

AMİSOS / AMISOS

Cilt/ Volume 7, Sayı/ Issue 13 (Aralık/ December 2022), ss./ pp. 274-298
ISSN: 2587-2222 / e-ISSN: 2587-2230
DOI: 10.48122/amisos.1175555



Özgün Makale / Original Article

Geliş Tarihi/ Received: 15. 09. 2022
Kabul Tarihi/ Accepted: 26. 11. 2022

MALATYA ULU CAMİ MİMARİ, DEKORATİF VE YAPISAL MALZEMELERİNİN ARKEOMETRİK KARAKTERİZASYONU

ARCHAEOMETRIC CHARACTERIZATION OF MALATYA GREAT MOSQUE'S ARCHITECTURAL, DECORATIVE AND STRUCTURAL MATERIALS

Ali Akın AKYOL – Ercan AKSOY – Yusuf Kağan KADIOĐLU*

Öz

Tarihi yapıların korunması ve yaşatılması için doğru tekniklerin kullanımının yanı sıra disiplinler arası bir çalışma ile yürütülmesi gereklidir. Korumanın öncelikli faktörlerinden biri de yapıların retorasyonunda eşdeğer malzeme seçiminin yapılabilmesi için yapısal malzemelerin çeşitli analitik yöntemler kullanılarak analiz edilmesidir. Bu doğrultuda Malatya Ulu Camisi'ne ait yapı malzemeleri arkeometrik açıdan incelenmiştir. 1224 yılında inşa edilmiş yapının farklı bölümlerinden alınan taş, tuğla, çini, harç ve sıva örnekleri analiz edilmiştir. Temel fiziksel testlerle (birim hacim ağırlığı, su emme kapasitesi ve gözeneklilik) taş, tuğla ve çini örneklerin fiziksel özellikleri, iletkenlik analizi ile de malzemelerin içeriğindeki suda çözünen tuz türleri ve miktarları belirlenmiştir. Harç ve sıvalara uygulanan asidik agrega/bağlayıcı ve granülometrik analizler ile agregada tane boyutu ve oranları, ince kesit optik mikroskop analizi ile de tüm malzemelerin petrografik özellikleri tespit edilmiştir. Caminin inşasında yoğunlukla kullanılan taş

* Doç. Dr. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü / Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB), Gölbaşı Yerleşkesi, Gölbaşı-Ankara/Türkiye. E-posta: ali.akyol@hbv.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4174-575X>
Sorumlu Yazar/Responsible Author; Dr. Mimar Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara/Türkiye. E-posta: ercanaksoy@hotmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7632-9257>
Prof. Dr. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı Yerleşkesi, Gölbaşı-Ankara/Türkiye. E-posta: kadi@ankara.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7894-2220>

türü traki-andezittir. Özgün tuğlaların dayanımı oldukça düşüktür. Özgün harç ve sıvaların bağlayıcı içeriğinde kireç/kil ve kireç/alçı/kil karışımı, onarımda kullanılan harç ve sıvaların bağlayıcı içeriğinde ise çimento/kireç, çimento/kil ve kil/kireç/çimento karışımı bağlayıcıların kullanıldığı belirlenmiştir. Çiniler turkuaz, bordo ve siyah renkte olup, turkuaz örnekte rengi bakır, demir, kalay, kurşun; bordonun ve siyah renkli örnekte ise mangan ve demirin oluşturduğu anlaşılmıştır. Arkeometrik analizler ile elde edilen veriler, yapının hem malzeme açısından belgelenmesine hem de koruma/onarım uygulamalarının daha verimli yürütülmesine hizmet edecektir.

Anahtar Kelimeler Malatya Ulu Cami, Restorasyon, Selçuklu Mimarisi, Arkeometri, Malzeme Analizi.

Abstract

It is necessary to carry out an interdisciplinary study for the conservation and survival of historical buildings by using the correct techniques. One of the primary factors of conservation is the analysis of structural materials using various analytical methods so that equivalent material selection can be made in the restoration of structures. In this context, we examined the building materials of Malatya Ulu Mosque from an archaeometric point of view. We analyzed stone, brick, tile, mortar and plaster samples taken from different parts of the building built in 1224. We then determined the physical properties of stone, brick and tile samples by basic physical tests (unit volume weight, water absorption capacity and porosity), and the water-soluble salt types and amounts in the materials were determined by conductivity analysis and the petrographic properties of all materials by acidic aggregate/binder and granulometric analyzes applied to mortars and plasters, aggregate particle size and ratio and thin-section optical microscopy analysis. The type of stone used extensively in the mosque's construction is latite. The strength of the original bricks is relatively low. We determined that lime/clay and lime/gypsum/clay mixture were used in the binder content of the original mortars and plasters, while cement/lime, cement/clay clay/lime/cement mixture binders in that of the mortars and plasters used in the repair. The tiles are in turquoise, burgundy and black colors. In the example of turquoise, the color is copper, iron, tin, lead; it was understood that claret red, manganese, and iron in the black sample. The data obtained through archaeometric analysis will serve both for the documentation of the building in terms of material and the more efficient implementation of conservation/restoration applications.

Keywords Malatya Great Mosque, Restoration, Seljuks Architecture, Archeometry, Material Analysis.

Giriş

Taşınmaz kültür varlıklarının, kültürel mirasın bir parçası olarak hem ait oldukları medeniyetlerin özelliklerini yansıtmaları hem de maddi kültür ürünleri olarak yaşatılarak tarihsel sürekliliği sağlamaları sebebiyle geleceğe korunarak devredilmesi oldukça önemlidir. Tüm tarihi yapılar kendilerine özgü bir karaktere sahiptir. Bu karakter yapıların yaşatılmasında büyük etkindir. Farklı toplumların kültürlerini yansıtan yapıların en önemlilerinden birini dini yapılar oluşturmaktadır. Her inanın özelliklerini yansıtan bu yapılar buldukları coğrafyaya göre de şekillenmektedir. Camiler de coğrafi şartlar, mimari akımlar ve yapıldıkları dönemlere göre zaman içinde değişim ve gelişim göstermişlerdir. Kent içerisindeki konumları ve merkez olgusunu yansıtmaları sebepleriyle de camiler geleneksel mimarinin özünü oluştururlar.

Geleneksel yapıların belgelenmesi koruma adımlarının en temel aşamalarından bir tanesidir. Bu durum Venedik Tüzüğü¹ 2. maddesi ile Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü,² uygulama ilkeleri 1. maddesinde de açıkça belirtilmiştir. Belgeleme ile bir yapıyı korumak ve yaşatmak mümkün olmasa da belge değeri olarak yaşatmak, zarar görse bile aslına uygun olarak yenilemek olanaklıdır. Bu sebeple bütün geleneksel yapılarda belgelemenin uygun

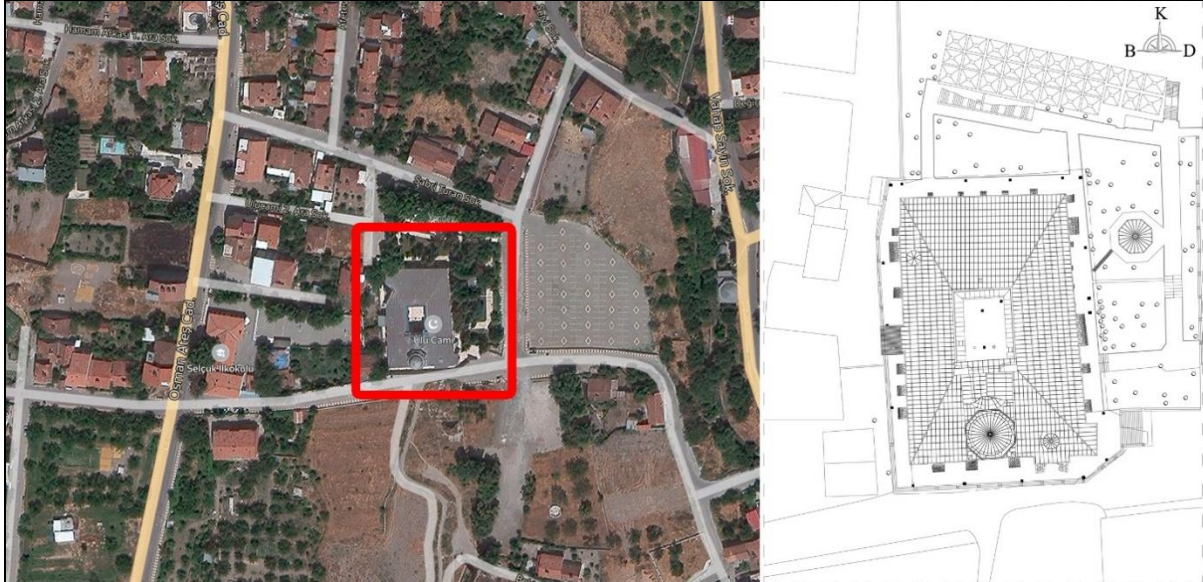
¹ Venedik Tüzüğü 1964.

² ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü 1999.

şekilde yapılması önemlidir. Belgeleme ile birlikte günümüzde konservasyon ve restorasyon sırasında malzeme bilgisi de büyük öneme sahiptir. Yapıların restorasyonları sırasında kullanılacak onarım malzemelerinin tayin edilmesi bakımından yapısal malzemelerin belgelenmesi ve analitik yöntemlerle analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Her yapıda kullanılan malzemeler farklılık arz edebilmekte, zaman içerisinde de farklı değişimlere maruz kalabilmektedirler. Bu sebeple yapıların mimari özelliklerinin belirlenerek belgelenmesi, yapısal malzemelerin de analizi sonucu uygun müdahale kararlarının alınması sağlanmalıdır.³

1. Malatya Ulu Cami

Malatya Ulu Cami Battalgazi ilçesinde, eski Malatya Kalesi Surları içerisinde, Alacakapı Mahallesi, Ulucami Sokak ile Ulucami 1. Ara Sokak kesişiminde konumlanmaktadır. Cami 2715 parsel üzerinde kayıtlıdır ve mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne aittir. Cami parseli oturma alanı ile sınırlı olsa da yapının doğu ve kuzeyinde bir park bulunmakta, park içerisinde yapıyla ilişkilendirilmiş olarak doğu kısımda şadırvan, kuzey kesimde ise tuvaletler yer almaktadır. Güneyinde yol ile sınırlanmış olan parselde kot düşük olması sebebiyle batı ve güneye istinat duvarları inşa edilmiş, merdivenler ile ulaşım sağlanmıştır (Res. 1).



Res. 1: Malatya Ulu Cami konumu⁴ ve vaziyet planı⁵

Malatya tahrir defterinde 1530 tarihinde kentte 5 caminin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Malatya Ulu Cami'nin inşa tarihi ile alakalı olarak kesin şekilde bilinmediği ancak kayıtlarda "Keykâvus b. Keyhusrev Mebnâsıdır" yazılı olduğu belirtilmektedir.⁶ Buna karşın camiye ait olduğu kabul edilen kitabeğe göre Malatya Ulu Cami 1224 yılında (Hicri 621) I. Alaeddin Keykubat zamanında yapılmıştır. 1247 tarihinde II. İzzettin Keykâvus zamanında bir onarım ile batı portalı yapılmış, 1274 yılında ise cami tamamen yenilenmiştir.⁷ Malatya Ulu Cami, Büyük Selçukluların İran'daki cami geleneğinin Anadolu'daki tek temsilcisi olması sebebiyle büyük öneme sahiptir.

³ Güleç 2013, 111; Sayın 2016, 388; Akyol 2019, 37-55; Akyol-Yılmaz 2020, 643-658.

⁴ Google Earth 2022.

⁵ VGM Arşivi 2022.

⁶ Göyünç 1973, 657.

⁷ Arık 1969, 144; Eskici 2007, 362.

Cami zeminde dikdörtgen plana sahip olup en uzun cephelerde yaklaşık olarak 51,90 x 31,65 m ebatlarındadır. Yapının kendi parselinde başka yapı bulunmamakla birlikte komşu parselleri içine alacak şekilde bahçe duvarı ile sınırlandırılmış, kuzey ve doğusunda bahçe bulunurken kuzeyde tuvaletler, doğuda ise şadırvan eklenmiştir. Yapıyı çevreleyen bahçeye kuzey ve doğudaki bahçe kapıları ile girilirken; güneydoğudaki merdivenli giriş aksı kullanılarak güneydoğu köşedeki ana kapı portaline ulaşılmaktadır. Bunun yanı sıra batı kanadının ortasındaki giriş portalini kullanarak da yapıya girilebilmektedir. Yapının 4 cephesi de açık olmakla birlikte batı kısımda bulunan yapılaşmaya bağlı olarak cepheye en yakın mesafesi 2,87 m olan duvar inşa edilmiştir.

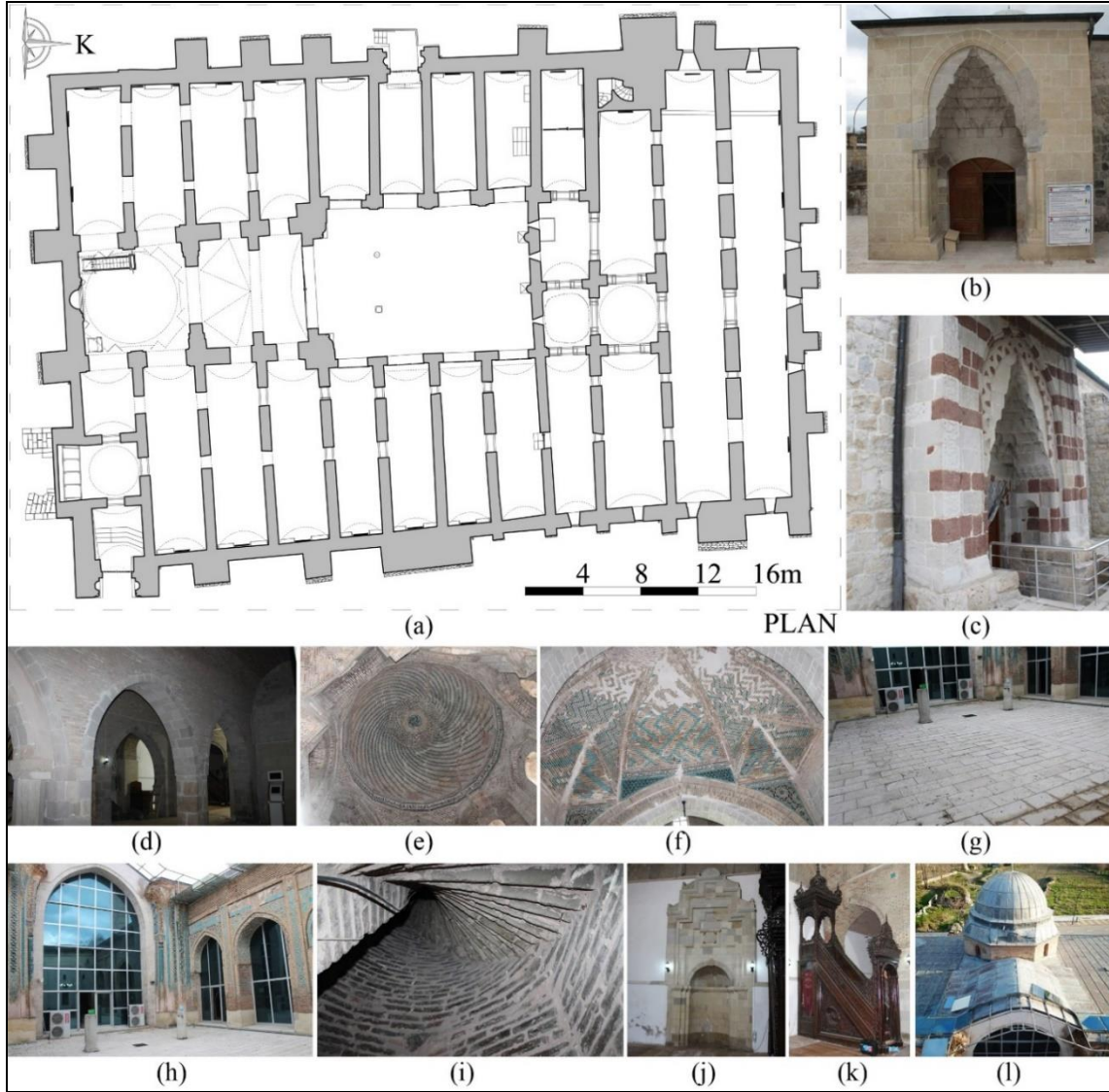
Tek katlı olarak tasarlanan caminin zemin katında Harim, Avlu, Son Cemaat Mahalli ve İmam Odası yer almaktadır. Ayrıca batı cephenin kuzeyine yakın bölümünde bir minaresi bulunmaktadır. Harim kuzeyden güneye doğru Son Cemaat Mahalli'ni ayıran bölücü duvarlardan itibaren 8 adet sahnin olarak dizilim gösterip; doğu kanadı 3 sahnin, batı kanadı ise 2 sahnin olmak üzere kemer ayakları, tonoz ve kubbeler ile bölünmüştür. Doğu kanadına kesme taş portal içerisinde mukarnas süslemeli portal içerisinde çift kanatlı ahşap kapı kullanılarak girilirken; batı kanadından da aynı şekilde kırmızı-beyaz kesme taşlar kullanılarak oluşturulan portalden çift kanatlı kapı kullanılarak girilmektedir. Caminin harim kotu, dış çevre kotuna göre daha düşük kotta olması sebebiyle doğu girişi önünde içeride 4 rıhtlı merdiven oluşumu gözlenirken; batı girişi önünde dışarıda aynı şekilde 4 rıhtlı merdiven oluşumu kendini göstermektedir. Merdivenlerin malzemesi kesme blok taş şeklindedir. Harim kısmının beden duvarları dıştan kabayonu moloz taş şeklinde olmasına rağmen içeride sıvalı ve boyalı durumdadır. Sahninlar genelde kesme taş kemer ayakları ile ayrılmışlardır. Genel itibari ile kemer ayakları, kemer taşları kesme taş malzemedir. Ana kubbeyi oluşturan kemer ayakları kesme taş iken; kemer taşları harman tuğla şeklindedir. Mekânın tavanı doğu ve batı kanadı sırasınca sahninların üzeri doğu-batı aksı boyunca beşik tonoz şeklinde olup, harman tuğla malzeme örgülüdür. Bunun yanı sıra güney duvarı orta noktasında mihrap önünde sekizgen kasnak üzerine oturtulmuş kubbe ise harman tuğla ve helezonik şekilde çini malzeme ile desteklenmiştir. Aynı şekilde bu kubbenin 1 sahnin kuzey bitişinde yarım daire şeklinde kubbe oluşumu gözlenmektedir. Harman tuğla ile çini malzeme birlikteliği burada da kendisini göstermektedir. Ayrıca doğu girişi önünde vaktiyle Sultan girişi olarak da adlandırabileceğimiz giriş eyvanı üzeri de harman tuğla örgülü kubbe şeklindedir.

Geniş bir avluya sahip olan camide avlu dikdörtgen planlı ve yaklaşık olarak 14,10 x 10,40 m ölçülere sahiptir. Bu alana geçiş güney, doğu ve batı cepheden sağlanabilmektedir. Avlunun en özellikli bölümü batı kanadı olup harman tuğla ve çini malzemeler ile oluşturulan kemer ayakları, kemer taşları ve üst bordür ile sınırlandırılmıştır. Bu kısım zengin çini süslemeler ve yer yer ayakta kalan ya da düşen çini kitabe ve motiflere sahiptir. Güney cephesinde ise özgününde olan kemer bölümleri yıkılmış olmasına karşın çini süslemeler mevcuttur.

Harimin ve avlunun kuzeyinde kalan, kuzeyden güneye doğru doğu-batı aksı boyunca uzanmış 4 sahninden oluşan ve dikdörtgen plana sahip olan Son Cemaat Mahalli yaklaşık olarak 29,65 x 16,40 m ölçülerindedir. Mekânın güney duvarı ortasında kesme taştan inşa edilmiş mihrap nişi bunun batısında da üst kotta ferforje korkuluk ile sınırlandırılmış vaaz kürsüsü yer almaktadır. Mahallin beden duvarları iç ve dışta kabayonu moloz taş örgü şeklinde olup, kemer ayakları ve kemerleri kesme taş şeklindedir.

İmam odası geç dönemde eklenmiş olup 4,10 x 3,00 m ebatlarında son cemaat mahallinin güneybatı köşesinde inşa edilmiştir. Bu kısım aynı zamanda minareye ulaşımın sağlandığı mekândır. Minare kaidesine 8 rıhtlı betonarme merdiven ile erişilmekte, asıl minare girişine ise 6 rıhtlı taş merdiven ile çıkılarak ulaşılmaktadır. Minare kapısından sonra toplamda 61 adet tuğla basamak ile ahşap serenin başlangıç noktasına ulaşılır. Vaktiyle

şerefesi ve petek kısmı yıkılan minare, ahşap taşıyıcı karkas üzeri kurşun kaplama ile kapatılmıştır. Silindirik forma sahip gövdesi aşağıdan yukarıya doğru daralarak devam etmektedir. Minare örgü malzemesi olarak harman tuğla malzeme kullanılmıştır. Yapının geneli kırma çatı çözümlü olup kurşun malzeme ile kaplanmıştır. Aynı malzeme kubbe ve kubbe önü tonozun üzerinde de kullanılmıştır (Res. 2).



Res 2: Malatya Ulu Camii Planı ve Genel Görünümleri; (a) Camii planı,⁸ (b) Doğu giriş portalı, (c) Batı giriş portalı, (d) Kemer ve duvar yapı malzemeleri, (e) Ana kubbe, (f) Yarım kubbe, (g) Avlu, (h) Avlu batı ve güney cephe, (i) Minare içi, (j) Mihrap, (k) Minber, (l) Çatı malzemeleri

Malatya Ulu Camii’de hem özgün hem de özgün olmayan malzeme kullanımı görülmektedir. Yapı tamamen kesme/kabayonu moloz taş malzeme kullanılarak yapılmıştır. Yapının beden duvarları ile payandalar kabayonu moloz taş malzeme ile inşa edilirken; kemer ayakları, taç kapı portalleri, mihrap nişleri ve giriş önü merdivenler kesme taş malzemedendir yapılmıştır. Ayrıca beden duvarlarının bitiminde kesme taş profil silmeler kullanılırken, yapıdaki tüm kitabeler de kesme taş malzemedendir yapılmıştır. Caminin kubbe ve tonozları ile minaresinde inşa malzemesi olarak tuğla kullanılmıştır. Minber, vaaz kürsüsü, döşeme kaplamaları ve kapı-pencere doğramalarında ise ahşap malzeme kullanımı görülmektedir.

⁸ VGM Arşivi 2022.

Kırma çatı ile kubbe ve tonoz üst örtü kaplama malzemesi, pencere önlerindeki parmaklıkların malzemesi ve avluyu sınırlandıran bölücü camekan profil malzemeleri metaldir. Turkuaz ve siyah tonda olmak üzere kemer alınlıkları, kitabe ve sütun süsleme malzemesi olarak tuğla ile iç içe çini kullanılmıştır. Bunların dışında pencere ve camekânlarda cam, beden duvarlarının iç yüzeylerinde ise sıva kullanımı görülmektedir.

2. Malzeme ve Yöntemler

Malatya Ulu Cami yapı malzemelerine yönelik arkeometrik incelemeler duvar, sütun, kemer ayağı, mihrap ve payadadan alınan taş örnekleri, avluda bulunan çinileri, yakın dönem onarımları olan duvarlar, tonoz, kemer ve minarede bulunan tuğla malzemeleri, payanda, minare, beden duvarı ve avluda bulunan sıvalar ile taş/tuğla/çini derzlerini, çini sırları analizlerini kapsamaktadır. Camiye ait dekoratif ve yapısal malzeme örnekleri (taş, tuğla/çini, harç, sıva ve pigment) görsel değerlendirmeye tabi tutulmuş, fotoğraflanmak suretiyle belgelenmiş, gruplara ayrılmış ve analiz edilmek amacıyla kodlanmıştır (Tab. 1, 2a, 2b ve Res. 3-5).

Tablo 1: Malatya Ulu Cami yapısal malzeme grubu

Grup Kodu	Yapısal Malzeme Grubu Açıklamalar	Örnek Sayısı
MUC*-T	Taş Örnekler	14
MUC-B	Tuğla/Çini Örnekler	9
MUC-H	Harç Örnekler	8
MUC-S	Sıva Örnekler	2
MUC-P	Çini Sırı Örnekler	4

(*) Kodlama: MUC (Malatya Ulu Cami)

Tablo 2a: Malatya Ulu Cami'den örneklenen taş ve tuğla/çini örnekler

Örnekler	Açıklamalar	Malzeme Türü
MUC-T1	İç avluya geçiş kapı yanından (7)*	Taş
MUC-T2	İç avludan (8)	
MUC-T3	Dekoratif taş (9)	
MUC-T4	Sütun beden taşı (13)	
MUC-T5	Kemer ayağından (15)	
MUC-T6	Mihrap nişten (16)	
MUC-T7	Ana kapı yanından (18)	
MUC-T8	Giriş kapısı sütun üzerinden süsleme taşı (19)	
MUC-T9	Girişe göre sol yan beden duvarından (20)	

MUC-T10	Dış beden duvarı molozdan (güney duvar) (22)	
MUC-T11	Payandadan (güney duvar) (24)	
MUC-T12	Payandadan (batı duvar) (26)	
MUC-T13	Batı girişi kapı yanından (28)	
MUC-T14	Batı girişi kapı yanından (29)	
MUC-B1	İç avlu pencere kenarından (1)	Çini
MUC-B4a	Kapı yanından (10)	
MUC-B4b	Kapı yanından (10)	
MUC-B4c	Kapı yanından (10)	
MUC-B2	İç avlu kenarından (2)	Tuğla
MUC-B3	Yakın döneme? ait onarım (5)	
MUC-B5	Beşik tonozdan (14)	
MUC-B6	Minber yanı kemerden (17)	
MUC-B7	Minareden (30)	

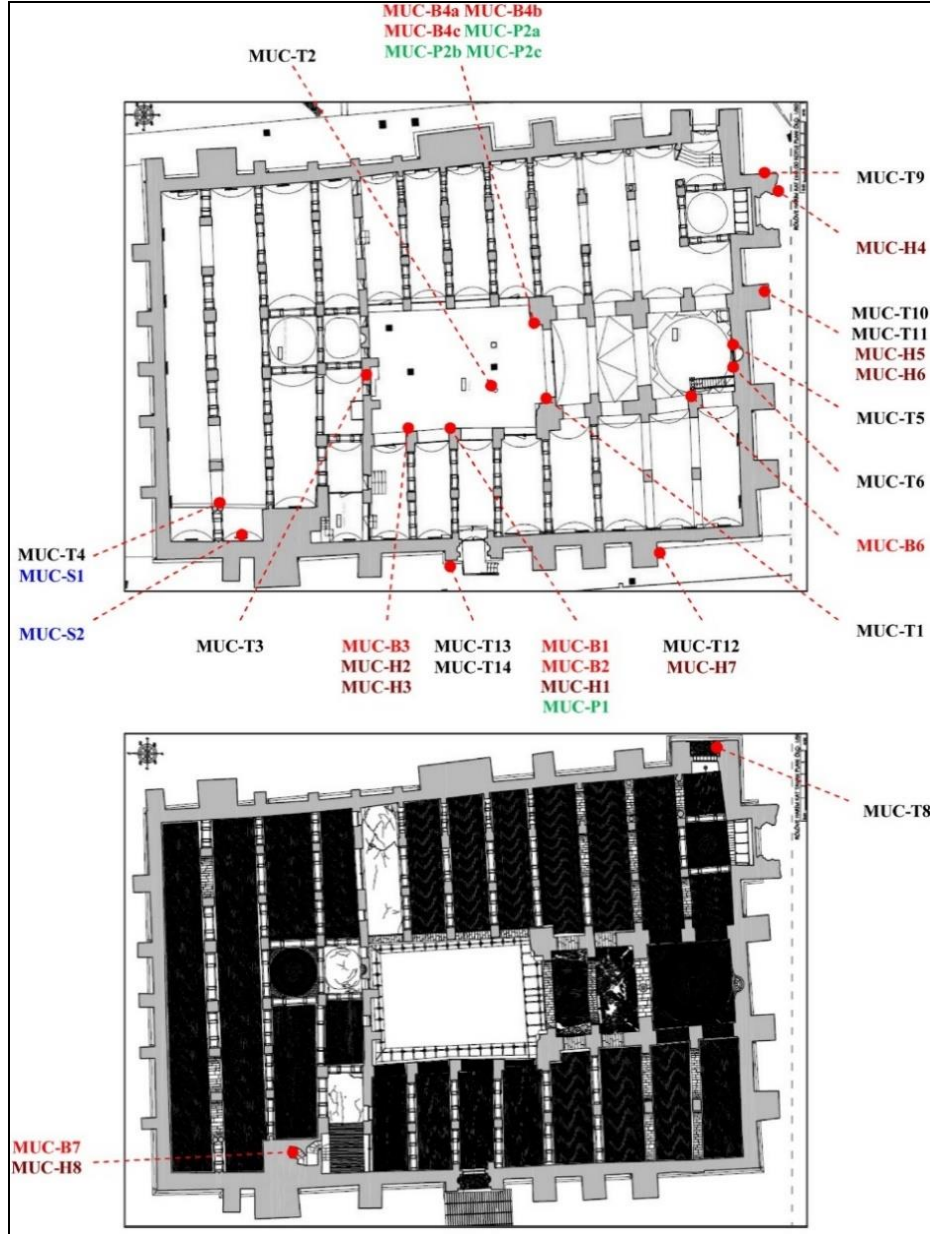
(*) Belirtilen rakamlar yapıdaki örneklemeye sırasını, kırmızı renkle belirtilen örneklerin dışındakiler özgün/dönem örneklerini ifade etmektedir.

Tablo 2b: Malatya Ulu Cami'den örneklenen harç, sıva, çini sırası ve ahşap örnekler

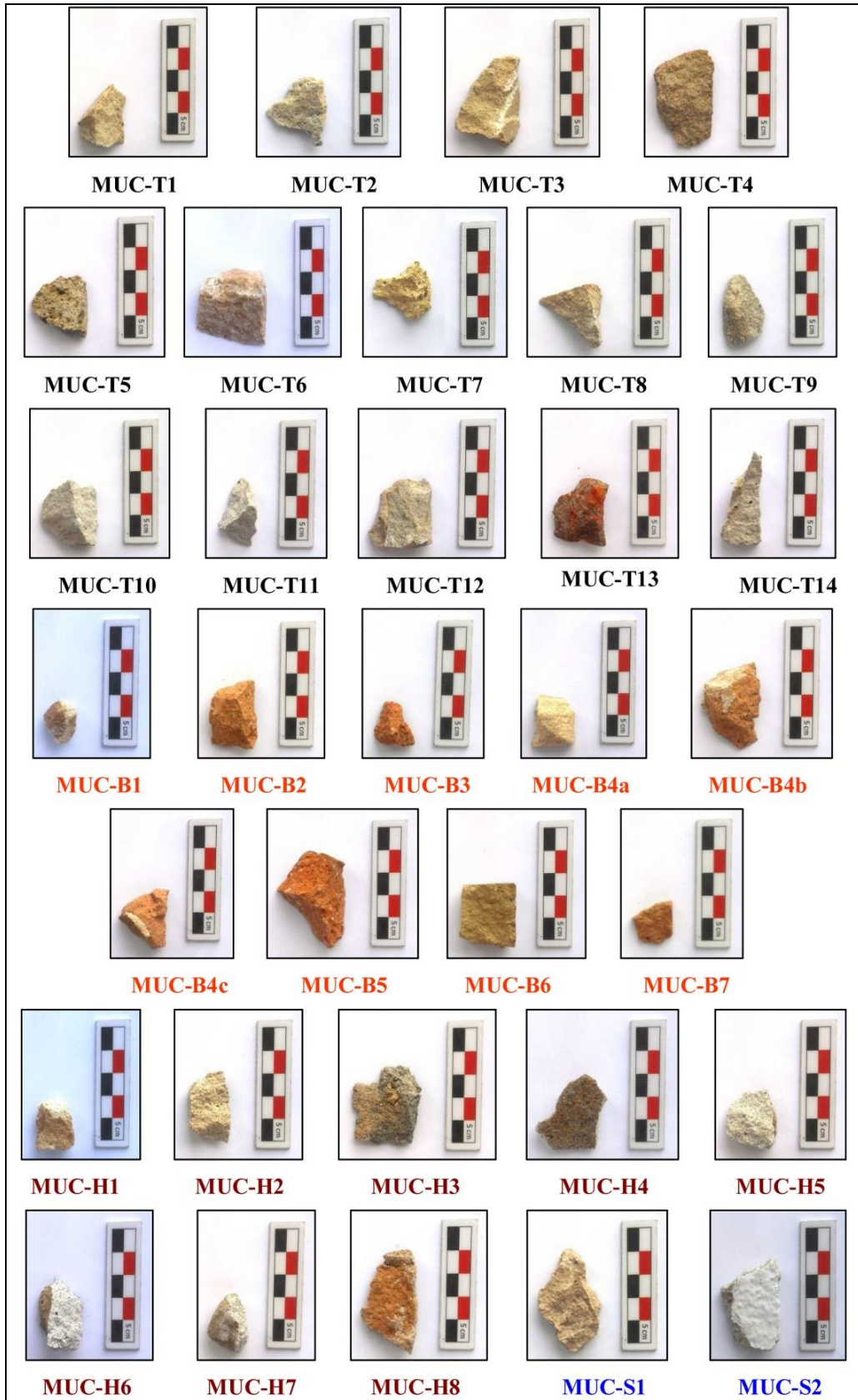
Örnekler	Açıklamalar	Malzeme Türü
MUC-H1	İç avlu kenarı çini derzi (3)*	Harç
MUC-H2	Tuğla derzi (4)	
MUC-H3	Yakın dönem (çimentolu) tuğla derzi (6)	
MUC-H4	Girişe göre sol yan beden duvarından taş derzi (21)	
MUC-H5	Dış beden duvarı (güney duvar) taş derzi (23)	
MUC-H6	Güney duvardaki payandadan taş derzi (25)	
MUC-H7	Batı duvardaki payandadan taş derzi (27)	
MUC-H8	Minareden tuğla derzi (31)	
MUC-S1	Sütun üzerinden kaplama (11)	Sıva
MUC-S2	Yakın dönem? onarım sıvası (12)	
MUC-P1	İç avlu pencere kenarından turkuaz çini sırası (1)	Çini Sırası

MUC-P2a	Kapı yanından turkuaz çini sırası (10)
MUC-P2b	Kapı yanından bordo çini sırası (10)
MUC-P2c	Kapı yanından siyah çini sırası (10)

(*) Belirtilen rakamlar yapıdaki örnekleme sırasını, kırmızı renkle belirtilen örneklerin dışındakiler özgün/dönem örneklerini ifade etmektedir.



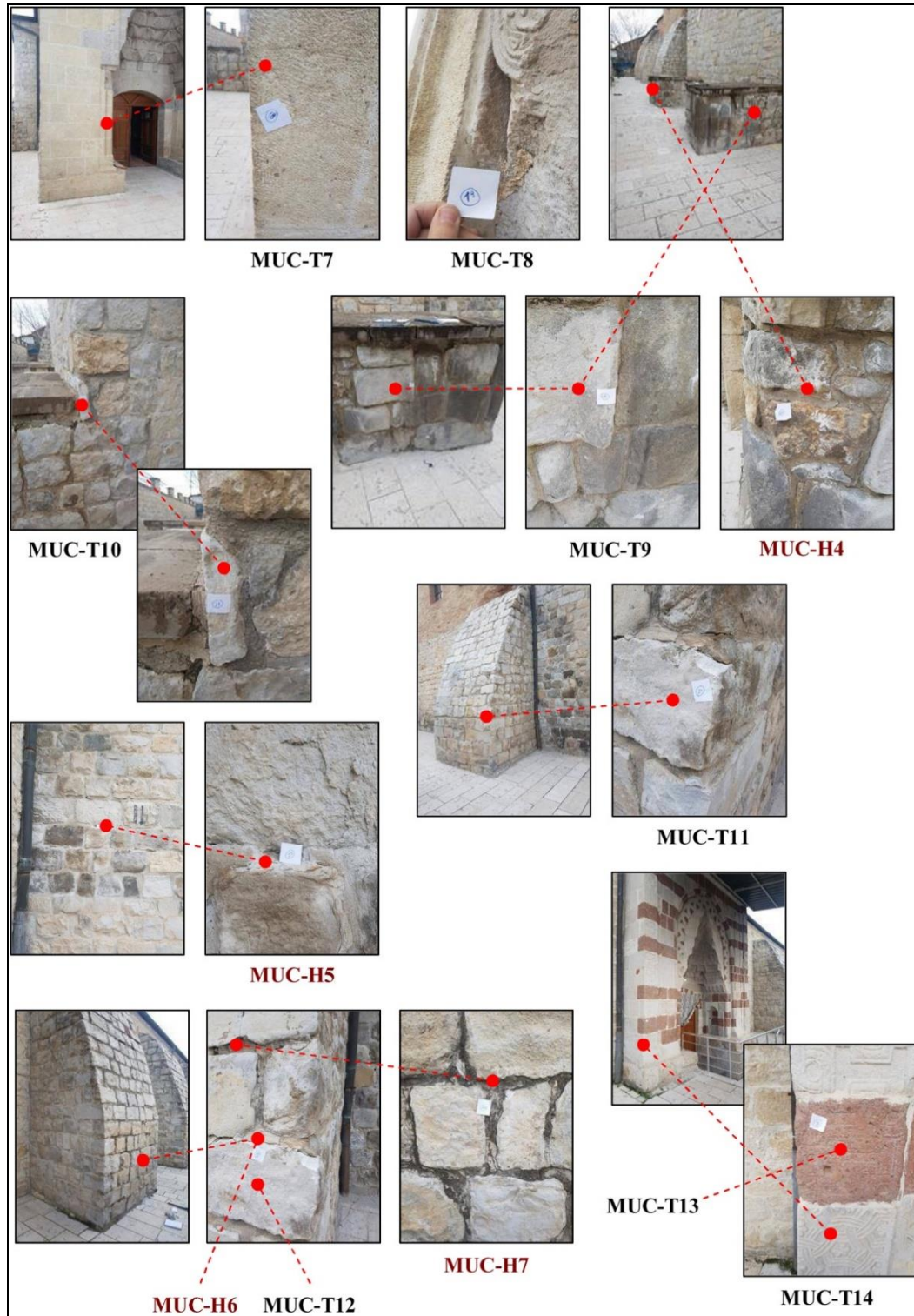
Res. 3: Malatya Ulu Cami örneklemeleri



Res. 4: Malatya Ulu Cami çalışma örnekleri: taş, tuğla/çini, harç ve sıva örnekler



Res. 5: Malatya Ulu Cami örneklemeleri



Res. 5 (devam): Malatya Ulu Cami örneklemeleri

Fiziksel özellikler, yapı malzemelerinin (özellikle taşların) belirli standartlara göre tanımlanabilen (sonuç olarak da dayanımlı/dayanımsız verisine ulaştıran) özelliklerinin teknik açıdan ifade edilmesidir. Yapısal malzemeler görsel olarak sağlam (dayanıklı) olarak algılanabilse de iklimsel (nem değişimi, sıcaklık, donma çözülme vb.), çevresel (egzoz gazı salınımları, sanayi alanlarına yakınlık, vejetasyon vb.) ve insani (vandalizm, tahripkar veya turistik vb.) sebepler ile olumsuz etkilenmekte, çatlama, likenleşme, ani veya orta/uzun süreli tuzlanma, kopma vb. bozulmalara ve değişimlere uğrayabilmektedirler. Malzeme

dayanımlarını tespit edebilmek amacıyla örneklere temel fiziksel testler (gözeneklilik durumu, su emme kapasitesi ve birim hacim ağırlığı) uygulanmıştır. Örneklerin kuru ağırlıkları doğrudan, arşimet (su içerisinde) ve doygun ağırlıkları (50 torr basınç altında, saf su içerisinde, gözeneklerin dolması sonucu sulu ağırlık) yardımıyla, gözeneklilik durumu (%P), su emme kapasitesi (%SEK) ve birim hacim ağırlıkları (doygun-kuru BHA, g/cm³) belirlenmiştir.⁹ Fiziksel testlerin standart olarak yapılması için gereken örnek miktarlarının (5-10 cm³'lük standart küp/silindirik karot örnekler) bu kıstasları sağlaması mümkün olmaması sebebiyle test uygulamaları, alınabilen en optimum örnekler (taş ve tuğla parçaları) üzerinde yapılmıştır (Tab. 3a, 3b).

Tablo 3a: Malatya Ulu Cami taş örneklerinin temel fiziksel test sonuçları

Örnekler	BHA-Doygun (g/cm ³)	BHA-Kuru (g/cm ³)	SEK (%)	P (%)	Tür
MUC-T1	2,43	2,24	3,48	7,81	Traki-andezit
MUC-T2	2,54	2,25	4,95	11,17	Traki-andezit
MUC-T3	2,44	2,21	4,29	9,48	Traki-andezit
MUC-T4	2,44	2,42	0,33	0,81	Traki-andezit
MUC-T5	2,40	2,39	0,29	0,68	Traki-andezit
MUC-T6	2,62	2,49	2,06	5,13	Kireçtaşı
MUC-T7	2,35	2,25	1,95	4,39	Kireçtaşı
MUC-T8	2,46	2,30	2,84	6,52	Traki-andezit
MUC-T9	2,45	2,39	1,03	2,47	Traki-andezit
MUC-T10	2,49	2,26	4,10	9,27	Traki-andezit
MUC-T11	2,47	2,25	4,02	9,03	Traki-andezit
MUC-T12	2,54	2,38	2,63	6,27	Traki-andezit
MUC-T13	2,24	1,75	12,44	21,78	Andezit
MUC-T14	2,49	2,25	4,40	9,88	Traki-andezit
Trakiandezit Ort.	2,46	2,30	2,97	6,71	Traki-andezit Ort.

Tablo 3b: Malatya Ulu Cami tuğla örneklerinin temel fiziksel test sonuçları

Örnekler	BHA-Doygun (g/cm ³)	BHA-Kuru (g/cm ³)	SEK (%)	P (%)
MUC-B2	2,31	1,28	34,56	44,34
MUC-B3	2,29	1,68	15,93	26,77
MUC-B5	2,33	1,78	13,18	23,52
MUC-B6	2,32	1,30	34,07	44,16
MUC-B7	2,19	1,35	28,30	38,24

⁹ RILEM 1980, 73; ASTM 1984.

Tuğla Ort.	2,29	1,48	25,21	35,41
------------	------	------	-------	-------

Tuzlar doğal şekilde yapısal malzemelerin içeriğinde bulunmakla birlikte atmosferik koşullar ve yağışların etkisi sonucu suda çözünmekte, yüzeye veya malzemenin gözeneklerine taşınabilmektedir. Bu durum hem malzemenin kendisinde hem de birlikte kullanılan diğer malzemelerde gerçekleşebilecek olan değişimler (kimyasal) bakımından bilgi vermektedir. Yapıdan alınan taş ve tuğla örneklerde bulunan toplam tuz miktarları (suda çözünen) ve çeşitleri, pH değerleri ile birlikte tespit edilmiştir (Tab. 4a, 4b). 5 gram malzeme 25 ml su içerisinde bekletilmiş, santrifüjlenmiş (1 saat), daha sonra süzülerek üzerine sodyum heksametafosfat ilave edilerek toplam tuz ölçümüne hazır hale getirilmiştir. Tuz içerikleri "Neukum Seri 3001 marka pH-sıcaklık-iletkenlik ölçer" ile kaydedilerek ve ilgili eşitliklere dayanılarak, ağırlıkça yüzde olarak (%w/w) tuz miktarına erişilmiştir.¹⁰

Standart spot tuz testleri, süreç içerisinde yapılan anyon/kasyon testleri olup örnekleme anında veya laboratuvar çalışmaları öncesinde uygulanmaktadır. Bu testlerin amacı malzemelerin hem doğal içeriğini hem de farklı etkiler altında (trafik, sıcaklık değişimleri, yağışlar, hava kirliliği vb.) sonradan kazandıkları içerikleri belirlemektir. Su içerisinde çözünmeye malzemeye taşınan tuzlar genel olarak potasyum, sodyum ve magnezyum tuzları olan nitrat, sülfat, nitrit, karbonat, klorür ve fosfat gibi gruplardır.¹¹ Spot tuz testleri taş/tuğla örneklerine uygulanarak tuz türleri (kasyon/anyon) tespit edilmiş, alınan numunelerin pH değerleri belirlenmiştir (Tab. 4a, 4b). Spot testin türüne göre çözümlere reaktifler eklenmiş veya şeritler kullanılmıştır. Bu doğrultuda anyon analizlerinde Merck fosfat (PO_4^{3-} ; kod: 114846), Merck nitrat (NO_3^- ; kod: 111170) ve Merck nitrit (NO_2^- ; kod: 108025) test kit takımları kullanılmıştır. Bu tuzlardan büyük oranda yapı malzemelerinde bulunan NO_x içerik özellikle kent merkezlerinde yoğun trafik ve hava kirliliği sonucunda siyah tabakalanmaya neden olabilmektedir. Fosfat Testi (PO_4^{3-}) içeriği ise genellikle tarımsal, hayvan ve bitki kalıntıları ile gıda atıklarının topraktan nemlenme sonucu malzemeye taşınmasından kaynaklanabilmektedir.

Tablo 4a: Malatya Ulu Cami taş örneklerinin tuz türleri, pH, toplam tuz miktarı (SS) testi sonuçları

Örnekler	Nitrit (NO_2^-)	Nitrat (NO_3^-)	Fosfat (PO_4^{3-})	pH	SS (%)
MUC-T1	.*	75*	0,20*	8,70**	1,07**
MUC-T2	0,05	-	0,20	8,81	2,36
MUC-T3	0,05	10	0,20	8,76	1,61
MUC-T4	0,05	100	0,20	8,64	1,01
MUC-T5	0,05	75	-	8,67	0,77
MUC-T6	0,05	75	-	8,63	1,03
MUC-T7	0,05	75	0,20	8,65	1,46
MUC-T8	0,05	75	-	8,63	0,96
MUC-T9	0,10	100	-	8,64	1,12
MUC-T10	0,05	10	-	8,76	0,43
MUC-T11	0,05	10	-	8,72	2,11

¹⁰ Black vd. 1965; Brady-Weil 2004, 96; Means-Parcher 1963.

¹¹ Feigl 1966.

MUC-T12	0,05	-	-	8,69	1,87
MUC-T13	-	25	0,60	8,55	0,57
MUC-T14	0,10	25	0,20	8,60	1,93
Taş Ort.				8,68	1,31

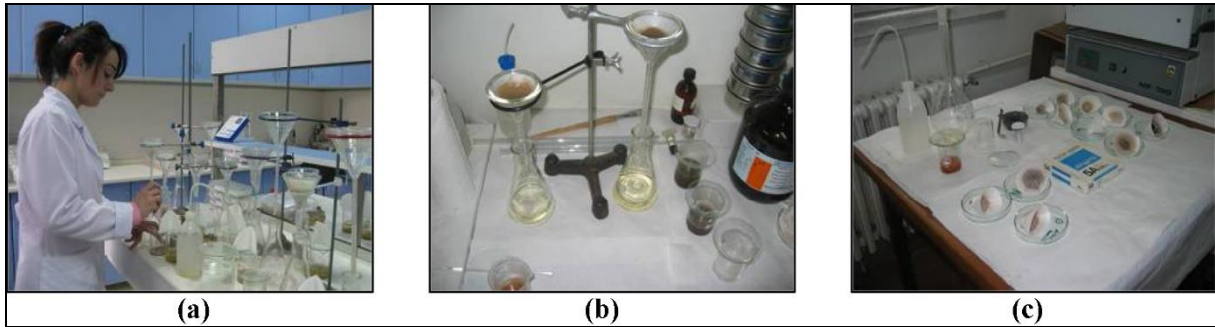
(*) Test hassasiyetleri; Nitrit (NO₂⁻): 0,01 mg/L, Nitrat (NO₃⁻): 10 mg/L, Fosfat (PO₄³⁻): 0,20 mg/L
(**) 100 mL suda

Tablo 4b: Malatya Ulu Cami tuğla örneklerinin tuz türleri, pH, toplam tuz miktarı (SS) testi sonuçları

Örnekler	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Fosfat (PO ₄ ³⁻)	pH	SS (%)
MUC-B2	0,10*	50*	0,40*	8,52**	0,45**
MUC-B3	0,100	-	-	8,70	1,84
MUC-B5	0,10	10	-	8,58	0,89
MUC-B6	0,10	25	0,40	8,56	0,67
MUC-B7	0,10	10	0,20	8,69	0,31
Tuğla Ort.				8,61	0,83

(*) Test hassasiyetleri; Nitrit (NO₂⁻): 0,01 mg/L, Nitrat (NO₃⁻): 10 mg/L, Fosfat (PO₄³⁻): 0,20 mg/L
(**) 100 mL suda

Malatya Ulu Cami'nin harç/sıva örnekleri kuru şekilde tartılarak ağırlıkları belirlenmiş, sonrasında (%5'lik HCl) seyreltik asit uygulanarak bağlayıcı (CO₃²⁻) içeriklerinden arındırılmışlardır (Res. 6). Harç/sıva örnekler süzme, yıkama ve kurutma işlemleri uygulanarak bağlayıcılarından ayrılmış (karbonat içeriklerinden) agregaları elde edilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığında kurutulmuş ve yeniden tartılarak toplam bağlayıcı/agreganın (%^{w/w}) ağırlıkça miktarları elde edilmiştir (Tab. 5; Res. 6a). Agregaların karbon içerikli olmayanlarının agrega tanecik dağılımlarının (granülometrik analiz) belirlenmesi amacıyla sistematik şekilde eleme (63-1000 µm arasındaki eleklerle) işlemi¹² uygulanmıştır (Tab. 5 ve Res. 7, 8).



Res. 6: Asidik analiz uygulama aşamaları (agrega/bağlayıcı); (a) Asidik işlem (%5 HCl), (b) Süzme/yıkama ve (c) Kurutma (MAKLAB)

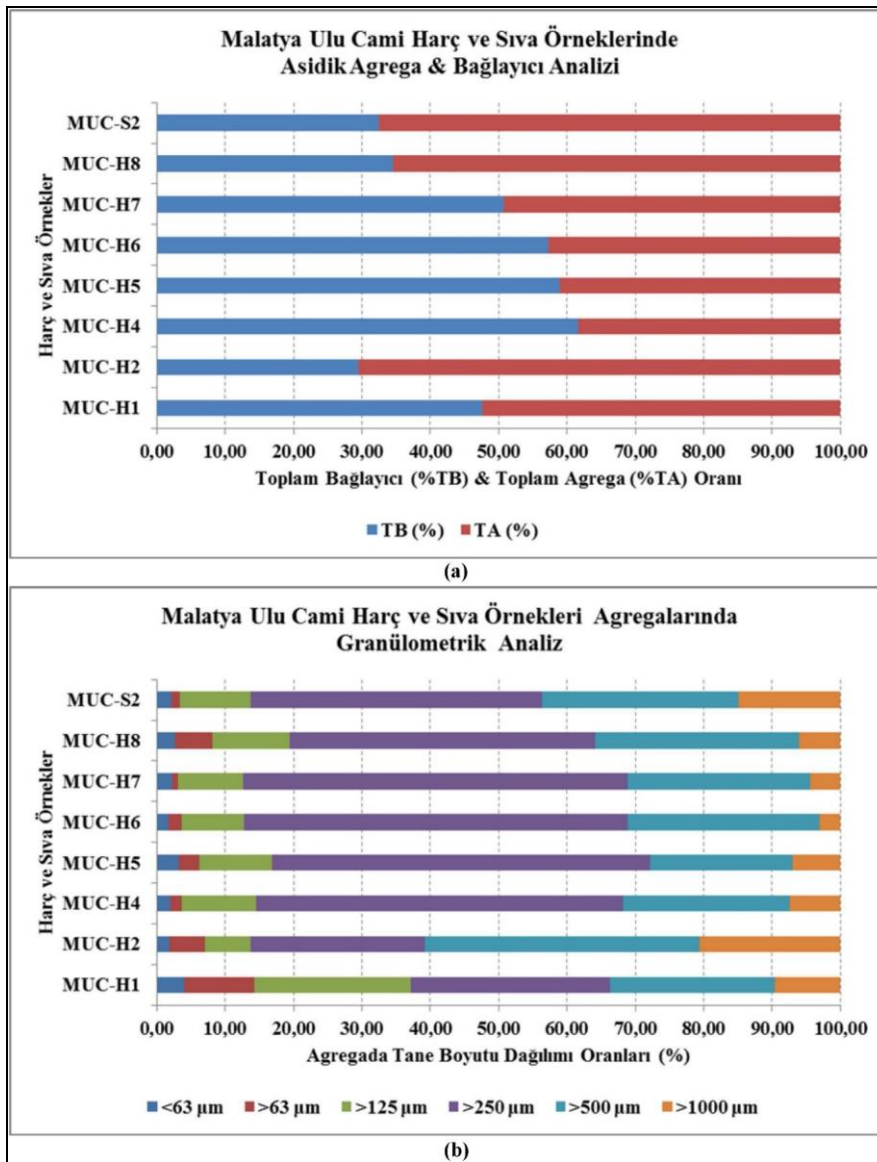
Tablo 5: Malatya Ulu Cami harç ve sıva örneklerinin agrega/bağlayıcı oranları ve granülometrik analizleri

Örnekler	TB (%)*	TA (%)*	<63 µm	>63 µm	>125 µm	>250 µm	>500 µm	>1000 µm
----------	---------	---------	--------	--------	---------	---------	---------	----------

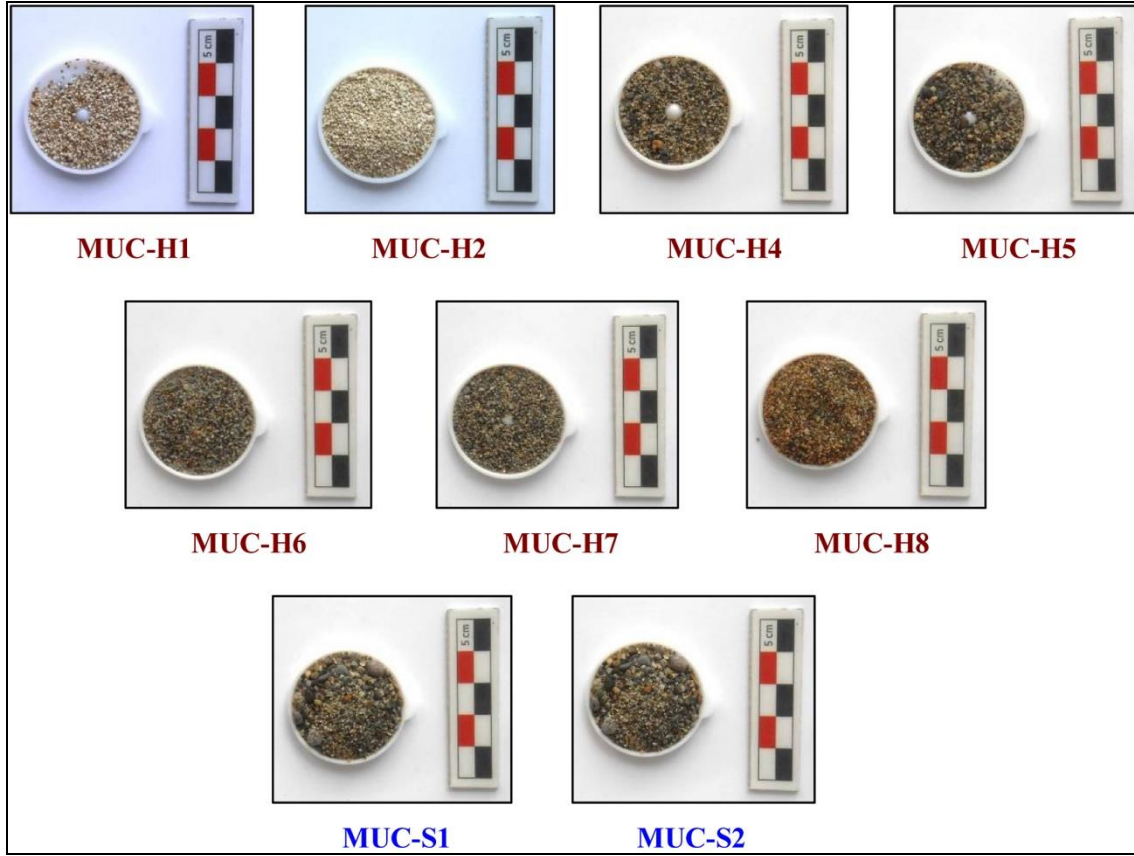
¹² TSE 2012.

MUC-H1	47,66	52,34	4,07	10,23	22,88	29,09	24,12	9,62
MUC-H2	29,47	70,53	1,84	5,17	6,73	25,51	40,18	20,58
MUC-H4	61,66	38,34	2,05	1,52	10,94	53,68	24,39	7,41
MUC-H5	58,88	41,12	3,22	3,05	10,55	55,40	20,83	6,95
MUC-H6	57,38	42,62	1,79	1,90	9,12	56,05	28,08	3,07
MUC-H7	50,75	49,25	2,28	0,88	9,47	56,31	26,62	4,45
MUC-H8	34,57	65,43	2,72	5,36	11,34	44,74	29,84	5,99
MUC-S2	32,57	67,43	2,08	1,35	10,28	42,60	28,73	14,96
Harç Ort.	48,63	51,37	2,57	4,01	11,57	45,82	27,72	8,29

(*) TA: Toplam agrega oranları, TB: Toplam bağlayıcı oranları
 (**) Sarı renkle belirtilen oranlar ağırlıklı agrega içeriğini belirtmektedir.



Res. 7: Malatya Ulu Cami harç ve sıva örneklerinde; (a) agrega/bağlayıcı toplam oranlarının dağılımı, (b) sistematik eleme sonucu tespit edilen agregaların dağılımı (Granülometrik Analiz)



Res. 8: Malatya Ulu Cami harç ve sıva örnekleri agregaları (asidik işlem sonrası)

Malatya Ulu Cami’den alınan taş, sıva, harç ve tuğla/çini malzeme örneklerinin ince kesitleri hazırlanarak “optik mikroskopta” incelemeye alınmıştır. İnce kesitler hazırlanırken sıva ve harç örneklerinde sertleştirme işlemi uygulanmış, tuğla/çini ve taş örneklerde ise herhangi bir işlem uygulanmayarak doğrudan kullanılmıştır. Tüm tabakaların dıştan içe doğru gösterilmesine dikkat edilmiştir.¹³ İncelemelerde kullanılan optik mikroskop alt/üstten aydınlatmalıdır (Leica Research Polarizan DMLP). “Leica DFC280” marka, mikroskoba bağlı dijital kamera ile fotoğraflamalar, “Leica Qwin Digital Imaging” programı ile değerlendirilmeler yapılmıştır. “Point Counting Programı” ile ise agrega içeriğindeki mineral ve kayalar tanımlanmıştır (Tab. 6a-6e ve Res. 9).

Tablo 6a: Malatya Ulu Cami taş örneklerinin petrografik özellikleri

Örnekler (Taş)	Kayaç Türleri	Doku	Sertlik (Mohs)	Kayaç ve Mineraller*
MUC-T1, MUC-T5, MUC-T8, MUC-T12, MUC-T14	Traki-andezit	Hiyalopilitik Porfirik	4 - 5	Pl,Sn,By,Op,Am
MUC-T6, MUC-T7	Gölsel Kireçtaşı	Mikritik	2 - 3	C matriks, Fs
MUC-T13	Andezit	Hiyalopilitik Porfirik	3 - 4	Q,Py,Pl,By,Op

¹³ Kerr 1977; Rapp 2002.

Tablo 6b: Malatya Ulu Cami çini örneklerinin petrografik özellikleri

Örnekler (Çini)	T (°C)	P (%)	MTA (%)	Kayaç ve Mineraller*	Agrega Boyutu	Kayaç Kökeni
MUC-B4a MUC-B4b MUC-B4c	900-950	3	70	Q,Pl,Py,By,Am,Op	İri**	Andezit

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

Tablo 6c: Malatya Ulu Cami tuğla örneklerinin petrografik özellikleri

Örnekler (Tuğla)	T (°C)	P (%)	MTA (%)	Kayaç ve Mineraller*	Agrega Boyutu	Kayaç Kökeni
MUC-B1	900-950	3	70	Q,Pl,Py,By,Am,Op	İri**	Andezit
MUC-B2	850-900	18	25	Q,Pl,Sn,Op	İnce	Traki-andezit
MUC-B3 MUC-B5	850-900	15	45	Q,Ç,Pl,By,A,Op	İri	Andezit
MUC-B6	750-800	5	25	Q,K,Ç,Pl,Sr	İnce	Killi Kireçtaşı
MUC-B7	800-850	5	55	Q,Ç,Pl,Py,Op,TK(%2)	İnce	Silttaşı

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

Tablo 6d: Malatya Ulu Cami harç örneklerinin petrografik özellikleri

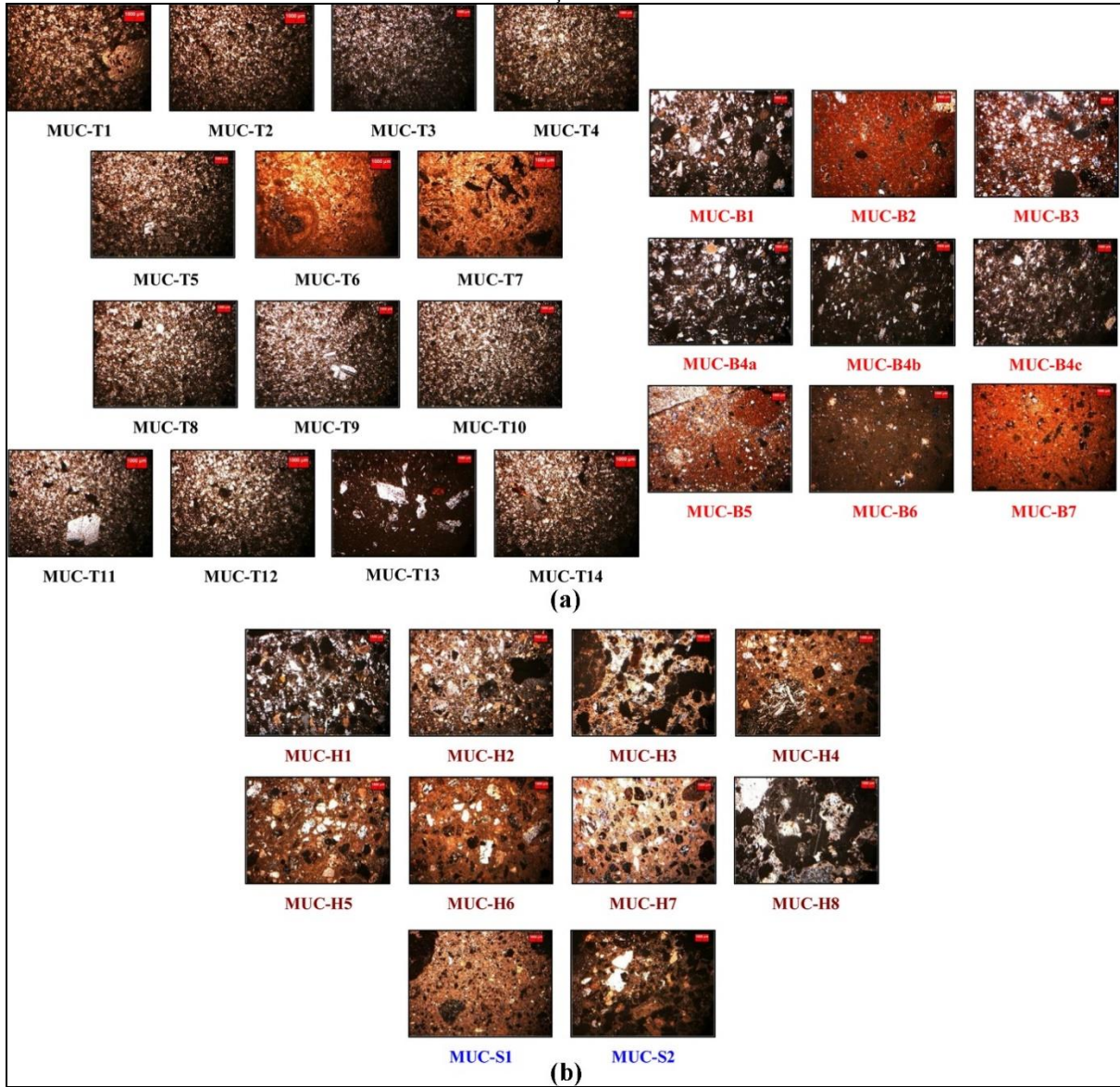
Örnekler	MTB (%)	MTA (%)	Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100)				Matriks Agregası İçeriği (%100)		
			Kireç	Kil	Çm	Alçı	Kayaç & Mineraller*	TK	Org
MUC-H1, MUC-H2	15	85	40	15	-	45	99 (Q,Ç,Pl,Py,Op)	1	-
MUC-H3	15	85	20	15	65	-	100 (Q,Ç,Pl,Py,Op)	-	-
MUC-H4, MUC-H5 MUC-H6, MUC-H7	25	75	90	10	-	-	100 (Q,C,By,A,Op)	-	-
MUC-H8	35	65	85	15	-	-	98 (Q,K,Ç,Pl,St,Kt,F)	2	-

Tablo 6e: Malatya Ulu Cami sıva örneklerinin petrografik özellikleri

Örnekler	MTB (%)	MTA (%)	Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100)				Matriks Agregası İçeriği (%100)		
			Kireç	Kil	Çm	Alçı	Kayaç & Mineraller*	TK	Org
MUC-S1	55	45	-	15	85	-	100 (Q,Ç,Pl,Py,Op)	-	-
MUC-S2	25	75	35	-	65	-	100 (Q,C,K,Ç,Pl, Py,B,Dy,Op)	-	-

(*) A: Andezit, B: Bazalt, C: Kalsit, Ç: Çört, Çm: Çimento, Dy: Diyabaz, Fs: Fosil ve Fosil Kavkuları, K: Kireçtaşı, Kt: Kumtaşı, MT/A: Mermer Tozu/Alçı, MTA: Matriks Toplam Agregası Oranı, MTB: Matriks Toplam Bağlayıcı Oranı, Op:

Opak Mineraller, Org: Organik İçerik, Pl: Plajiyoklas, Q: Kuvars, Sn: Sanidin, Sr: Serizit, St: Silttaşı, TK: Tuğla Kırığı Parçaları



Res. 9: Malatya Ulu Cami; (a) taş ve tuğla/çini örneklerinin ince kesit mikro fotoğrafları, (b) harç ve sıva örneklerinin ince kesit mikro fotoğrafları

XRF analizi elementin cinsini ve bu elementin madde içerisindeki derişimini belirlemede kullanılmaktadır. Optik yayılım spektrografisi prensipleriyle ilgili olan analizde atomlar yüksek enerjiye sahip radyasyonla uyarılmakta, uyarılan elektronların ilk sahip oldukları enerji düzeyine indiklerinde bünyelerinde oluşan fazla enerjinin X ışınları şeklinde geri vermeleri değerlendirilmektedir. “Floresan ışımaya” adı verilen X ışınları yayılımının dalga boyları da ayırt edici bir özellik olarak kullanılmaktadır.¹⁴

Malatya Ulu Cami’den örneklenen çini sırası örneklerin SPECTRO-MIDEX-M model Mikro-XRF cihazı ve noktasal Mikro-XRF analizi yoluyla kimyasal bileşimleri belgelenmiştir (Tab. 7). Cihaz; mikroprosesör kontrole sahiptir ve çoklu element analizini eş zamanlı, art arda bir program sürecinde yapmakta, kayaç, mineral veya çeşitli toz, sıvı, katı ve film numunelerin kimyasal analizlerinin yapımında kullanılmaktadır.

¹⁴ Shackley 2011.

Tablo 7: Malatya Ulu Cami çini sırlarının noktasal Mikro-XRF analizi ile belirlenen kimyasal bileşimleri

Element	Birim	MUC-P1	MUC-P2a	MUC-P2b	MUC-P2c
Mg	%	0,400	0,400	7,50	10,20
Al		0,870	0,890	2,82	3,31
Si		37,40	38,30	12,60	13,86
P		0,025	0,024	0,090	0,090
S		0,080	0,098	0,080	0,080
Ti		0,018	0,101	0,055	0,055
V		0,012	0,012	0,007	0,007
Cr		0,009	0,009	0,006	0,006
Mn		0,018	0,077	1,29	1,23
Fe		1,06	2,11	0,417	0,494
Co		0,006	0,020	0,004	0,004
Ni		0,013	0,025	0,002	0,003
Cu		7,87	6,93	0,049	0,052
Zn		0,019	0,215	0,003	0,003
Ga		0,208	0,072	0,001	0,001
Zr		0,050	0,050	0,050	0,050
Nb		0,414	0,401	0,134	0,127
Mo		1,38	0,627	0,106	0,108
Pd		0,012	0,012	0,005	0,006
Ag		0,014	0,013	0,006	0,006
Cd	0,021	0,020	0,007	0,008	
In	0,023	0,057	0,009	0,009	
Sn	16,69	12,92	0,026	0,047	
Sb	0,599	0,427	0,017	0,015	
W	0,025	0,009	0,025	0,004	
Pb	33,79	36,72	0,247	0,295	

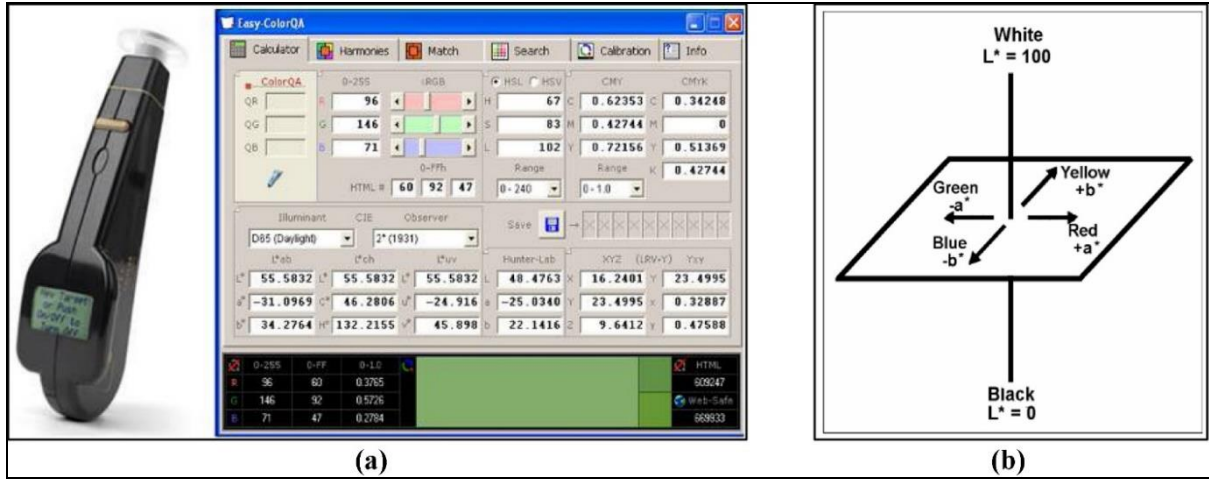
(*) Kırmızı renkle belirtilen elementler kimyasal içerikte etkisizdir.

Çini sırları üzerindeki renkler (Tab. 8 ve Res. 10, 11) kromametrik analiz yoluyla tespit edilmiştir. Renk tespitleri, standart renk sistemi olan “CIE L*a*b* (Commission Internationale de L’Eclairage)” göz önünde tutularak yapılmıştır. (L) rengin açıklık değerini,

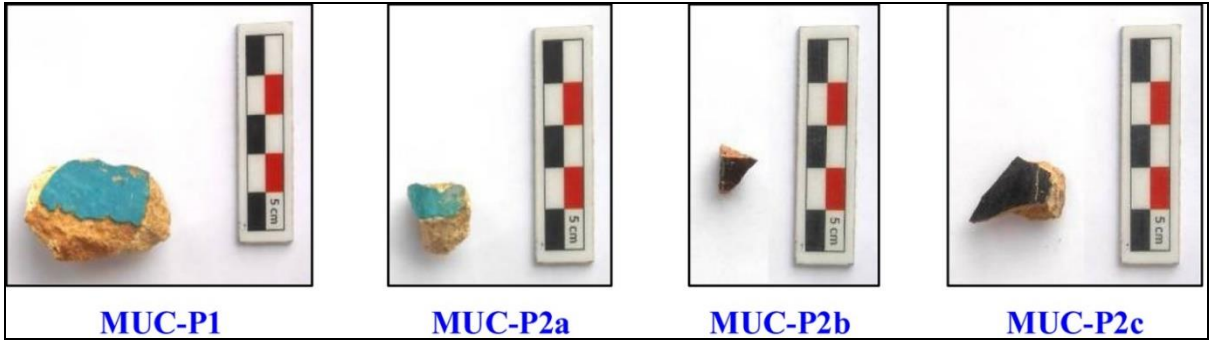
(+a) rengin kırmızı yoğunluk değerini, (-a) renkteki yeşil yoğunluk değerini, (+b) renkteki sarı yoğunluk değerini ve (-b) ise renkteki mavi yoğunluk değerini betimlemektedir.¹⁵

Tablo 8. Malatya Ulu Cami çini sıırı örneklerinde belirlenen renk kodları (L*a*b*)

Örnekler	L	a	b	Görünen Renk
MUC-P1	43,15	-13,38	-10,64	turkuaz
MUC-P2a	36,72	-14,04	-3,78	turkuaz
MUC-P2b	16,19	4,42	0,91	bordo
MUC-P2c	13,23	0,00	0,00	siyah



Şekil 10: Renk analizi; (a) Renk ölçer ve değerler, (b) CIE L*a*b* renk kodu sistemi



Res. 11: Malatya Ulu Cami çini sıırı örnekleri

3. Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

Çeşitli dönemlerde müdahaleler sonucunda değişiklikler geçiren ve tahribata uğrayan Malatya Ulu Camisine ait yapı malzemelerinin arkeometrik analiz çalışmaları, yapıdan örnekler alınmasıyla birlikte başlamıştır (Tab. 1, 2a, 2b ve Res. 3, 5).

Malatya Ulu Cami'nin arkeometrik incelemeleri; ana yapı malzemesini oluşturan taşların, dekoratif ve yapısal nitelik taşıyan tuğla ve çinilerin, taş/tuğla duvar örgülere ait derz harçlarının, taş sütun üzerini kaplayan sıvaların ve çinili tuğlalar üzerinde yer alan sırların analizlerini içermektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzeme örnekleri ilk olarak görsel olarak değerlendirilmiş, malzemelerin türlerine göre ayrılmış, gruplandırılmış ve belgelenerek kodlanmıştır (Tab. 1, 2a, 2b ve Res. 4).

¹⁵ Ohno 2007.

Malatya Ulu Cami'den alınan taş ve tuğla/çini numunelere fiziksel testler yapılarak su emme oranları ve gözeneklilik durumları (Tab. 3a, 3b), kondaktometrik analizleri ve spot tuz testleri uygulanarak suda çözünen tuz içerik ve türleri belirlemiştir (Tab. 4a, 4b). Sıva ve harçlarda granülometrik ve asidik agrega/bağlayıcı analizi yapılarak agrega/bağlayıcı oranları ile tane boyutları ve bunların dağılımları tespit edilmiştir (Tab. 5 ve Res. 6-8). İnce kesit optik mikroskop analizi ile petrografik özellikler ve tanımlamalar belirlenmiş (Tab. 6a-6e ve Res. 9), noktasal Mikro-XRF analizi ile çini sırlarının kimyasal bileşimleri ortaya koyulmuştur (Tab. 7). Çini sırlarının renkleri ise kromametrik analiz yoluyla anlaşılmıştır (Tab. 8 ve Res. 10, 11).

3.1. Taş Örnekler

Malatya Ulu Cami'nin yapısını oluşturan taşlar yoğunlukla traki-andezit (volkanik), kireçtaşı (sedimanter) ve andezit (volkanik) türlerindedir (Tab. 6a). Temel fiziksel testler sonucunda yapısal traki-andezit türü taşların doygun/kuru birim hacim ağırlıkları (BHA) sırasıyla 2,40-2,54 g/cm³ (ort. 2,46 g/cm³) / 2,21-2,42 g/cm³ (ort. 2,30 g/cm³) aralığında, su emme kapasiteleri toplamda (SEK) %0,29-4,95 (ort. %2,97) aralığında ve toplam gözeneklilikleri de %0,68-11,17 (ort. %6,71) arasında değişim göstermektedir (Tab. 3a). Daha sınırlı sayıdaki kireçtaşı (MUC-T6 ve MUC-T7) ve andezit (MUC-T13) örneklerin fiziksel özellikleri de elde edilmiştir (Tab. 3a). Yapısal özellikleri ile düşük yoğunluğa ve yüksek gözenekliliğe sahip olan taşların dayanımı daha düşüktür. Kayaç kökeni (volkanik) bakımından düşük gözenekliliğe sahip traki-andezit örnekler; ortalama değerlerde dayanım verilerine sahiptirler. Traki-andezit örnekler içinde MUC-T3 en yüksek, MUC-T4 ise en düşük dayanım verilerine sahip örneklerdir (Tab. 3a). Traki-andezit ve kireçtaşı örnekler kendi örnek grupları içinde düşük dayanım verilerine sahiptir. Bununla beraber andezit (MUC-T13) örnek de oldukça düşük fiziksel test verilerine sahiptir (Tab. 3a).

Taş örneklerin pH değerleri, içerdikleri tuz (anyon) çeşitleri ve su içerisinde çözünen toplam tuz miktarları tespit edilmiştir. Örneklerin zayıf bazik ortam şartlarını taşıyan pH değerleri 8,55-8,81 (ort. 8,68), içerdikleri toplam tuz miktarı da %0,43-2,36 (ort. %1,31) değerindedir (Tab. 4a). Toprak içerisinde >%0,15 değeri tuzlanmanın yüksek miktarda olduğunu belirtmektedir (Dursun, 2008). Kondaktometrik iletkenlik analizi sonucunda taşların genel anlamda yüksek değerlerde toplam tuz içerdikleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda en yüksek tuz içeriği MUC-T2 örneğinde, en düşük tuz içeriği ise MUC-T10 örneğin de görülmüştür.

Taş numuneler içeriklerindeki tuz türleri bakımından değerlendirildiğinde; taşların değişen miktarlarda nitrit (0,050-0,100 mg/L), nitrat (10-100 mg/L) ve fosfat (0,200-0,600 mg/L) içerdikleri anlaşılmıştır (Tab. 4a). Kaynağını, ayrışan taşlar, derz harçları (karbonatlaşma) ve çevresel etkilerden (egsoz gazlarından nitrit/nitrat ve vejetasyon ve kuş dışkılarından fosfat) alan taşlar, zayıf bazik ortamda, bünyesel nitelikleri dolayısı ile tuzlanmaktadır. Bununla beraber taşlara taşıma yoluyla ulaşan tuzlar mevsimsel etkilerle (özellikle yağışlı dönemlerde) değişen oranda yıl içinde farklılıklar gösterebilmektedir.

“İnce kesit optik mikroskop analizi” ile petrografik açıdan incelenen taşlar yoğunlukla volkanik kökenli traki-andezit, gösel alt türde kireçtaşı ve andezit olarak sınıflandırılmıştır (Tab. 6a ve Res. 9). Kireçtaşı örnekler yapısal olarak fosil ve fosil kavkıları da içermektedir. Traki-andezit örnekler bozulma ürünü olarak opaklaşmış biyotitler içermektedir (Res. 9). Andezit örnek (MUC-T13) oldukça ileri derecede bozulmaya uğramıştır.

3.2. Tuğla ve Çini Örnekler

Fiziksel testler Malatya Ulu Cami'den örneklenen tuğla örneklerine de uygulanmıştır. Test verileri incelendiğinde, birim hacim ağırlıkları (BHA) doygun/kuru sırasıyla 2,19-2,33

g/cm^3 (ort. $2,29 \text{ g/cm}^3$) / $1,28-1,78 \text{ g/cm}^3$ (ort. $1,48 \text{ g/cm}^3$) aralığında, toplam su emme kapasiteleri (SEK) %13,18-34,56 (ort. %25,21) aralığında ve gözeneklilikleri de toplam %23,52-44,34 (ort. %35,41) arasında değişim göstermektedir (Tab. 3b). Tuğla örneklerin fiziksel olarak $1,80 \text{ g/cm}^3$ 'ün üzerinde birim hacim ağırlığa ve %30'un altında gözenekliliğe sahip olması durumunda dayanımları yüksektir.¹⁶ Malatya Ulu Cami'den örneklenen tuğla örneklerden MUC-B3 (onarım) ve MUC-B6 örnekleri yüksek, diğer örnekler ise düşük dayanımdadır (Tab. 3b).

Tuğla örnekler içerisinde değişen miktarlarda nitrit (0,100 mg/L), fosfat (0,200 ve 0,400 mg/L) ve nitrat (10-50 mg/L) ve türü tuzlar bulunmaktadır. Bazik ortam altında örneklerin pH'ları 8,52-8,70 arasında (ort. 8,61), tuz içerikleri ise toplamda %0,31-1,84 arasında (ort. %0,83) değerindedir. Gözenekli yapıdaki tuğla örnekler yüksek oranlarda tuzlanma içermektedir. Onarım tuğla örneği (MUC-B3) oldukça yüksek toplam tuz içeriği ile dikkat çekmektedir (Tab. 4b). Örneklerde tuzların kaynağını çevresel etkiler (egsoz gazlarından nitrit/nitrat ve vejetasyon ve kuş dışkılarından fosfat) oluşturmaktadır. Tuzlanmanın olumsuz etkisi nemli ortam şartlarında, tuğlalarda taşlara göre daha yüksek oranda olmaktadır.

Tuğla ve çini örneklerin "ince kesit optik mikroskop analizi" ile petrografik özellikleri belirlenmiştir. Tuğla örnekler 5, çini numuneler ise tek grup altında sınıflandırılmıştır (Tab. 6b, 6c). Örneklerin boşluklu yapısı (gözenekliliği), kil yapısı ve karbonat içeriği değerlendirilerek tuğla örneklerin $750-950^\circ\text{C}$ aralığında, çini örneklerin de $900-950^\circ\text{C}$ aralığında pişirilerek üretildiği anlaşılmıştır (Tab. 6b, 6c ve Res. 9). Matriks boşluk oranları örneklerde %3-18 arasında değişmektedir (Tab. 6b, 6c). Tuğla örnekler ince ($<0,5 \text{ mm}$) ve iri ($>1,0 \text{ mm}$) boyutta, çini örnekler ise iri boyutta ($>1,0 \text{ mm}$) agregalardan oluşmaktadır (Res. 9). Örneklerin toplam agrega içeriği (MTA) de %25-70 arasında değişim gösteren heterojen dağılımlı, kırıklı/köşeli yapıda agregalar oluşturmaktadır (Tab. 6b, 6c ve Res. 9). Tuğla örneklerin agrega içeriğini; andezit, traki-andezit, killi kireçtaşı ve silttaşı, çini örneklerin ise andezit türü kayaçların ayrışmasını yansıtan agregalar oluşturmaktadır. Tuğla örnekler içinde MUC-B7 numunesinin agrega içeriğinde toplam agreganın %2'sini kapsayacak şekilde tuğla kırığı parçaları da bulunmaktadır (Res. 9).

3.3. Harç ve Sıva Örnekler

Malatya Ulu Cami'nin taş ve tuğla duvar örgüleri derzlerindeki harçlar ile cami duvar örgü yüzeylerindeki sıva örneklerin bağlayıcı/agrega oranları asidik agrega/bağlayıcı analiziyle belirlenmiştir. Harç örneklerin karbonatsız toplam agrega içeriği %38,34 arasında (ort. %51,37) değişmekte, sıva örneğin ise %67,43 değerindedir (Tab. 5). Toplam agrega/bağlayıcı oranları değerlendirmesi ile özgün/onarım sıva ve harç örneklerinin ortalama/yüksek oranlarda toplam agrega içeriklerine sahip oldukları anlaşılmıştır. Bunun nedeni örneklerin benzer hammadde içerikleri ya da benzer uygulama/işçilik ile açıklanabilir. Sıva ve harç örneklerde karbonat içerikli olmayan agrega oranları (toplam) geleneksel uygulamalarda görülen (agrega/bağlayıcı) 2/1 karışım oranına çoğunlukla (MUC-H4, MUC-H5 ve MUC-H6 hariç) uyum göstermektedir.

Malatya Ulu Cami ve minaresinin duvar örgülerini oluşturan derzlerindeki harçlar ile taş (sütun) yüzeyleri örten sıvanın asidik işleminden sonraki agregaların granülometrik ayrımları $<63 \mu\text{m} - 1000 < \mu\text{m}$ elek aralığında 6 farklı bölümde yapılmıştır. Kil/silt ($<63 \mu\text{m}$ Ø) boyutlu agrega oranı sıva örneğinde %2,08 değerinde iken harç örneklerde %1,79-4,07 arasında (ort. %2,57) değişmektedir. Harç numunelerin çok iri kum boyutlu ($>1000 \mu\text{m}$ Ø) agrega içeriği %3,07-20,58 arasında (ort. %8,29) değişmekte, sıvanın ise %14,96 değerindedir

¹⁶ Özışık 2000.

(Tab. 5). Silt/kum boyutlu agrega içeriği ise %100'e tamamlanan oranda diğer agregaların dışındaki değerlerdedir (Tab. 5 ve Res. 7a). Sıva ve harç örneklerin temel agrega içeriğini ortalama ve iri kum boyutlarında (250-1000 µm Ø) agregalar birlikte oluşturmaktadır.¹⁷

Özgün/onarım harç ve sıva örneklerden elde edilen agregalar binoküler mikroskop ile incelenerek içerikleri ve tanecik türleri belirlenmiştir. Bunun sonucunda agregaların fiziksel şekilleri yoğunlukla yuvarlanmış (MUC-H1 ve MUC-H2 hariç) ve iri taneli olarak tespit edilmiştir (Res. 8).

Sıva ve harç örnekler petrografik açıdan ince kesit optik mikroskop analizi ile detaylı olarak incelenmiştir. Sıva örnekler 2, Agrega/bağlayıcı bileşimleri incelenen harç örnekler ise 4 farklı grupta incelenmiştir (Tab. 6d, 6e ve Res. 9b). Nitelikli (özgün) harç ve sıva örneklerin bağlayıcı içeriğinde kireç/kil ve kireç/kil/alçı (MUC-H1 ve MUC-H2 örneklerinde) karışımı, onarım harç (MUC-H3) ve sıva örneklerinin ise bağlayıcı içeriğinde ise çimento/kireç, çimento/kil ve kireç/kil/çimento olduğu anlaşılmıştır (Tab. 6d, 6e ve Res. 9b).

Çoğunluğu özgün nitelik taşıyan harç örneklerin tespit edilen toplam matriks agrega içeriği %65-85 arasında, sıvalarda ise %45 ve %75 değerlerindedir (Tab. 6d, 6e ve Res. 8b). Özgün harç örneklerin agrega içeriğinde toplam agreganın %1-%2'si oranında tuğla kırığı parçaları varlığı belirlenmiştir (Tab. 6d ve Res. 9b).

3.4. Çini Sır Örnekleri

Malatya Ulu Cami'nin iç avlu ve kapı kenarında yer alan dekoratif çinilerin sırlarının kromametrik analiz ile renkleri tanımlanmıştır (Tab. 7 ve Res. 10, 11). Sırasıyla turkuaz, bordo ve siyah renkteki çini örneklerinin renk değerleri L*a*b renk kodları ile belirtilmiştir (Tab. 8 ve Res. 10).

Çini sırlarının noktasal Mikro-XRF analiziyle kimyasal bileşimleri de belirlenmiştir (Tab. 7). Analiz edilen çini sırlarından MUC-P2b ve MUC-P2c örneklerinin bileşimlerini yoğunlukla alüminyum (Al), magnezyum (Mg) ve silisyum (Si) oluşturmaktadır. Yeşil renk genelde bakır (Cu) kullanılarak, bordo veya patlıcan moru gibi renkler de mangan (Mn) kullanılarak elde edilmektedir. Çini sırlarından MUC-P1 ve MUC-P2a turkuaz örneklerinde renk veren elementler; bakır (Cu), demir (Fe), kalay (Sn) ve kurşun (Pb) başta olmak üzere kobalt (Co), çinko (Zn, MUC-P2a için) ve molibden (Mo, MUC-P1 için)'dir (Tab. 7 ve Res. 11). MUC-P2b ve MUC-P2c bordo ve siyah renkli örnekler için de mangan (Mn, bordo) elementinin renk verici etkisi demir (Fe) ile beraber bulunmaktadır. Bu örneklerde yüksek olmayan ama belirgin bir kurşun (Pb) içerik de belirlenmiştir (Tab. 7 ve Res. 11).

Sonuç ve Öneriler

Malatya Ulu Cami, Selçuklular döneminden kalan nadir dini yapılardan bir tanesi olması sebebiyle büyük öneme sahiptir. Taş ve tuğla işçiliğinin yanı sıra çini malzemenin süsleme unsuru olarak kullanılması yapıya ayrı bir değer katmaktadır. Cami günümüze kadar farklı müdahaleler sonucu değişime uğramakla birlikte 2020 yılında meydana gelen deprem sonrasında hasar görmüştür. Yapının korunarak yaşatılması amacıyla restorasyon yapılması gerekmektedir. Restorasyon uygulamasında ise en önemli unsurlardan bir tanesi yapıda mevcut olan malzemelerin analizlerinin yapılarak özelliklerinin belirlenmesidir. Bu durum uygulama sırasında doğru malzeme kullanımıyla birlikte müdahalenin de uygun yapılabilmesini olanaklı kılmaktadır.

Malatya Ulu Cami'de malzeme olarak tuğla, taş, çini, sıva ve harç kullanıldığı tespit edilmiştir. Arkeometrik açıdan incelenen malzemeler farklı metotlar ile teste tabi tutulmuş ve tanımlanmıştır. Camide kullanılan taş malzeme türlerinin büyük oranda volkanik (traki-

¹⁷ Wentworth 1922, 391.

andezit, andezit) ve sedimanter (kireçtaşı) kökenli oldukları belirlenmiştir. Kondaktometrik analiz sonucunda ise taşların genel olarak yüksek tuz içeriğine sahip oldukları tespit edilmiştir. En çok bozulmanın ise andezit örnekte olduğu görülmüştür.

Yapıya ait tuğla örnekler hem özgün hem de onarım sonrası malzemelerden alınmıştır. Buna bağlı olarak onarımda kullanılan tuğla malzemelerin dayanımlarının özgün örneklerle göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte tüm tuğlalarda yoğun tuz içeriği saptanmıştır. Sıva ve harçlarda agrega/bağlayıcı oranı yaklaşık olarak 2/1'dir. Bu geleneksel uygulamalara uyumlu bir sıva kullanımına işaret etmektedir. Bağlayıcı içeriği olarak ise özgün harç/sıva örneklerde kireç/kil/alçı kullanıldığı, onarım harç/sıva örneklerde ise kireç/çimento/kil kullanıldığı belirlenmiştir. Çini sırlarında ise renklerin göre bakıldığında turkuaz örneklerde bakır, demir, kalay elementleri, bordo ve siyah örneklerde ise mangan ve demir elementleri yoğundur.

Çalışma ile elde edilen tüm veriler restorasyon aşamasında kullanılarak malzemelerin uygun şekilde kullanılmasına olanak vermektedir. Bu sebeple tüm tarihi yapıların kendilerine özgü malzeme özelliklerinin belirlenmesi önemlidir.

Yazarların Katkısı / Author Contributions: Çalışmaya; Yazar 1: % 40, Yazar 2: % 40, Yazar 3: % 20 oranında katkı sağlamıştır. / To work; Author 1: 40%, Author 2: 40%, Author 3: 20%, contributed to the study.

Çıkar Çatışması / Conflicts of Interest: Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. / The authors declare no conflict of interest.

Kaynakça

- Akyol, A. A. 2019, "Sivrihisar Ulu Cami Yapı Malzeme Analizleri", *Akdeniz Sanat Dergisi*, 13, 37-55.
- Akyol, A. A.-Yılmaz, M. 2020, "Hasankeyf Sultan Süleyman Cami Minaresi Harç Örneklerinin Arkeometrik Analizleri", *Akdeniz Uygarlıkları Araştırma Dergisi – Cedrus*, VIII, 643-658.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1984, *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Core Specimens, Soil and Rock, Building Stones* (Vol. 4.08). Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Pennsylvania.
- Arık, M. O. 1969, "Eski Malatya Ulu Camiinin Asli Planı ve Tarihi Hakkında", *Vakıflar Dergisi*, 8, 141-148.
- 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*, Wisconsin-USA.
- Brady, N. C.-Weil, R. R. 2004, *Elements of the Nature and Properties of Soils*, New Jersey-USA.
- Eskici, B. 2007, "Eski Malatya Ulu Camii ve Cumhuriyet Dönemi Onarımları Üzerine", *Konya Kitabı*, X, Konya, 361-370.
- Feigl, F. 1966, *Spot Test in Organic Analysis*, Amsterdam.
- Göyünç, N. 1973, "Kanûnî Devrinde Malatya Şehri", *VII. Türk Tarih Kongresi*, (25-29 Eylül 1970), Ankara, 654-659.

- Güleç, A. 2013, "Fatih Camii ve I. Mahmut Kütüphanesi Harç ve Sıvalarının Karakterizasyonu", *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 7, 110-118.
- ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü. 1999.
- Kerr, P. F. 1977, *Optical Mineralogy*, New York.
- Means, R. E.-Parcher, J. V. 1963, *Physical Properties of Soils*, Ohio-USA.
- Ohno, Y. 2007, *Spectral Colour Measurement, in CIE Colorimetry: Understanding the CIE System*, New York.
- Özışık, G. 2000, *Yapı Mühendisliğinde Tuğla Elemanlar ve Yapı Sistemleri*, İstanbul.
- Rapp, G. 2002, *Archaeomineralogy*, Berlin.
- RILEM. 1980, *Research and Testing, Materials and Construction 13*, Paris.
- Sayın, B. 2016, "Tarihi Yığma Yapıların Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Uygulama Önerileri", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 7/3, 387-398.
- Shackley, M. S. 2011, "An Introduction to X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology", (Ed. M. Shackley), *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, New York, 7-44.
- 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.
- URL 1 (Google Earth) <https://www.google.com/earth>
- Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi*, 2022, "Malatya Ulu Cami Vaziyet Planı Çizimi".
- Venedik Tüzüğü*. 1964.
- Wentworth, C. K. 1922, "A Scale of Grade and Glass Terms for Clastic Sediments", *Journal of Geology*, 30, 377-392.