güney cephe pencere üzeri kemerden örneklenen AUC-B2 örneği diğer tuğla örneklerden farklı olarak daha yüksek oranda sülfat (çimento içerikli derz harcından kaynaklanan) ve CaO (derz harcının ayrışması ile tuğlaya taşınan) içeriğe sahiptir (Tablo 7a). Tuğla örneklerin dayanım özellikleri PED-XRF analizi ile belirlenen kimyasal içerikleri ile birlikte değerlendirildiğinde; dayanımı yüksek örnekler için yapılarında %30'un üzerindeki oranda SiO_2 , %10'dan düşük oranda CaO ve %8'in altındaki oranda Fe_2O_3 içermelidir (Özışık, 2000). İncelenen tuğla örneklerin SiO_2 ve Fe_2O_3 içerikleri anılan oranlarla uyumlu, CaO içerikleri ise anılan orana yakındır (Tablo 7a). Buradan hareketle tuğla örneklerin dayanımlarının ortalama/yüksek kalitede bir üretimi yansıtır nitelikte olduğunu söylemek mümkündür.

Harç ve Sıva Örnekler

Afyon Ulu Cami ve minaresinin duvar örgülerini oluşturan taş ve tuğlaların derzlerine ait harçlar ile cami harim duvarlarını örten onarım sıvalarının asidik agrega/bağlayıcı analizi ile toplam bağlayıcı/agrega oranları belirlenmiştir. Harç örneklerin toplam agrega (karbonat içermeyen) içerikleri %6,95-88,70 (ort. %65,82) arasındaki değerlerde, sıva örneklerin ise %69,19 ve %85,93 (ort. %77,56) değerlerindedir (Tablo 5a ve Şekil 5a). Sadece toplam agrega/bağlayıcı oranları açısından yapılacak bir değerlendirme ile özgün/onarım niteliği taşıyan harç ve sıva örneklerin yüksek oranlarda toplam agrega içeriklerinin bulunduğu belirlenmiştir (Tablo 5a). Harç ve sıva örneklerin toplam agrega oranları en genel anlamda geleneksel/standart uygulamalarda görülen 2:1 (agrega:bağlayıcı) karışım oranıyla uyum göstermektedir. Analiz uygulanan harçlar sıvalarla benzer agrega/bağlayıcı içeriklerine sahiptirler. Bunun nedeni örneklerin hammadde içerikleri ile ilgili olmalıdır.

Afyon Ulu Cami taş ve tuğlalarının derzlerinden örneklenerek agrega/bağlayıcı analizine tabi tutulan harçlar ile sıvaların asidik işlem sonrası elde edilen agregaları, sistematik elemelerden geçirilerek granülometrik ayrımları $<63 \mu\text{m} - 1000 < \mu\text{m}$ elek aralığında 6 farklı bölümlenme ile yapılmıştır (Tablo 5a ve Şekil 5b). Harç örneklerde kil/silt ($<63 \mu\text{m} \text{Ø}$) boyutlu agrega oranı %0,97-2,80 (ort. %1,68) arasındaki değerlerde, sıva örneklerin ise %1,42 ve %1,67 (ort. %1,55) değerlerindedir (Tablo

5a). Harçların çok iri kum boyutlu ($>1000 \mu\text{m}$ Ø) agrega içerikleri %28,68-62,34 (ort. %48,03) arasındaki değerlerde, sıvaların ise %13,98 ve %26,91 (ort. %20,45) değerlerindedir (Tablo 5a). Analiz edilen örneklerin silt/kum boyutlu agrega içeriğini de toplam kil/silt ve çok iri kum dışındaki agregalar (%100'e tamamlanan oranda) oluşturmaktadır (Şekil 5b). Harç örneklerin ana agrega içeriğini iri/çok iri kum boyutlarındaki ($500-1000 \mu\text{m}$ ve $>1000 \mu\text{m}$ Ø), sıva örneklerin ana agrega içeriğini ise ortalama/iri/çok iri kum boyutlarındaki ($250-1000 \mu\text{m}$ ve $>1000 \mu\text{m}$ Ø) agregalar oluşturmaktadır (Wentworth, 1922). Harç ve sıva örnekler birlikte değerlendirildiğinde ise, harç ve sıva örneklerin agrega içeriklerinin benzerlik taşıdığı görülmektedir (Tablo 5a,5c ve Şekil 5b).

Afyon Ulu Cami'ye ait harç ve sıva örnekler asidik agrega/bağlayıcı analizinden geçirildikten sonra elde edilen agregaların içeriği ve tanecik türleri binoküler mikroskop altında incelenmiştir. Özgün harç ve sıvaların içeriğine ait agregaların fiziksel yapılarının yoğunlukla yuvarlanmış, iri taneli bir yapı sergilediği anlaşılmıştır (Şekil 6).

Afyon Ulu Cami'ye ait harç ve sıva örnekler ince kesit optik mikroskop analizi ile petrografik yönden detaylı olarak incelenmiştir. Agregabağlayıcı bileşimleri incelenen harç örnekler 3, sıva katı örnekleri de 2 grup altında sınıflandırılmıştır (Tablo 6d,6e ve Şekil 7a,7b). Özgün nitelik taşıyan harç örneklerin (AUC-H3 ve AUC-H6) bağlayıcı içeriğini kireç/kil karışımı bağlayıcılar oluştururken, onarım harç ve sıvalarında ise kireç/kil/çimento karışımı bağlayıcıların oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 6d,6e ve Şekil 7a,7b). Özgün ya da onarım niteliğinden bağımsız olarak harçlarda optik mikroskop analizi ile belirlenen toplam matriks agrega içeriği %25-85 arasındaki değerlerde, sıvalarda ise %75 ve %85 değerlerindedir (Tablo 6d,6e ve Şekil 7a,7b).

Afyon Ulu Cami'ye ait harç ve sıva örneklerin kimyasal bileşimlerine PED-XRF analizi ile ulaşılmıştır (Tablo 7b). Harç örneklerin ana ($>1\%$) element içeriğini azalan oranda CaO (ort. %35,18), LOI (toplam karbonat, ort. %34,88), SiO₂ (ort. %19,43), Al₂O₃ (ort. %4,63), Fe₂O₃ (ort. %2,48) ve K₂O (ort. %1,75) oluşturmaktadır (Tablo 7b). Sıva katı örneklerinin ana ($>1\%$) element içeriğini de azalan oranda CaO (%28,19 ve %45,07), LOI (toplam karbonat, %37,82 ve %40,83), SiO₂ (%9,48 ve %20,97), Al₂O₃ (%2,06 ve %4,79), Fe₂O₃ (%0,84 ve %3,93) ve K₂O (%0,66 ve %1,75) oluşturmaktadır (Tablo 7b). İnce kesit optik mikroskop analizini destekler nitelikte özgün harç örneklerin petrografik yapılarında görülen benzerlikler, örneklerin kimyasal içeriklerinde de izlenebilmektedir. Harç örneklerden AUC-H6 ve AUC-H9 ile AUC-H2 ve AUC-H8 örneklerinin

kimyasal içeriği ana/iz/eser elementler üzerinden değerlendirildiğinde nicel olarak birbirlerine oldukça benzeşmektedir. Sıva katı örnekler ise elementel içerikleriyle birbirinden oldukça farklı kimyasal içeriğe sahiptirler (Tablo 7b).

Harç ve sıva örneklerinin PED-XRF analizi ile elde edilen verileri üzerinden Cementation Index (CI) değerlerine ulaşılmıştır (Tablo 8). Harç ve sıvaların dayanım özellikleri ve kireç türleri hakkında fikir veren bu veriler, örneklerin farklı kireç türlerinde hidrolilik özellikte (ZHK, OHK, HK ve DÇ/Ç) olduğunu göstermiştir. Harç örneklerin CI değerleri 0,45-4,63 (ort. 1,74) arasındaki değerlerde, sıva örneklerin CI değerleri de 0,65 ve 2,32 değerlerindedir (Tablo 8). Harç ve sıva örneklerin CI verileri örneklerin dayanımları hakkında da veriler sağlamaktadır. Ayrıca CI verileri yüksek örneklerin hidrolilik ya da dayanım özellikleri de yüksektir. İncelenen harç (AUC-H8 dışında) ve sıvalar ortalama ve yüksek değerlerde CI verilerine yani yüksek dayanımlara sahiptirler.

Toprak Örnek

Afyon Ulu Cami güney duvar örgü taban seviyesinden taş dolgulardan örneklenen toprak örneğinin içerdiği suda çözünen toplam tuz miktarları ve tuz (anyon) türleri ile pH değerleri spot tuz testleri ve kondaktometrik analizlerle belirlenmiştir. Toprak örneğinin pH değerleri zayıf bazik ortam şartlarını yansıtır şekilde 8,17, toplam tuz içeriği de %3,10 değerindedir (Tablo 4b). Toprak örnek oldukça yüksek oranda suda çözünen toplam tuz içeriğine sahiptir (toprakta >%0,15 yüksek tuzlanmayı işaret etmektedir; Dursun vd., 2008).

Toprak örnek içerdiği tuz türleri açısından değerlendirildiğinde; örneğin düşük miktarda klorür (3 mg/L) ve nitrit (0,10 mg/L) ile ortalama miktarda karbonat (192 mg/L) türlerinde tuzlanmalar içerdiği belirlenmiştir (Tablo 4b). Örnekte nitrat, fosfat ve sülfat türü tuz içeriği belirlenmemiştir. Toprak, bir rezervuar olarak yapısal malzemelere (taş ve tuğlalara) kapiler etki ile içeriğindeki tuzları doğrudan iletebilmektedir. Buradan hareketle taş ve tuğla örneklerde belirlenen yüksek tuz içeriklerinin bir nedenini de caminin üzerinde bulunduğu ya da malzeme ile ilişkili olan toprak rezervuarın oluşturduğu anlaşılmaktadır.

İnce kesit optik mikroskop analizi ile petrografik yönden incelenen toprak örnek yakın çevre kayaç (andezit) formasyonunu yansıtmaktadır (Tablo 6b ve Şekil 7a) (Bilici vd., 2012). Toprak örneğinin kimyasal yapısı PED-XRF analizi ile belirlenmiştir (Tablo 7a). Toprağın kimyasal bileşimini

azalan oranda SiO_2 (%60,21), CaO (%12,75), Al_2O_3 (%11,69), Fe_2O_3 (%4,89), LOI (toplam karbonat; %4,21), K_2O (%3,39) ve MgO (%1,34) oluşturmaktadır (Tablo 7a).

Pigment Örnekler

Afyon Ulu Cami ahşap sütun, sütun başlıkları, yastık, hatıl ve panelleri üzerinde yer alan kalemişi desenlerin/süslemelerin pigmentleri renkleri kromametrik analiz ile tanımlanmıştır (Tablo 9). Kırmızı, açık/koyu yeşil, sarı, kahverengi ve siyah ile sarı yıldız renklerdeki pigment örneklerinin (L), (a) ve (b) renk kodu değerleri ile renkleri tanımlanmıştır (Tablo 9).

Pigment örneklerin element içerikleri Mikro-XRF analizi ile belirlenmiştir (Tablo 10a). Örneklerin renklerini oluşturan mineraller kullanılan hammadde kaynağını da işaret etmektedirler. Pigmentlerde kırmızı rengin kaynağını demir (Fe), yeşil rengin de bakır (Cu) oluşturmaktadır. Örneklerin renk bileşimlerini başta mangan (Mn), bakır (Cu) ve demir (Fe) olmak üzere gümüş (Ag), kalay (Sn), antimon (Sb), titanyum (Ti), vanadyum (V), neobyum (Nb), molibden (Mo) ve kurşun (Pb) oluşturmaktadır (Tablo 10a). Demir ve bakır genel olarak örneklerde (AUC-P3b, AUC-P4, AUC-P7c ve AUC-P7d) renklendirici özellik taşıyan elementlerdir. Analiz edilen örneklerden kahverengi AUC-P3b pigment örneği diğer örneklerden farklı bir şekilde zengin elementel içeriğe sahiptir. Örneğin renk içeriğini demir ve bakırın yanında mangan da oluşturmaktadır (Tablo 10a). AUC-P3b, AUC-P7c ve AUC-P7d örneklerinin içeriğinde oldukça yüksek oranda (%3,01'den %95,26'ya varan) kurşun (Pb) bulunmaktadır. İncelenen pigmentlerden AUC-P3b, AUC-P7c ve AUC-P7d örneklerinin kimyasal bileşimleri birbirlerine oldukça benzerdir. Örneklerin kimyasal yapılarındaki çok çeşitli element içerikleri ve çağdaş dönemde parlaklığı artırıcı rolleriyle eklenen kurşun ve titanyum gibi elementler pigmentlerin yakın dönem onarımları olabileceğini düşündürmektedir.

Metal Örnekler

Afyon Ulu Cami'de ahşap sütun üzerinden örneklenen çivi (mıh) örneklerinin (AUC-M1 ve AUC-M2) kimyasal bileşimleri noktasal Mikro-XRF analizi ile belirlenmiştir (Tablo 10b). Örneklerin ana yapısını %97,26 ve %96,84 oranlarında demir (Fe) oluşturmaktadır. Bununla beraber AUC-M1 örneğinin kimyasal yapısında belirgin oranlarda titanyum (Ti), kobalt (Co), nikel (Ni), zirkonyum (Zr) ve kurşun (Pb) bulunmaktadır (Tablo 10b). AUC-M2 örneğinde de kobalt (Co), nikel (Ni) ve bakır (Cu)

da belirgin oranda belirlenmiştir (Tablo 10b). Bu örneklerin nispeten benzer kimyasal yapıları ile aynı atölye üretimi olma ihtimalleri yüksektir.

SONUÇLAR

Afyonkarahisar'ın tarihi kent merkezinde bulunan Ulu Cami'ye ait yapısal ve dekoratif malzemelerden oluşan örnekler (taş, tuğla, harç, sıva, toprak, pigment ve metal), çeşitli analitik metotlar kullanılarak arkeometrik yönden incelenmiş, tanımlanmış, sınıflandırılmış ve malzeme açısından belgelenmiştir. Malzeme analizi çalışmaları ile caminin hem yapısal yönden tanımlanması ve belgelenmesi, hem de restorasyon uygulamalarında seçilecek eşdeğer malzeme seçimi açısından da önemli bir altlık oluşturulması hedeflenmiştir.

Afyon Ulu Cami'nin inşasında kullanılmış olan yapısal taşlar yoğunlukla volkanik kökenli andezittir. Caminin cephelerinde ve minare kaidesinde kullanılan yapısal nitelikteki taşlar yakın çevre yerel kayaç formasyonunu doğrudan yansıtmaktadır. Taş onarımlarında kullanılacak andezitler özgün taşlarla uyumlu kayaç yapısında yerel kayaç formasyonlarından temin edilmelidir. Restorasyon uygulamaları öncesinde ve sırasında kullanılacak taşların onarım için uygun olup olmadıklarının da petrografik yönden incelenmesi gerekmektedir.

Cami ve minareden örneklenen tuğlalar özgün nitelik taşımaktadır. Tuğla onarımları için özgün doku ve yapıda özel üretim tuğlaların kullanımı mümkündür.

Caminin oldukça sınırlı bölgesinden örneklenebilen özgün taş/tuğla derz ve moloz dolgu harçları (AUC-H3 ve AUC-H6) kireç ve kireç/kil karışımı bağlayıcı içeriklerine sahiptir. Caminin özgün sıvaları yokolmuş, yakın dönem onarımlarından sonra yerini tümüyle çimento içerikli sıvalara bırakmıştır. Onarım uygulamalarında öncelikle özgün harçla uyumlu, doğal kireç içeren harç ve sıvaların tercih edilmesi önerilmektedir. Özgün harçların bağlayıcı içeriğinde belirlenmeyen tuğla kırığı kullanımı, caminin yakın çevresindeki yoğun nemlenmenin etkisini azaltmak için tercihen önerilmektedir. Önerilen kireç harçları, söndürülmüş ve dinlendirilmiş kireçten oluşan (doğal) harçlarıdır. Bu tür harçlar mukavemet açısından orta ve uzun vadede yapılar için daha başarılı dayanım özelliğine sahiptirler. Onarımlarda bu amaç için özel olarak üretilmiş hidrolik kireç kullanımı da mümkündür. Onarım harç ve sıva içeriklerinin hiçbir aşamasında çimento içerikli malzeme kullanılması önerilmemektedir. Onarım aşamasında, önerilen harç ve sıva içeriklerinin özgün malzeme ile uyumlu

olup olmadığının anlaşılması için de öncelikle deneme uygulamalarının yapılması ve izlenmesi gereklidir.

Caminin ahşap unsurları üzerinde yeralan pigment örneklerin renk bileşimlerini başta mangan, bakır ve demir olmak üzere gümüş, kalay, antimon, titanyum, vanadyum, neobyum, molibden ve kurşun oluşturmaktadır. Örneklerin kimyasal yapılarındaki çok çeşitli element içerikleri ve çağdaş dönemde parlaklığı artırıcı rolleriyle eklenen kurşun ve titanyum gibi elementler pigmentlerin yakın dönem onarımları olabileceğini düşündürmektedir.

Çivilerin ana yapısını %97,26 ve %96,84 oranlarında demir (Fe) oluşturmaktadır.

TEŞEKKÜR

Afyon Ulu Cami'nin malzeme açısından belgelenmesi ve araştırılmasına yönelik çalışmalar; T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün ilgili bölge koruma kurulları sorumluluğunda, "Afyon Ulu Cami Rölöve Restitüsyon Restorasyon ve Çevre Düzenleme Projeleri İş'i" kapsamında müellif firma Odabaşı Mimarlık Restorasyon Ltd. Şti.'nin Gazi Üniversitesi Teknopark, Ankara İleri Teknoloji Yatırımları A.Ş. (AITY)'ne 01.11.2018 tarihinde yaptığı resmi başvuru ile başlatılmıştır. Afyon Ulu Cami'ye ait malzeme grubu; Gazi Üniversitesi, Teknopark, Ankara İleri Teknoloji Yatırımları A.Ş. (AITY) bünyesinde Doç. Dr. Ali Akın AKYOL tarafından yürütülen "Kültürel Mirasın Arkeometrik Yöntemlerle Belgelenmesi ve Araştırılması AR-GE Projesi" kapsamında "Afyon Ulu Cami Yapısal ve Dekoratif Malzeme Analizi" adı altında Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB) ile Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Laboratuvarları'nda incelenmiştir. Analizlerin yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Kıymet DENİZ (YEBİM) ve proje asistanı Gülşen ALBUZ GEREN (MAKLAB)'e yazarlar teşekkür ederler.

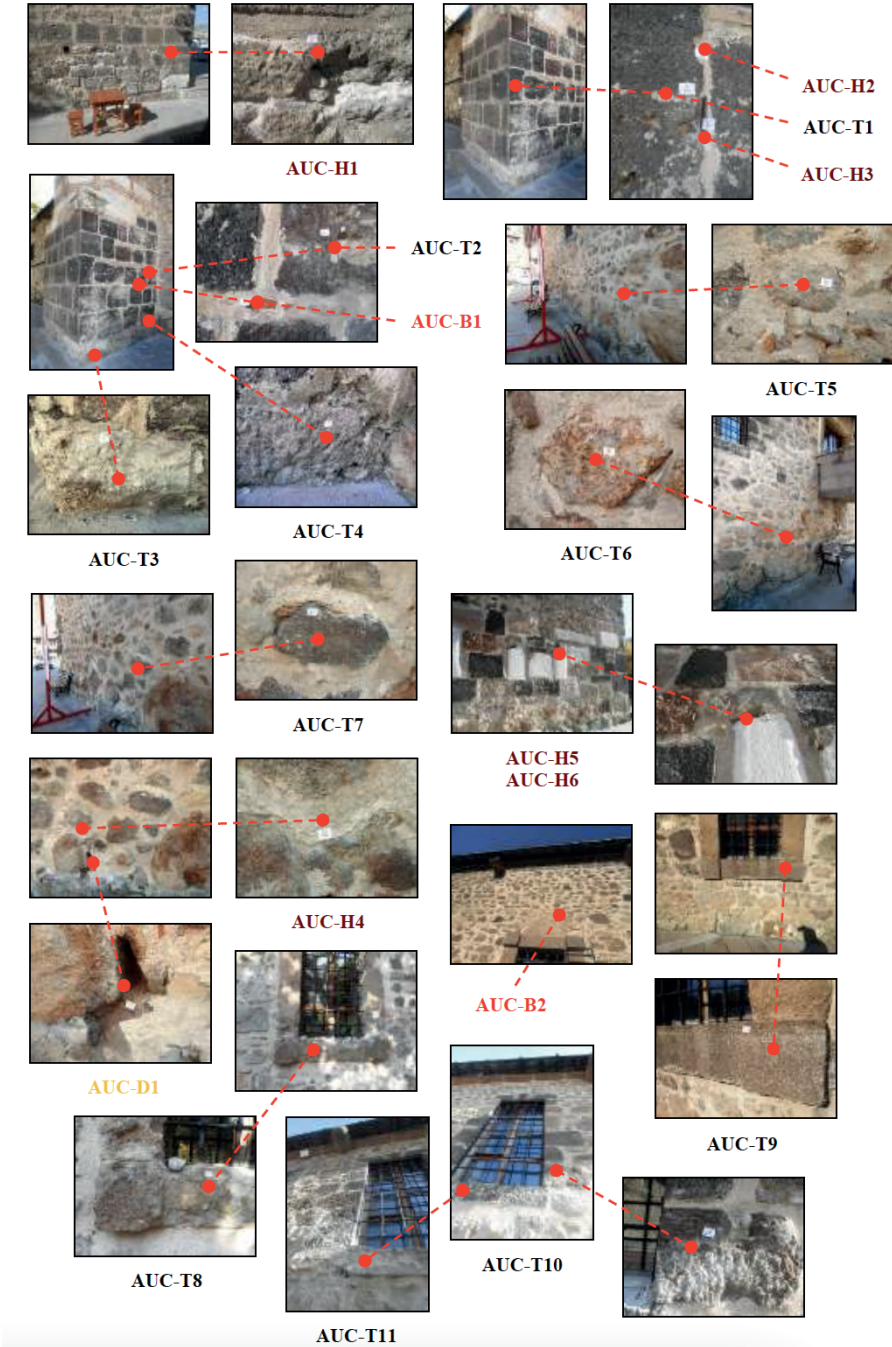
| Grup Kodu | Yapısal Malzeme Grubu Açıklamalar | Örnek Sayısı |
|-----------|-----------------------------------|--------------|
| AUC-T* | Taş Örnekler | 13 |
| AUC-B | Tuğla Örnekler | 4 |
| AUC-H | Harç Örnekler | 9 |
| AUC-S | Sıva/Sıva Katı Örnekleri | 2 |
| AUC-D | Toprak Örnek | 1 |
| AUC-P | Pigment Örnekler | 18 |
| AUC-M | Metal Örnekler | 2 |

(*) Kodlama Ön Ek : AUC = Afyon Ulu Cami

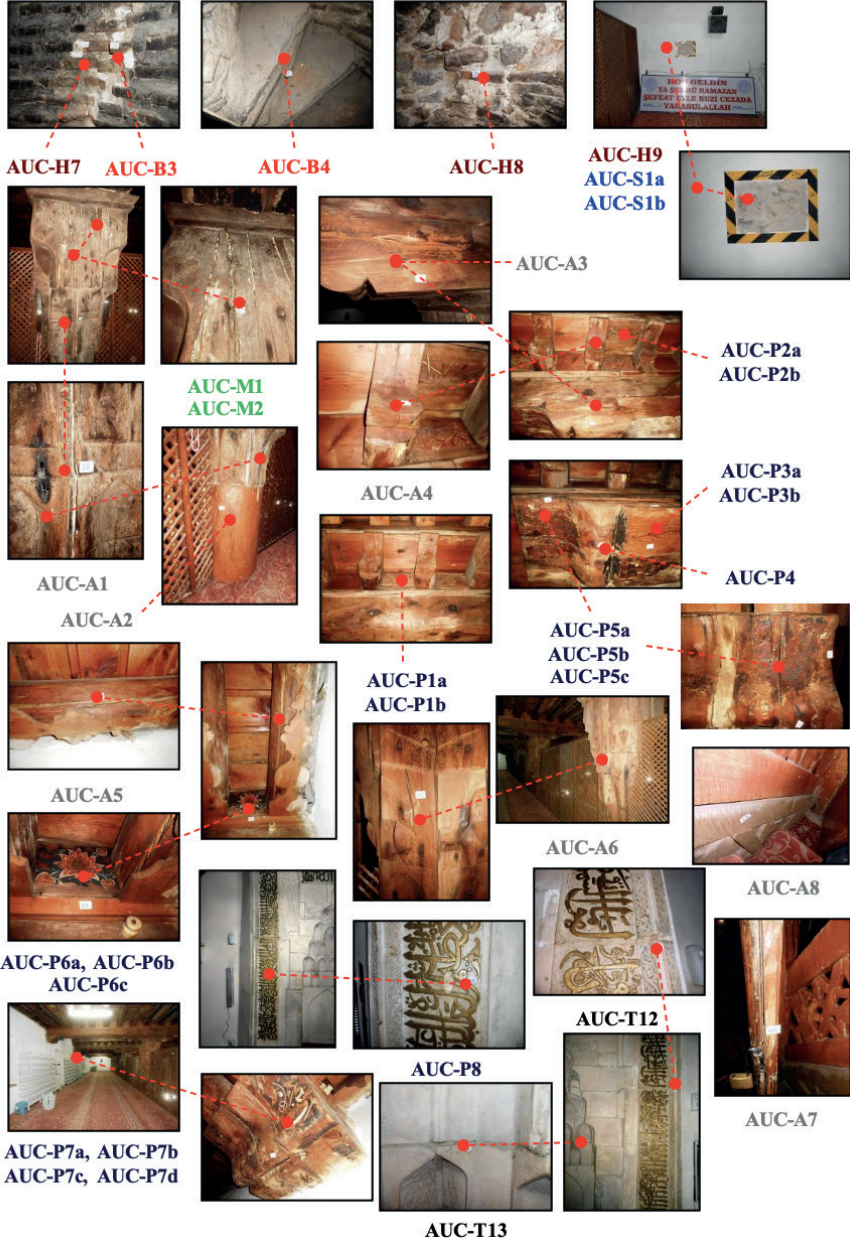
Tablo 1. Afyon Ulu Cami'ye ait yapısal ve dekoratif malzeme grubu



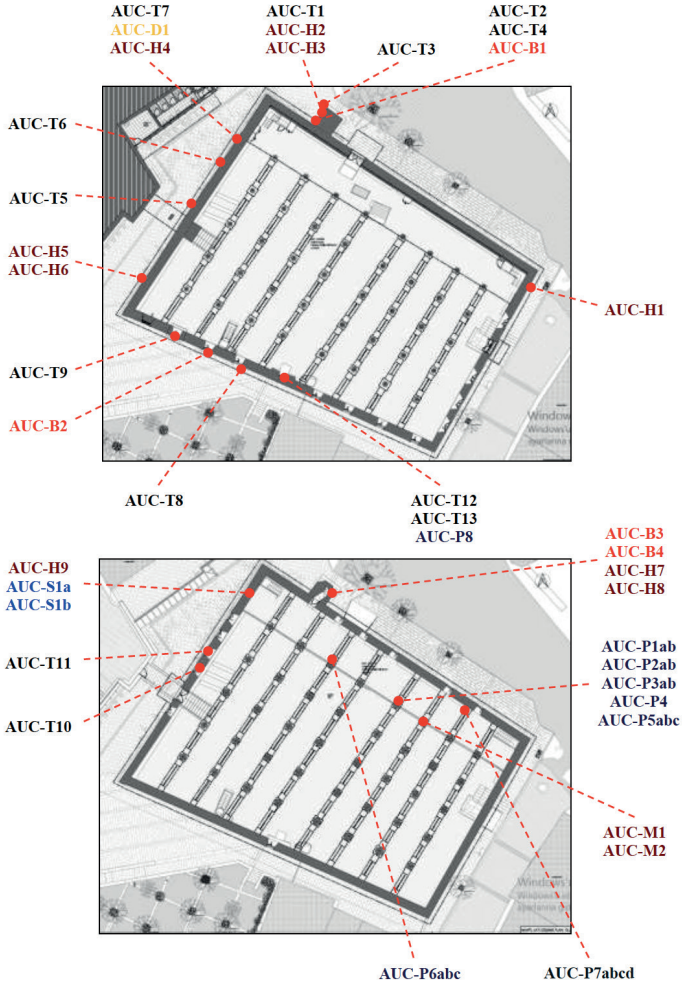
Şekil 1. Afyon Ulu Cami'nin güney batı cephesinden (üstte) ve hariminden görünüm



Şekil 2. Afyon Ulu Cami örneklemeleri (04.11.2018)



Şekil 2. Afyon Ulu Cami örnekleme (04.11.2018)



Şekil 3. Afyon Ulu Cami örnekleme noktaları (Plan: Odabaşı Mimarlık Restorasyon Ltd. Şti.)

| Örnekler | BHA-Doygun (g/cm ³) | BHA-Kuru (g/cm ³) | SEK (%) | P (%) | Tür |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------|---------|-------|-----------|
| AUC-T1 | 2,57 | 2,46 | 1,66 | 4,08 | Andezit |
| AUC-T2 | 2,47 | 2,38 | 1,52 | 3,62 | Andezit |
| AUC-T3 | 2,66 | 2,35 | 4,84 | 11,40 | Kireçtaşı |
| AUC-T4 | 2,54 | 2,27 | 4,56 | 10,38 | Andezit |
| AUC-T5 | 2,26 | 2,18 | 1,58 | 3,46 | Tüf |
| AUC-T6 | 2,46 | 2,32 | 2,49 | 5,78 | Andezit |
| AUC-T7 | 2,70 | 2,65 | 0,81 | 2,14 | Andezit |
| AUC-T9 | 2,58 | 2,34 | 4,06 | 9,49 | Andezit |
| AUC-T10 | 2,62 | 2,42 | 3,12 | 7,54 | Andezit |
| AUC-T11 | 2,63 | 2,55 | 1,19 | 3,05 | Andezit |
| And. Ort. | 2,57 | 2,42 | 2,43 | 5,76 | And. Ort. |

Tablo 3a. Afyon Ulu Cami taş örneklerinde temel fiziksel testler

| Örnekler | BHA-Doygun (g/cm ³) | BHA-Kuru (g/cm ³) | SEK (%) | P (%) |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| AUC-B1 | 2,33 | 1,60 | 19,70 | 31,50 |
| AUC-B2 | 2,33 | 1,56 | 21,28 | 33,10 |
| AUC-B3 | 2,20 | 1,46 | 23,00 | 33,64 |
| AUC-B4 | 2,33 | 1,67 | 17,18 | 28,61 |
| Ortalama | 2,30 | 1,57 | 20,29 | 31,71 |

Tablo 3b. Afyon Ulu Cami tuğla örneklerinde temel fiziksel testler

| Örnekler | Nitrit (NO ₂ ⁻) | Nitrat (NO ₃ ⁻) | Fosfat (PO ₄ ³⁻) | Sülfat (SO ₄ ²⁻) | Klorür (Cl ⁻) | Karbonat (CO ₃ ²⁻) | pH | SS (%) |
|-----------------|--|--|---|---|---------------------------|---|-------------|-------------|
| AUC-T1 | 0,10* | -* | -* | 20* | 3* | 400* | 8,20** | 0,55** |
| AUC-T2 | 0,25 | 10 | 0,20 | 20 | 3 | 400 | 8,16 | 2,81 |
| AUC-T3 | 0,25 | - | 1,00 | 20 | 3 | 400 | 8,21 | 0,60 |
| AUC-T4 | 0,10 | - | 0,40 | 20 | 3 | 400 | 8,03 | 1,40 |
| AUC-T5 | 0,25 | - | - | 20 | 6 | 112 | 8,59 | 1,16 |
| AUC-T6 | 0,25 | - | - | - | 3 | 112 | 8,11 | 0,94 |
| AUC-T7 | 0,10 | - | - | 20 | 3 | 192 | 8,29 | 1,20 |
| AUC-T9 | 0,10 | - | - | - | 3 | 192 | 8,28 | 0,75 |
| AUC-T10 | 0,10 | - | - | 20 | 6 | 112 | 8,50 | 1,24 |
| AUC-T11 | 0,10 | - | - | 20 | 6 | 192 | 8,14 | 2,44 |
| Ortalama | | | | | | | 8,25 | 1,31 |

Tablo 4a. Afyon Ulu Cami taş örneklerinde tuz türü, pH ve toplam tuz (SS) testleri

| Örnekler | Nitrit (NO ₂ ⁻) | Nitrat (NO ₃ ⁻) | Fosfat (PO ₄ ³⁻) | Sülfat (SO ₄ ²⁻) | Klorür (Cl ⁻) | Karbonat (CO ₃ ²⁻) | pH | SS (%) |
|-------------------|--|--|---|---|---------------------------|---|-------------|-------------|
| AUC-B1 | 0,25* | -* | -* | 20* | 3* | 112* | 8,60** | 1,16** |
| AUC-B2 | 0,10 | - | - | - | 3 | 112 | 8,59 | 0,58 |
| AUC-B3 | 0,25 | - | - | 20 | 3 | 192 | 8,33 | 3,30 |
| AUC-B4 | 0,10 | - | - | - | 3 | 192 | 8,54 | 2,59 |
| AUC-D1 | 0,10 | - | - | - | 3 | 192 | 8,17 | 3,10 |
| Tuğla Ort. | | | | | | | 8,52 | 1,91 |

(*) Testlerin Hassasiyeti; (NO₂⁻):0,10 mg/L, (NO₃⁻):10 mg/L, (PO₄³⁻):0,10 mg/L, (SO₄²⁻):20 mg/L, (Cl⁻):3 mg/L, (CO₃²⁻):4 mg/L

(**) 100 mL suda

Tablo 4b. Afyon Ulu Cami tuğla ve toprak örneklerinde tuz türü, pH ve toplam tuz (SS) testleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Asidik agrega & bağlayıcı analizi; (a) Asidik işlem (%5 HCl), (b) Süzme / yıkama ve (c) Kurutma işlemleri (MAKLAB)

| Örnekler | TB (%)* | TA (%)* | <63 µm | >63 µm | >125 µm | >250 µm | >500 µm | >1000 µm |
|-----------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
| AUC-H1 | 32,32 | 67,68 | 2,50 | 1,63 | 6,09 | 18,05 | 37,47 | 34,26 |
| AUC-H2 | 48,77 | 51,23 | 1,40 | 2,16 | 6,96 | 25,18 | 35,62 | 28,68 |
| AUC-H3 | 93,05 | 6,95 | 1,69 | 2,00 | 8,60 | 20,00 | 22,07 | 45,63 |
| AUC-H4 | 23,00 | 77,00 | 1,07 | 1,80 | 6,43 | 18,54 | 36,24 | 35,93 |
| AUC-H5 | 11,30 | 88,70 | 1,06 | 1,74 | 4,10 | 12,41 | 22,33 | 58,36 |
| AUC-H6 | 15,94 | 84,06 | 2,80 | 3,83 | 7,01 | 9,97 | 14,05 | 62,34 |
| AUC-H7 | 34,44 | 65,56 | 1,63 | 2,63 | 7,22 | 13,87 | 21,17 | 53,48 |
| AUC-H8 | 33,96 | 66,04 | 1,99 | 2,75 | 7,24 | 13,53 | 20,00 | 54,50 |
| AUC-H9 | 14,87 | 85,13 | 0,97 | 1,11 | 4,15 | 15,44 | 19,24 | 59,10 |
| AUC-S1a | 30,81 | 69,19 | 1,42 | 2,04 | 7,78 | 22,54 | 39,31 | 26,91 |
| AUC-S1b | 14,07 | 85,93 | 1,67 | 2,80 | 12,09 | 38,61 | 30,85 | 13,98 |
| Harç Ort. | 34,18 | 65,82 | 1,68 | 2,18 | 6,42 | 16,33 | 25,36 | 48,03 |
| Sıva Ort. | 22,44 | 77,56 | 1,55 | 2,42 | 9,93 | 30,58 | 35,08 | 20,45 |

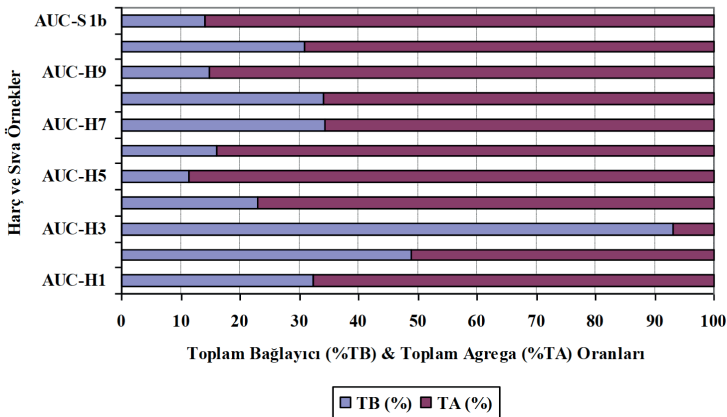
(*) TA: Toplam agrega oranı, TB: Toplam bağlayıcı oranı

Tablo 5a. Afyon Ulu Cami harç ve sıvaları agrega/bağlayıcı ve granülometrik analizleri

| Tane Boyutu (µm) | Wentworth Sınıflandırması | Tane Boyutu (µm) | Wentworth Sınıflandırması |
|--------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| (256 - 4096) x 10 ³ | İri kaya | 125 - 250 | İnce kum |
| (64 - 256) x 10 ³ | Kaya parçası | 62,5 - 125 | Çok ince kum |
| (4 - 64) x 10 ³ | Çakıl | 31 - 62,5 | İri silt |
| 2000 - 4000 | Küçük taş parçası | 15,6 - 31 | Ortalama silt |
| 1000 - 2000 | Çok iri kum | 7,8 - 15,6 | İnce silt |
| 500 - 1000 | İri kum | 3,9 - 7,8 | Çok ince silt |
| 250 - 500 | Ortalama kum | 0,06 - 3,9 | Kil |

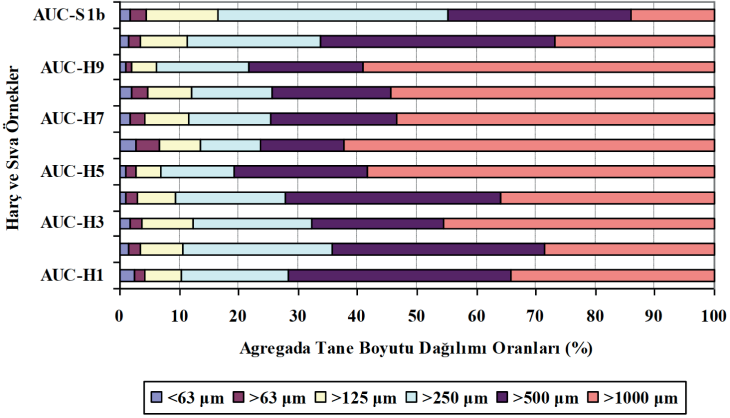
Tablo 5b. Harç ve sıva örnekleri agregalarında Udden & Wentworth tane boyutu sınıflandırması

Afyon Ulu Cami Harç ve Sıva Örneklerinde
Asidik Agrega & Bağlayıcı Analizi



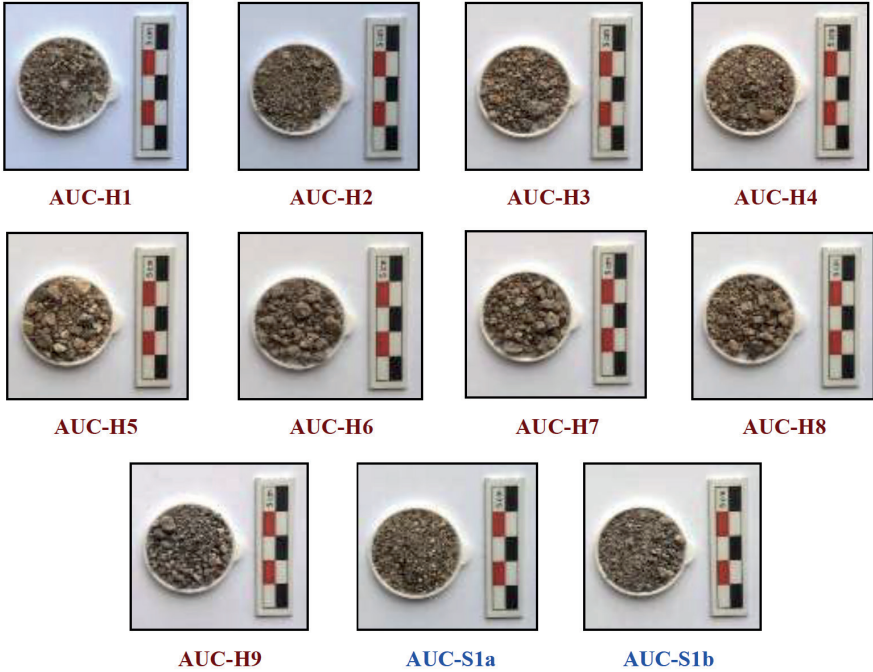
(a)

Afyon Ulu Cami Harç ve Sıva Örnekleri
Agregalarında Granülometrik Analiz



(b)

Şekil 5. Afyon Ulu Cami harç ve sıva örneklerinde (a) toplam agrega/bağlayıcı oranları dağılımı, (b) örnekler sistematik eleme ile belirlenen agrega boyutu dağılımı (Granülometrik Analiz)



Şekil 6. Afyon Ulu Cami harç ve sıvaları asidik agrega/bağlayıcı analizi ile elde edilen agregalar

| Taş Örnekler | Kayaç Türü | Doku | Sertlik (Mohs) | Kayaç ve Mineraller* |
|--|----------------|------------------------|----------------|--------------------------------------|
| AUC-T1 | Olivin Bazalt | İntersertal | 6 – 6,5 | Ov,Py,Lb,Kr,Mr,Op |
| AUC-T2 AUC-T5 | Alkalen Bazalt | Hiyalopilitik Porfirik | ~6 | Py,Ol(opasitleşmiş) |
| AUC-T3 | Traverten | - | 2,5 – 3 | C,Lm,Ol |
| AUC-T4 AUC-T6 AUC-T7 AUC-T8 AUC-T9 | Andezit | Hiyalopilitik Porfirik | 5,5 – 6 | Ov,A,By(opasitleşmiş),Am |
| AUC-T10 AUC-T11 | Lamprofir | Holokristalen Porfirik | 5,5 - 6 | Py,By,Q,Op,Mt |
| AUC-T12 AUC-T13 | Mermer | Granoblastik | ~3 | C (basınç ikizli >0,3 mm matriks) |

Tablo 6a. Afyon Ulu Cami taş örneklerinin petrografik özellikleri

| Toprak Örnek | MTB | Kayaç ve Mineraller* | Kayaç Kökeni |
|--------------|----------------|----------------------|--------------|
| AUC-D1 | Kil + Karbonat | Q,Pl,Py,By,Lp,A,B,Op | Andezit |

Tablo 6b. Afyon Ulu Cami toprak örneğinin petrografik özellikleri

| Tuğla Örnekler | T (°C) | P (%) | MTA (%) | Kayaç ve Mineraller* | Agrega Boyutu | Kayaç Kökeni |
|------------------|---------|-------|---------|----------------------|---------------|------------------|
| AUC-B1 AUC-B2 | 850-900 | 12 | 40 | Q,Pl,By,Py,Am,A,B,Op | Orta** | Alkali Bazalt |
| AUC-B3 | 800-850 | 18 | 35 | Q,Ç,Pl,By,Py,Am,A,Op | İri | Andezit |
| AUC-B4 | 800-850 | 8 | 45 | Q,Pl,By,Py,B,Op | İri | Andezitik Bazalt |

(**) İnce / Orta / İri Boyutlu Agregası (mm) : <0,5 / 0,5-1,0 / >1,0

Tablo 6c. Afyon Ulu Cami tuğla örneklerinin petrografik özellikleri

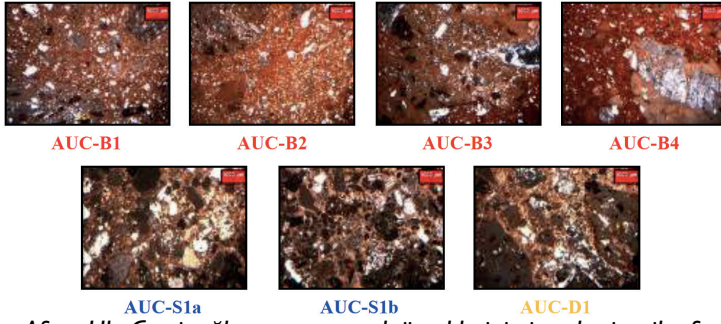
| Harç Örnekler | MTB (%) | MTA (%) | Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100) | | | | Matriks Agregası İçeriği (%100) | | |
|--|---------|---------|----------------------------------|-----|----|------|---------------------------------|----|-----|
| | | | Kireç | Kil | Çm | Alçı | Kayaç & Mineraller* | TK | Org |
| AUC-H1 AUC-H2 AUC-H4 AUC-H5 AUC-H9 | 25 | 75 | 35 | - | 65 | - | 100 (Q,Ç,By,Py,Op,A,B,Lp) | - | - |
| AUC-H3 AUC-H6 | 75 | 25 | 85 | 15 | - | - | 100 (Q,Ç,Pl,A,B,Op) | - | - |
| AUC-H7 AUC-H8 | 55 | 45 | 20 | - | 80 | - | 100 (Q,Ç,Pl,By,Am,Op) | - | - |

Tablo 6d. Afyon Ulu Cami harç örneklerinin petrografik özellikleri

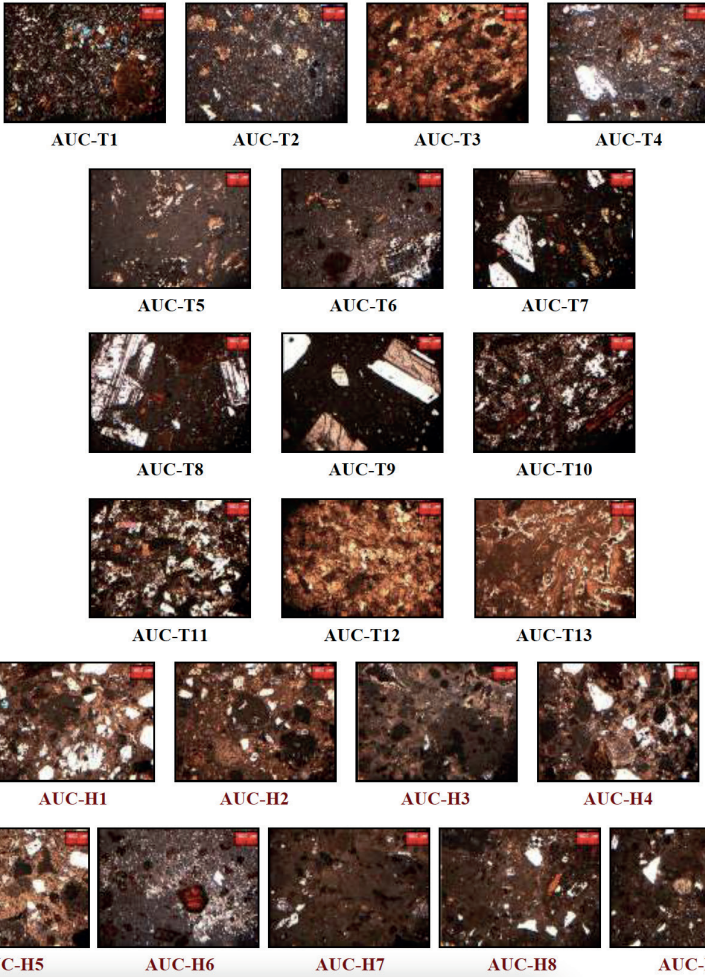
| Sıva Örnekler | MTB (%) | MTA (%) | Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100) | | | | Matriks Agregası İçeriği (%100) | | |
|---------------|---------|---------|----------------------------------|-----|----|------|---------------------------------|----|-----|
| | | | Kireç | Kil | Çm | Alçı | Kayaç & Mineraller* | TK | Org |
| AUC-S1a | 15 | 85 | 20 | 10 | 70 | - | 100 (Q,Ç,Pl,Py,A,B,Sy,Op) | - | - |
| AUC-S1b | 25 | 75 | 45 | 15 | 40 | - | 100 (Q,Ç,Pl,By,Py,Am,Py,A,B,Op) | - | - |

Tablo 6e. Afyon Ulu Cami sıva örneklerinin petrografik özellikleri

(*) A: Andezit, Am: Amfibol, B: Bazalt, By: Biyotit, C: Kalsit, Ç: Çört, Çm: Çimento, K: Kireçtaşı, Kr: Kristalit, Lb: Labrador, Lm: Limonit, Lp: Lamprofir, Mr: Mikrolit, Mt: Manyetit, MTA: Matriks Toplam Agregası Oranı, MTB: Matriks Toplam Bağlayıcı Oranı, Ol: Opal, Ov: Olivin, Op: Opak Mineraller, Or: Ortoklas, Org: Organik İçerik, Ov: Olivin, Pl: Plajiyoklas, Py: Piroksen, Q: Kuvars, Qs: Kuvarsit, R: Radyolarit, S: Serpantin, Sy: Siyeni, TK: Tuğla Kırığı Parçaları



Şekil 7a. Afyon Ulu Cami tuğla, sıva ve toprak örneklerinin ince kesit mikrofotografaları



Şekil 7b. Afyon Ulu Cami taş ve harç örneklerinin ince kesit mikrofotografaları

| Element | Birim | AUC-D1 | AUC-B1 | AUC-B2 | AUC-B3 | Tuğla Ort. | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|------------|------|
| Na ₂ O | % | 0,095 | 1,18 | 0,068 | 0,640 | 0,629 | |
| MgO | | 1,34 | 1,71 | 2,05 | 1,73 | 1,83 | |
| Al ₂ O ₃ | | 11,69 | 14,61 | 12,19 | 13,25 | 13,35 | |
| SiO ₂ | | 60,21 | 59,55 | 54,83 | 60,01 | 58,13 | |
| P ₂ O ₅ | | 0,868 | 0,485 | 0,296 | 0,403 | 0,395 | |
| SO ₃ | | 0,218 | 0,351 | 3,57 | 0,853 | 1,59 | |
| Cl | | 0,016 | 0,003 | 0,028 | 0,074 | 0,035 | |
| K ₂ O | | 3,39 | 3,20 | 2,91 | 3,08 | 3,06 | |
| CaO | | 12,75 | 8,72 | 13,40 | 9,98 | 10,70 | |
| TiO ₂ | | 0,551 | 0,716 | 0,617 | 0,656 | 0,663 | |
| V ₂ O ₅ | | 0,017 | 0,018 | 0,013 | 0,022 | 0,018 | |
| Cr ₂ O ₃ | | 0,008 | 0,014 | 0,014 | 0,012 | 0,013 | |
| MnO | | 0,112 | 0,094 | 0,091 | 0,086 | 0,091 | |
| Fe ₂ O ₃ | | 4,89 | 5,63 | 4,94 | 5,43 | 5,33 | |
| LOI* | | 4,21 | 3,66 | 4,87 | 3,77 | 4,10 | |
| Co | | ppm | 43 | 25,7 | 31,7 | 45,5 | 34,3 |
| Ni | | | 37 | 45,4 | 65,2 | 50,3 | 53,6 |
| Cu | 89,4 | | 110,1 | 50 | 36 | 65,4 | |
| Zn | 72,5 | | 83,2 | 61,7 | 66,3 | 70,4 | |
| Ga | 16,3 | | 18,9 | 17,4 | 17,9 | 18,1 | |
| Ge | 1,4 | | 1,2 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | |
| As | 33,2 | | 19,6 | 61,6 | 53,9 | 45,0 | |
| Se | 0,3 | | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | |
| Br | 5,1 | | 0,3 | 1,7 | 1,1 | 1,0 | |
| Rb | 147,8 | | 149,1 | 123,5 | 140,6 | 137,7 | |
| Sr | 754,2 | | 942,3 | 499 | 747,3 | 729,5 | |
| Y | 21,8 | | 25,3 | 24 | 24,1 | 24,5 | |
| Zr | 280,8 | | 462 | 257,5 | 366,2 | 361,9 | |
| Nb | 17,9 | | 19,9 | 19,8 | 18 | 19,2 | |
| Mo | 3,4 | | 4 | 4,1 | 4,6 | 4,2 | |
| Cd | 0,8 | | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | |
| In | 0,8 | | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | |
| Sn | 10,8 | | 5,2 | 3,3 | 3,7 | 4,1 | |
| Sb | 0,8 | | 0,7 | 1 | 0,9 | 0,9 | |
| Te | 1,1 | | 1,3 | 0,6 | 1,2 | 1,0 | |
| I | 2,3 | | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 2,3 | |
| Cs | 6 | | 4,1 | 4,8 | 3,8 | 4,2 | |
| Ba | 1084 | | 1330 | 720,3 | 1089 | 1046,4 | |
| La | 45,5 | | 56,1 | 35,8 | 56,3 | 49,4 | |
| Ce | 101,2 | | 131 | 85,1 | 111 | 109,0 | |
| Hf | 8,5 | | 12,6 | 4,6 | 5,6 | 7,6 | |
| Ta | 5,3 | | 7,3 | 4,3 | 3,7 | 5,1 | |
| W | 4,9 | | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | |
| Hg | 0,9 | | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | |
| Tl | 1,3 | | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,6 | |
| Pb | 56,7 | | 44,1 | 34,9 | 67,7 | 48,9 | |
| Bi | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | | |
| Th | 27,1 | 31,6 | 18,1 | 26,1 | 25,3 | | |
| U | 11,5 | 9,7 | 9,2 | 7,6 | 8,8 | | |

(*) LOI: Yüksek Sıcaklık Fırınında 950°C'de Kızdırma ile Ağırlık Kaybı (Loss on Ignition)

Tablo 7a. Afyon Ulu Cami toprak ve tuğla örneklerinde PED-XRF analizi sonuçları

| Element | Birim | AUC-H2 | AUC-H6 | AUC-H8 | AUC-H9 | Ort. | AUC-S1a | AUC-S1b |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|-------------|--------------|-------------|---------|
| Na ₂ O | % | 0,049 | 0,054 | 0,056 | 0,600 | 0,190 | 0,053 | 0,061 |
| MgO | | 0,058 | 0,672 | 0,140 | 0,585 | 0,364 | 0,352 | 0,767 |
| Al ₂ O ₃ | | 2,47 | 7,88 | 1,57 | 6,59 | 4,63 | 2,06 | 4,79 |
| SiO ₂ | | 11,78 | 30,59 | 6,58 | 28,77 | 19,43 | 9,48 | 20,97 |
| P ₂ O ₅ | | 0,050 | 0,436 | 0,112 | 0,184 | 0,196 | 0,019 | 0,156 |
| SO ₃ | | 0,642 | 0,633 | 0,652 | 0,405 | 0,583 | 0,227 | 0,623 |
| Cl | | 0,032 | 0,080 | 0,307 | 0,254 | 0,168 | 0,189 | 0,360 |
| K ₂ O | | 0,749 | 2,91 | 0,694 | 2,63 | 1,75 | 0,662 | 1,75 |
| CaO | | 48,67 | 20,49 | 47,40 | 24,15 | 35,18 | 45,07 | 28,19 |
| TiO ₂ | | 0,117 | 0,542 | 0,125 | 0,373 | 0,289 | 0,103 | 0,358 |
| V ₂ O ₅ | | 0,011 | 0,012 | 0,005 | 0,011 | 0,010 | 0,006 | 0,013 |
| Cr ₂ O ₃ | | 0,001 | 0,005 | 0,003 | 0,006 | 0,004 | 0,012 | 0,008 |
| MnO | | 0,029 | 0,081 | 0,026 | 0,072 | 0,052 | 0,037 | 0,076 |
| Fe ₂ O ₃ | | 0,798 | 4,80 | 1,22 | 3,12 | 2,48 | 0,835 | 3,93 |
| LOI* | | 34,87 | 30,43 | 41,57 | 32,65 | 34,88 | 40,83 | 37,82 |
| Co | | ppm | 7 | 42,7 | 16,4 | 28,7 | 23,7 | 11,9 |
| Ni | 11,1 | | 15 | 4,2 | 13,5 | 11,0 | 2,5 | 15,4 |
| Cu | 43,9 | | 24 | 11,7 | 14,6 | 23,6 | 1,2 | 15,2 |
| Zn | 12,3 | | 41,7 | 14,8 | 33,3 | 25,5 | 11,6 | 37,1 |
| Ga | 5,9 | | 16,1 | 6,7 | 14,8 | 10,9 | 6,4 | 15,4 |
| Ge | 0,4 | | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,5 |
| As | 6,1 | | 15,8 | 7,4 | 11,8 | 10,3 | 5,8 | 11,6 |
| Se | 0,3 | | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Br | 1,2 | | 1,7 | 6,1 | 2,8 | 3,0 | 1,4 | 3,4 |
| Rb | 39 | | 134,6 | 44 | 112,2 | 82,5 | 59,4 | 87,5 |
| Sr | 138,3 | | 995,1 | 497 | 1226 | 714,1 | 160,6 | 1225 |
| Y | 7,6 | | 18,1 | 4,8 | 11,9 | 10,6 | 10,1 | 18,2 |
| Zr | 90,3 | | 407 | 114,4 | 244,6 | 214,1 | 86,5 | 522 |
| Nb | 3,4 | | 23,8 | 3,6 | 11,1 | 10,5 | 10,8 | 18,1 |
| Mo | 3,2 | | 4,4 | 3,5 | 7,1 | 4,6 | 3,4 | 5,3 |
| Cd | 0,9 | | 1 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1 |
| In | 0,8 | | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,5 |
| Sn | 2,7 | | 4,5 | 1,8 | 2 | 2,8 | 1,2 | 8,4 |
| Sb | 1 | | 1,1 | 0,9 | 1 | 1,0 | 1 | 1,1 |
| Te | 1,2 | | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,6 | 1,3 |
| I | 2 | | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 2,3 | 1,6 | 2,5 |
| Cs | 6,4 | | 4,2 | 3,6 | 4 | 4,6 | 3,6 | 4,2 |
| Ba | 145 | | 1318 | 454,7 | 1608 | 881,4 | 171,7 | 1287 |
| La | 18,2 | | 77,3 | 25,8 | 67,3 | 47,2 | 18,4 | 90,4 |
| Ce | 16,2 | | 170,2 | 40,2 | 117,5 | 86,0 | 26,7 | 172,6 |
| Hf | 3,7 | | 10,2 | 2,9 | 6,7 | 5,9 | 1,8 | 8,4 |
| Ta | 4,4 | | 3,4 | 3 | 4,7 | 3,9 | 2,3 | 3,1 |
| W | 2,1 | | 2 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 2,3 | 2,5 |
| Hg | 0,8 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | |
| Tl | 0,7 | 1 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1 | |
| Pb | 15,1 | 38,2 | 17,6 | 41,1 | 28,0 | 20,1 | 38,3 | |
| Bi | 1,1 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | |
| Th | 6,8 | 34,1 | 10,5 | 29,9 | 20,3 | 13,2 | 26,2 | |
| U | 9,1 | 11,4 | 19,9 | 15,5 | 14,0 | 9,1 | 9,4 | |

(*) LOI: Yüksek Sıcaklık Fırnında 950°C'de Kızdırma ile Ağırlık Kaybı (Loss on Ignition)

Tablo 7b. Afyon Ulu Cami harç ve sıva örneklerinde PED-XRF analizi sonuçları

| Örnekler | CI | Kireç Türü | Kireç Türü |
|-----------|------|------------|--|
| AUC-H2 | 0,75 | HK | Yağlı Kireç (YK) : <0,30 Zayıf Hidrolik Kireç (ZHK) : 0,30 - 0,50 |
| AUC-H6 | 4,63 | DÇ/Ç | |
| AUC-H8 | 0,45 | ZHK | Ortalama Hidrolik Kireç (OHK) : 0,51 - 0,70 Hidrolik Kireç (HK) : 0,71 - 1,10 |
| AUC-H9 | 3,64 | DÇ/Ç | |
| AUC-S1a | 0,65 | OHK | Doğal Çimento (DÇ) : 1,11-1,70 Doğal Çimento & Çimento (DÇ/Ç) : 1,70< |
| AUC-S1b | 2,32 | DÇ/Ç | |
| Harç Ort. | 1,74 | DÇ/Ç | |

Tablo 8. Afyon Ulu Cami harç ve sıva örneklerinde Cementation Index verileri

| Örnekler | L | a | b | Görünen Renk |
|----------|-------|-------|-------|--------------|
| AUC-P1a | 13,86 | 11,21 | 7,74 | kırmızı |
| AUC-P1b | 27,96 | 11,05 | 18,49 | sarı yıldız |
| AUC-P2a | 17,78 | 16,99 | 12,05 | kırmızı |
| AUC-P2b | 25,63 | 9,27 | 15,26 | sarı yıldız |
| AUC-P3a | 6,70 | 1,62 | 1,25 | siyah |
| AUC-P3b | 11,47 | 4,66 | 4,85 | kahverengi |
| AUC-P4 | 10,61 | 3,32 | 3,56 | siyah |
| AUC-P5a | 9,51 | 6,91 | 3,52 | kırmızı |
| AUC-P5b | 10,24 | 8,91 | 9,56 | koyu sarı |
| AUC-P5c | 10,61 | 3,32 | 3,56 | koyu yeşil |
| AUC-P6a | 14,51 | 15,70 | 13,64 | kırmızı |
| AUC-P6b | 31,55 | 7,40 | 28,27 | sarı yıldız |
| AUC-P6c | 7,50 | 1,21 | -0,34 | koyu yeşil |
| AUC-P7a | 15,51 | 17,14 | 13,80 | kırmızı |
| AUC-P7b | 7,22 | 1,78 | 2,67 | siyah |
| AUC-P7c | 29,86 | 3,04 | 15,13 | sarı |
| AUC-P7d | 26,91 | 0,06 | 10,93 | açık yeşil |
| AUC-P8 | 27,74 | 1,64 | 12,78 | sarı yıldız |

Tablo 9. Afyon Ulu Cami pigmentlerinin kromametrik analiz renk kodları

| Element (%) | AUC-P2a | AUC-P3b | AUC-P4 | AUC-P5c | AUC-P7c | AUC-P7d |
|-------------|---------|---------|--------|----------|---------|----------|
| Al | 1,80 | 1,40 | 1,96 | 0,820 | 1,20 | 0,950 |
| Ti | 0,079 | 4,89 | 0,013 | 0,010 | 0,054 | 0,024 |
| V | 0,005 | 3,09 | 0,005 | 0,007 | 0,040 | 0,018 |
| Cr | 0,030 | 0,069 | 0,030 | 0,005 | 0,027 | 0,012 |
| Mn | 0,025 | 0,177 | 0,025 | 0,004 | 0,023 | 0,010 |
| Fe | 0,036 | 0,294 | 0,146 | 0,065 | 0,296 | 0,171 |
| Co | 0,020 | 0,028 | 0,002 | 0,003 | 0,018 | 0,008 |
| Ni | 0,015 | 0,020 | 0,015 | 0,002 | 0,013 | 0,006 |
| Cu | 0,010 | 0,047 | 0,024 | 0,010 | 0,111 | 0,134 |
| Zn | 0,010 | 0,017 | 0,001 | 0,012 | 0,011 | 0,005 |
| Ga | 0,010 | 0,020 | 0,010 | 0,006 | 0,049 | 0,167 |
| Zr | 0,050 | 0,062 | 0,050 | 0,050 | 0,031 | 0,012 |
| Nb | 0,069 | 1,95 | 0,109 | 0,048 | 1,21 | 1,51 |
| Mo | 0,051 | 2,40 | 0,081 | 0,097 | 2,52 | 2,84 |
| Rh | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Pd | 0,003 | 0,170 | 0,004 | 0,006 | 0,090 | 0,035 |
| Ag | 0,003 | 0,174 | 0,005 | 0,007 | 0,081 | 0,034 |
| Cd | 0,050 | 0,210 | 0,006 | 0,009 | 0,130 | 0,050 |
| In | 0,004 | 0,250 | 0,007 | 0,010 | 0,110 | 0,060 |
| Sn | 0,005 | 0,340 | 0,008 | 0,013 | 0,180 | 0,070 |
| Sb | 0,008 | 0,450 | 0,012 | 0,018 | 0,200 | 0,087 |
| W | 0,025 | 0,046 | 0,003 | 0,014 | 0,025 | 0,025 |
| Pb | 0,140 | 85,86 | 0,908 | 3,01 | 95,26 | 94,60 |
| Renkler | Kırmızı | Kahve | Siyah | K. Yeşil | Sarı | A. Yeşil |

Tablo 10a. Afyon Ulu Cami'den örneklenen pigment örneklerin noktasal Mikro-XRF analizi

| Element (%) | AUC-M1 | AUC-M2 |
|-------------|--------|--------|
| Ti | 0,170 | 0,013 |
| V | 0,006 | 0,033 |
| Cr | 0,004 | 0,020 |
| Mn | 0,008 | 0,010 |
| Fe | 97,26 | 96,84 |
| Co | 0,343 | 0,543 |
| Ni | 0,314 | 0,679 |
| Cu | 0,028 | 0,113 |
| Zn | 0,023 | 0,002 |
| Ga | 0,002 | 0,001 |
| Zr | 0,149 | 0,050 |

| Element (%) | AUC-M1 | AUC-M2 |
|-------------|--------|--------|
| Nb | 0,049 | 0,020 |
| Mo | 0,075 | 0,006 |
| Pd | 0,009 | 0,015 |
| Ag | 0,022 | 0,011 |
| Cd | 0,010 | 0,015 |
| In | 0,012 | 0,011 |
| Sn | 0,012 | 0,008 |
| Sb | 0,016 | 0,012 |
| W | 0,025 | 0,025 |
| Ir | 0,001 | 0,001 |
| Pb | 0,544 | 0,703 |

Tablo 10b. Afyon Ulu Cami'den örneklenen metal örneklerin noktasal Mikro-XRF analizi

KAYNAKÇA

Black, C. A., Evans, D. D., Ensminger, L. E., White, J. L., Clark, F. E. (1965). Methods of Soil Analysis No. 9 in the Series Agronomy. American Society of Agronomy. Inc. Madison. Wisconsin. USA.

Boynton, R.S., 1980, Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Brady, N.C. and Weil, R.R. (2004). Elements of the Nature and Properties of Soils. 2nd ed. Pearson and Prentice Hall. New Jersey.

Dursun, H., Dizdar, M.Y., Kırıştioğlu, Ő., Özcan, İ., Hamurkar, Y. (2008). Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Gelişirme Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara. s. 70.

Feigl, F. (1966). Spot Test in Organic Analysis. Elsevier Publication Company. Amsterdam.

Kadioğlu, Y.K. (2001). Mafik ve Ultramafik Magmatik Kayaçların Ana-Eser REE Jeokimyasal Karakteristikleri ve Jeofiziksel Açından İncelenmeleri, Magmatik Petrojenez Lisans Üstü Yaz Okulu, Akçakoca-Düzce, TMMOB Yayınları No:61, s. 159-195.

Karakuş, F. (2021). "13. Yüzyılda Anadolu'da İnşa Edilen Ahşap Direkli Camiler Üzerine Değerlendirme Çalışması". The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication - TOJDAC ISSN: 2146-5193, January 2021 Volume 11 Issue 1, s. 131-161.

Kerr, P.F. (1977). Optical Mineralogy. 1st. ed. McGraw-Hill Co. New York.

Kibici, Y., Dinç, D., Uçar, A. (2012). "Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Kayaçların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri". Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (ISSN: 1302-3055), Sayı: 29, s. 53-70.

Means, R.E., Parcher, J.V. (1963). Physical Properties of Soils. Charles E. Merrill Publishing Co. Columbus. Ohio. USA.

Ohno, Y., 2007, Spectral Colour Measurement, in CIE Colorimetry: Understanding the CIE System, J. Schanda, Ed., Ch. 5., Wiley Publication, New York.

Özişik, G. (2000). Yapı Mühendisliğinde Tuğla Elemanlar ve Yapı Sistemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.

RILEM. (1980). Research and Testing. Materials and Construction 13. Chapman and Hall. Paris.

Rapp, G. (2002). Archaeomineralogy. Springer-Verlag. Berlin.

Shackley, M.S. (Ed.). (2011). X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology. (DOI 10.1007/978-1-4419-6886-9-2). Springer Publication.

TSE / Türk Standartları Enstitüsü. (2012). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu. (TS 3530 EN 933-1/ Nisan 1999 / Şubat 2007 / 12.04.2012). Ankara.

Wentworth, C.K. (1922). "A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments", Journal of Geology, Vol. 30, s. 377-392.

