



Haho (Khakhuli) kilisesi dolgu harçlarının arkeometrik analizi ve restorasyon önerisi

Archeometric analysis and restoration proposal for Haho (Khakhuli) church filling mortar

Murat Eroğlu¹, Evren Kavali², Fatma Zehra Çakıcı^{3*}

¹Arkeoloji Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye.

m_eroglu74@yahoo.com

²T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

evren.kavali@ktb.gov.tr

³Mimarlık Bölümü, Tasarım, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.

fzehra.cakici@atauni.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 05.07.2025

Düzeltilme Tarihi/Revision: 20.11.2025

doi: 10.65206/pajes.33581

Kabul Tarihi/Accepted: 26.12.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bagrat Krallığı döneminde 10. yüzyılda inşa edilen Haho (Khakhuli) Kilisesi, geçmişte Tao-Klarjetie bölgesi olarak bilinen ve günümüzde Erzurum ili, Tortum İlçesi, eski adı Haho olan Bağbaşı Köyü sınırları içinde yer almaktadır. Orta çağda önemli bir eğitim kurumu olan manastır çevresel etkiler ve tekrarlanan doğal afetler sonucunda zaman içerisinde yıpranarak deforme olmuştur. Yapının yaşamını sürdürülebilmesi için restorasyon çalışmalarının yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu çalışmanın temel amacı Haho Kilisesi moloz duvar dolgu harcının özelliklerinin analitik yöntemlerle tespit edilmesi ve yapının restorasyonunda kullanılacak dolgu harcı için öneri geliştirilmesidir. Deneyisel metodolojinin kullanıldığı bu çalışma kapsamında, kilisenin duvar örgüsünde kullanılan dolgu harcımdan alınan örneklerin hammadde özellikleri fiziksel, kimyasal ve petrografik analizlerle belirlenmiştir. Analiz çalışmaları sonucunda, harçların agrega-bağlayıcı özellikleri ile agrega içeriği petrografik olarak belirlenmiş olup, örneklerin hiçbirinde çimento kullanılmadığı, bağlayıcı olarak kireç kullanıldığı, tüm numunelerin puzolan içerdiği ve tüm örneklerde tuğla kırığı bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan arkeometrik analiz verileri ışığında yapının restorasyonunda kullanılabilecek dolgu harcı önerisi geliştirilmiştir. Yapılan çalışmanın diğer tarihi yapıların restorasyon sürecine rehber olması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Tao-Klarjetie, Haho, kilise, arkeometri, harç, petrografi

Abstract

Haho (Khakhuli) church, built in the 10th century during the Bagrat Kingdom, is located within the borders of Bağbaşı Village, formerly known as Haho, in Erzurum province, Tortum District. The monastery, which was an important educational institution in the Middle Ages, was deteriorated over time due to environmental impacts and repeated natural disasters. Restoration work has become inevitable for the building to survive. The main purpose of this study is to determine the properties of the Haho Church rubble wall filling mortar using analytical methods and to develop a prescription for the filling mortar to be used in the restoration of the building. In this study, employing an experimental methodology, the raw material properties of samples taken from the filling mortar used in the church's masonry were analyzed through physical, chemical, and petrographic analyses. Petrographic analysis revealed the aggregate content and binding characteristics of the mortars. It was found that none of the samples contained cement; instead, lime was used as a binder, all samples included pozzolanic materials, and brick fragments were consistently present. Based on the archaeometric data obtained, a compatible filling mortar formulation was developed for use in the building's restoration. The findings of this study are intended to support the restoration of similar historical structures.

Keywords: Tao-Klarjetie, Haho, church, archaeometry, mortar, petrography

1 Giriş

Dünya genelinde arkeolojik miras bakımından en zengin bölgelerden biri olan Anadolu'da farklı uygarlıklar tarafından değişik dönemlerde inşa edilen çok sayıda kültür varlığı bulunmaktadır [1]. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın 2022 yıl sonu verilerine göre Türkiye genelinde toplam 122.144 adet tescilli, korunması gerekli taşınmaz kültür varlığı bulunmaktadır [2]. Mimarî, tarihi, toplumsal, kültürel, sanatsal ve estetik değerler taşıyan bu yapılar inşa edildikleri dönemin özelliklerini yansıtan belge niteliği taşımaktadırlar. Ancak, doğal afetler, iklim koşulları, çevresel etkiler, yanlış müdahaleler ve onarımlar yapıların eskimesine ve zamanla yok olmasına sebep olmaktadır. Kültürel değerlerin korunması ve yaşatılmasının yanı sıra nesiller arası bilgi aktarımının

sürdürülebilmesi için tarihi yapıların restore edilerek korunması gereklidir. Bu bağlamda, tarihi yapıda kullanılan özgün malzemelerin içerik ve özellikleri deneyisel analiz yöntemleriyle belirlenmeli, elde edilen veriler ışığında müdahale kararları geliştirilmeli ve restorasyon uygulamaları alanında uzman ekipler tarafından gerçekleştirilmelidir [3-4].

Venedik Tüzüğünde [5] anıtsal eserlerin restorasyonunda geleneksel tekniklerin yetersiz kalması durumunda çağdaş teknolojinin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu bağlamda, çok sayıda bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Tarihi yapıların dokümantasyonunda ve yapının mevcut halini belgeleyen rölöve çizimlerinin oluşturulmasında üç boyutlu lazer tarama teknolojileri [6] kullanılırken, hasar tespit işlemleri için tahribatsız analizler [7] ve bilgisayar ortamında hazırlanan sayısal modeller [8] kullanılmaya başlanmıştır.

*Yazışılan yazar/Corresponding author

olup, restorasyon süreçlerinde ise karbon fiber takviyeli polimer gibi kompozit malzeme kullanımı [9] üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır.

Yapı malzemeleri, insanlık tarihini ve uygarlıkların gelişimini şekillendirmiştir [10]. Tarihi yapıların restorasyonunda kullanılacak malzemelerin özenle seçilmesi gerekmektedir. Doğru malzeme seçimi ise yapının malzeme özelliklerinin doğru tespitine bağlıdır [11]. Bu nedenle, müdahale kararları belirlenmeden önce, yapıda kullanılan malzemelerin özellikleri doğru bir şekilde tespit edilmeli ve yapının restorasyonunda kullanılacak malzemelerin bu özelliklerle uyumlu olmasına dikkat edilmelidir [12].

Tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin karakterizasyonu günümüzde arkeometrik analizlerle belirlenmektedir. Çok disiplinli olarak yürütülen arkeometrik incelemeler sayesinde örneklerin hammadde içerikleri, bağlayıcılar ve katkı malzemeleri vb. belirlenebilmektedir [13]. Yapı malzemelerine ilişkin karakterizasyon çalışmaları, hem malzeme içeriği açısından hem de ait olduğu dönemin yapıım tekniği ve teknolojisi açısından tarihe ışık tutmaktadır [14-15]. Arkeometrik olarak tanımlaması yapılan yapı malzemelerin özgününe uyumlu malzemelerle onarılması, tamamlanması, güçlendirilmesi ve yeniden üretilmesi mümkün olabilmektedir [16-18].

Mimari öğelerin yanı sıra arkeolojik buluntuların da malzeme özelliklerinin belirlenerek tarihe ışık tutan arkeometrik incelemeler sayesinde, örneklerin hammadde içerikleri ve ilave malzemeler (temper, puzolan, organik veya renklendirici katkı malzemeleri vb.) belirlenebilmektedir. Gerek arkeolojik buluntu gerekse mimari yapı malzemelerine ait karakterizasyon çalışmaları hem malzeme içeriği açısından hem de dönemin yapıım teknolojisi açısından yol gösterici olmaktadır. Konu, koruma ve onarım açısından değerlendirildiğinde, arkeometrik yönden tanımlaması yapılan mimari öğelerin özgüne çok yakın onarım malzemeleriyle güçlendirilmesi, tamamlanması ve yeniden üretilmesi mümkün olabilmektedir. Böylelikle, yapıların kendilerine has karakterlerinin ve kültürel değerlerinin korunarak gelecek kuşaklara özgün şekilde aktarılması sağlanabilir [14-18].

Literatürde, tarihi yapılarda kullanılan taş, tuğla, kiremit, metal ve ahşap gibi yapı malzemelerinin yanı sıra fresk ve kalem işi süslemelere ilişkin arkeometrik analiz çalışmaları yer almaktadır [19-21]. Ancak, tarihi arkeolojik alanlarda bolca bulunan harçlar ve puzolanik malzemelere ilişkin sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [11-12, 22-24]. Yığma yapının bütünlüğünün korunmasında önemli rol oynayan harçların bozulması halinde yapının stabilitesinin önemli ölçüde zarar görmesi, deforme olması ve yıkılması söz konusu olabilmektedir [23]. Tarihi yapıları oluşturan yapı malzemeleri arasında en çok değişkenlik gösteren malzeme harçlardır [24]. Arkeometrik analizler ışığında farklı dönemlerde farklı medeniyetler tarafından kullanılan harçların agrega:bağlayıcı oranları belirlenebildiği gibi içeriğinde kullanılan granit, mermer tozu, porselen, tuğla kırığı, volkanik tüf, kireç, protein, yağ, reçine vb. agrega ve bağlayıcı olarak kullanılan malzemeler ile fosil, bitki, saman vb. katkı malzemelerinin varlığı ve miktarları da deneysel yöntemlerle belirlenebilmektedir [25-28].

Bagrat Krallığı döneminde, Orta Çağ'da Tao-Klardjetie bölgesinde inşa edilen dini yapılardan, restorasyon projesi için hazırlık çalışmaları devam eden Haho (Khakhuli) Kilisesi bu çalışma kapsamında incelenmek üzere seçilmiştir. Arkeometrik analizler ışığında, kilisenin beden duvarlarından alınan harç

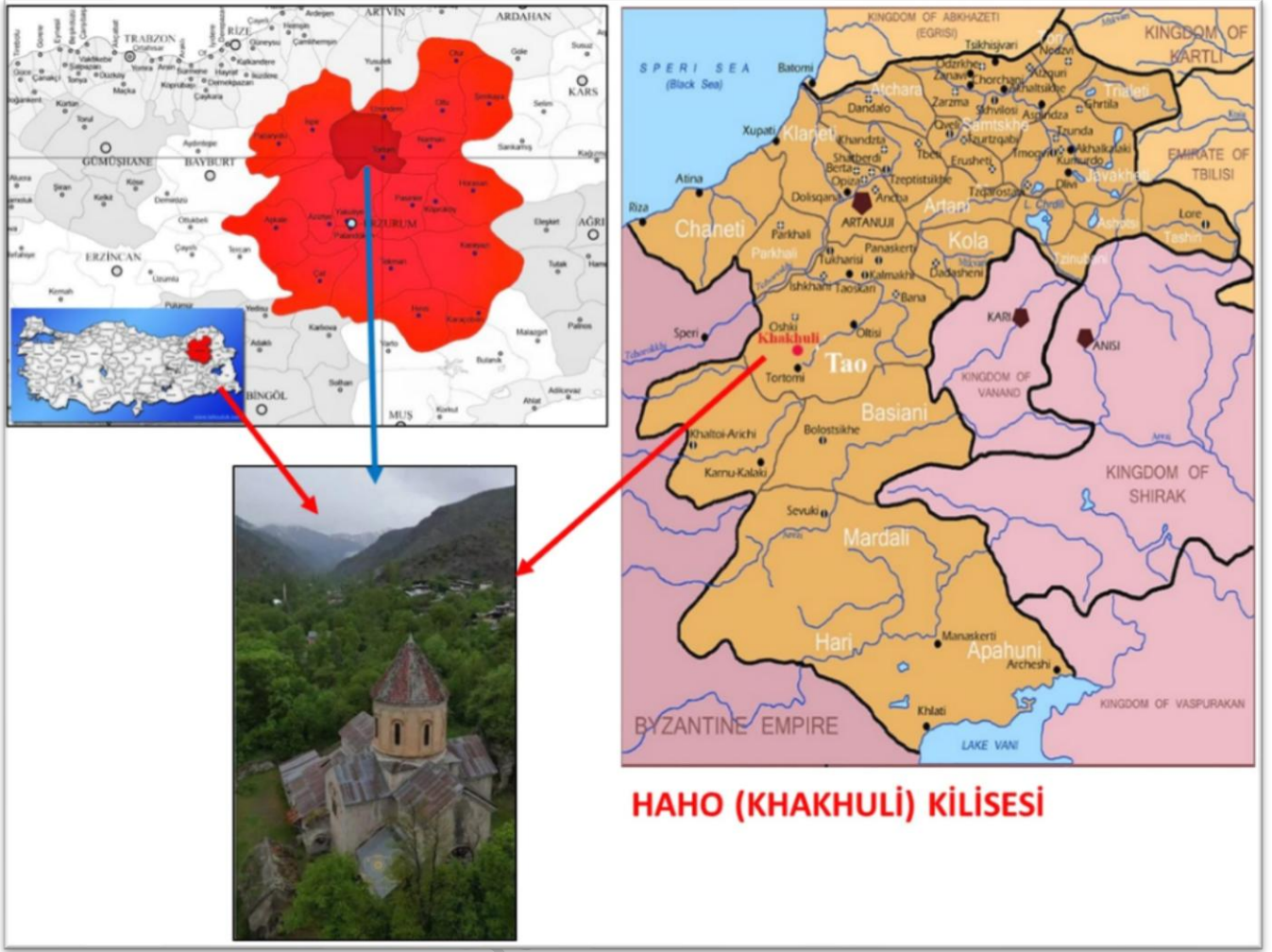
numunelerinin fiziksel, kimyasal ve petrografik özelliklerinin, standart analitik deneylerle birlikte literatürde yer alan gerekli testler ve deneyler uygulanarak belirlenmesi bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, bu çalışma, Haho Kilisesinin restorasyonunda kullanılabilecek dolgu harcı için öneri geliştirilmesini hedeflemektedir. Bu bağlamda, bu çalışmanın diğer tarihi yapıların restorasyon sürecine rehber olması hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında öncelikle Bagrat Krallığı ve Haho Kilisesi hakkında ön bilgi sunulmuştur. Materyal ve metod bölümünde örnek alma, belgeleme ve deneysel analiz yöntemleri açıklanmıştır. Elde edilen analiz sonuçları bulgular ve değerlendirme bölümünde verilmiş olup, analizlere ilişkin değerlendirmeler literatür karşılaştırmalarıyla birlikte tartışma bölümünde ele alınmıştır. Sonuç bölümünde ise arkeometrik analizlerden elde edilen veriler ışığında Haho Kilisesi restorasyonunda kullanılabilecek dolgu harcı önerisi sunulmuştur.

2 Haho (Khakhuli) Kilisesi

Bagratlılar, Tao-Klardjetie olarak adlandırılan ve günümüzde Çoruh Vadisi'nde yer alan anıtsal kiliselerin banileridir. Etimolojik kökenleri tartışmalı olan Bagratlılar hakkında yapılan araştırmalar, bu hanedanın Sper (İspir) kökenli olabileceği gibi, Kafkasya kökenli Hristiyan Türkler olma ihtimalini de gündeme getirmektedir. Bagratlı ailesinin bir kolu Ermenistan'a, diğer kolu ise Gürcistan'a yerleşmiştir. Hanedanın Tao kolunun kökeni, Prens Vasak'ın oğlu Adarnese'ye dayanmaktadır. Adarnese, Batı Cavahehi ve Artani bölgelerinin prensidir. Onun oğlu I. Aşot (Büyük Aşot), Bagratlılar arasında "kral" unvanını ilk alan kişidir ve 813 yılından sonra Bizans İmparatorluğu tarafından "Kuropolat" unvanı ile onurlandırılmıştır. Bagratlılar, bu dönemde hem kültürel hem de siyasal açıdan önemli bir merkez olan Tao-Klardjetie bölgesinde etkili bir uygarlık kurmuşlardır. Ermenistan ve Gürcistan'da Davud Peygamber'in soyundan geldikleri ileri sürülen Bagratlılar, özellikle Gürcistan'da yüzyıllar boyunca iktidarda kalmışlardır. Orta Çağ'da Kuzeydoğu Anadolu Bölgesine yerleşen Bagrat Krallığı 7-12. yüzyıllarda Tao-Klardjetie bölgesinde anıtsal eserler inşa etmiş bir uygarlıktır. Tarihi kaynaklara göre, Artvin, Ardahan, Erzurum ve Kars illerinin sınırlarını içine alan bölgede yaşadığı bilinen Artahan, Chavchetie, Klardjetie, Kola, Tao ve Tchıldırı beylikleri arasında Tao ve Klardjetie en güçlü beylikler olduğu için tüm bölge "Tao-Klardjetie" adı ile anılmıştır [29-30].

Bu çalışma kapsamında Bagrat Krallığı tarafından inşa edilen ve döneminin nadide eserlerinden olan Haho (Khakhuli) Kilisesi (976-1001) seçilmiştir (Şekil 1). Günümüzde Erzurum İli, Tortum İlçesi, eski adı Haho olan Bağbaşı Köyü sınırları içerisinde yer alan manastırdan günümüze bir kilise, bir çalışma atölyesi, bir yemekhane ve bir şapel ulaşmış olup, kaynak araştırmalarından yapıya ait bir vaftiz binasının ve iki şapelin zaman içerisinde yok olduğu anlaşılmaktadır. Meryem Ana'ya ithafen inşa edilen bu kilisenin güney girişinde yer alan paye üzerindeki kitabeye göre, yapı 976-1001 yılları arasında III. David tarafından yaptırılmıştır [31].

Orta Çağ'da önemli bir eğitim merkezi olarak faaliyet gösteren Haho Manastırı'nda, özellikle edebiyat, şiir ve felsefe alanlarında değerli eserlerin yazıldığı bilinmektedir. Kaynaklardan, döneminin ünlü isimlerinden olan Ioanne Khakhuleli ve David Thileli'nin bu manastırda el yazmaları kopyaladıkları belirtilmektedir [35].



Şekil 1. Haho Kilisesinin konumu [32-34]
Figure 1. Location of Haho Church [32-34]

Felsefe alanında döneminin tanınmış bilim insanlarından biri olarak kabul edilen III. Bagrat'ın oğlu Basil'in de Haho Manastırı'nda eğitim gördüğü bilinmektedir [36]. Manastırın XVI. yüzyılda işlevsel olduğu 1556 yılında burada kopyalanan bir el yazmasından anlaşılmaktadır. Haho Manastırı, son derece değerli el yazmalarını barındıran zengin bir kütüphaneye sahipti. Bu el yazmalarının önemli bir bölümü daha sonra Tiflis'e götürülmüş ve Tiflis Devlet Sanat Müzesi'nde koruma altına alınmıştır [30].

XVI. yüzyılın ortalarına kadar faal olan manastır, uzun süre boyunca bölgedeki ilmi ve edebî faaliyetlerin en önemli merkezlerinden biri olarak öne çıkmıştır. Ancak XVI. yüzyılın sonlarına doğru, manastıra ait kıymetli litürjik eserler, ikonalar, el yazmaları ve tören haçları, burada görev yapan din adamları tarafından Gürcistan'a taşınmıştır. Osmanlı İmparatorluğu'nun bölgeyi fethetmesinden önce önemli bir yerleşim merkezi olan Haho, Osmanlı döneminde de Tortum İlçesi'nin en büyük nahiyesi olarak kayıtlara geçmiştir [30].

Haho Kilisesi, 60 x 50 metre boyutlarında bir alan üzerine inşa edilmiş olup, manastır kompleksi 3 metre yüksekliğindeki koruyucu duvarlarla çevrilidir. Beşik tonozlu, derin bir geçitten

ulaşılan manastırın merkezinde yer alan kilise, yakın geçmişe kadar cami olarak kullanılmıştır [30]. Mimari olarak haç planı ile bazilikal planın birleşimiyle oluşturulan bu yapı, doğu-batı doğrultusunda, 27 x 19 metre ölçülerinde dikdörtgen planlı olarak inşa edilmiştir. Kilisenin kuzey ve güney cephelerine X-XI. yüzyıllarda revaklı bölümler eklenmiş, XIV. yüzyılda ise batı cephesine jamatun tarzında bir ek yapı ilave edilmiştir [36] (Şekil 2).



Şekil 2. Haho Kilisesi [24].
Figure 2. Haho Church [24].

3 Materyal ve metod

Arkeometri, tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin belirlenmesini sağlamak amacıyla yapılan ve birçok disiplini bünyesinde barındıran bilim dalı olarak tanımlanmakta olup, sadece mimari yapı elemanları değil bununla beraber arkeolojik buluntuların da karakterize edilmesini sağlayan, bu suretle tarihe ışık tutan bir bilim dalıdır. Arkeometrik incelemeler ile örneklerin hammadde içerikleri ve ilave malzemeler belirlenebildiği için bu kapsamda tanımlayıcı ve yol gösterici olmaktadır [37-38]. Bu çalışma kapsamında deneysel metodolojiden faydalanılarak Haho Kilisesinden alınan harç örneklerine fiziksel, kimyasal ve petrografik analizler uygulanmıştır.

3.1 Örnek Alma ve Belgeleme

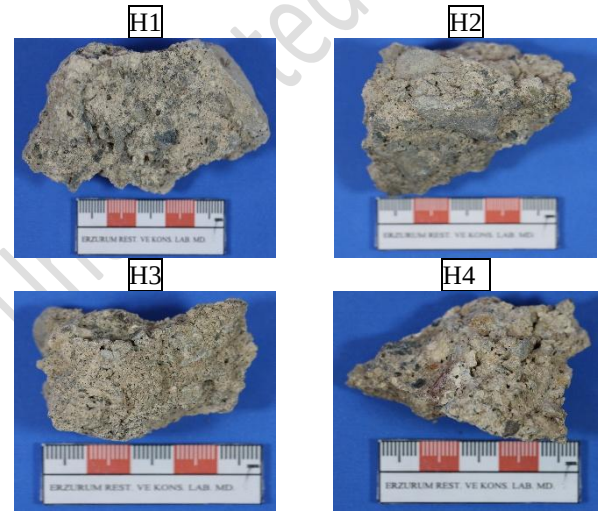
Bu çalışma kapsamında Tao-Klardjetie adı ile anılan bölgede Bagrat Krallığı döneminde inşa edilen dini yapılardan, halihazırda restorasyon projeleri bulunan ve restorasyon uygulamaları devam eden Haho Kilisesi incelenmiştir. Kilisenin beden duvarlarından alınan moloz dolgu harç numunelerinin fiziksel, kimyasal ve petrografik özellikleri; standart analitik deneylerle beraber literatürde yer alan ve yaygın olarak kullanılan arkeometrik analizler uygulanarak belirlenmiştir.

Saha çalışmaları sırasında, yapı yerinde incelenerek numuneler alınmış, etiketlenmiş, fotoğraflanarak belgelenmiş ve laboratuvar çalışmaları için kodlanmıştır. Bu kapsamda incelenmek üzere yapıdan toplam 4 adet harç örneği alınmıştır. Kilisenin dış cephe duvarlarından alınan harç örnekleri görsel olarak değerlendirilip kodlanmış ardından da belgelenerek gruplandırılmıştır (H.2; H: kod ve 2: numune alınan yer). Örnekleme yapılırken yapıya zarar vermemeye özen gösterilmiş ve müdahale görmemiş yerlerden (özgün dokudan) örnekleme yapılmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3-4). Harç örneklerine ilişkin detaylı bilgi Tablo 1'de verilmiştir.

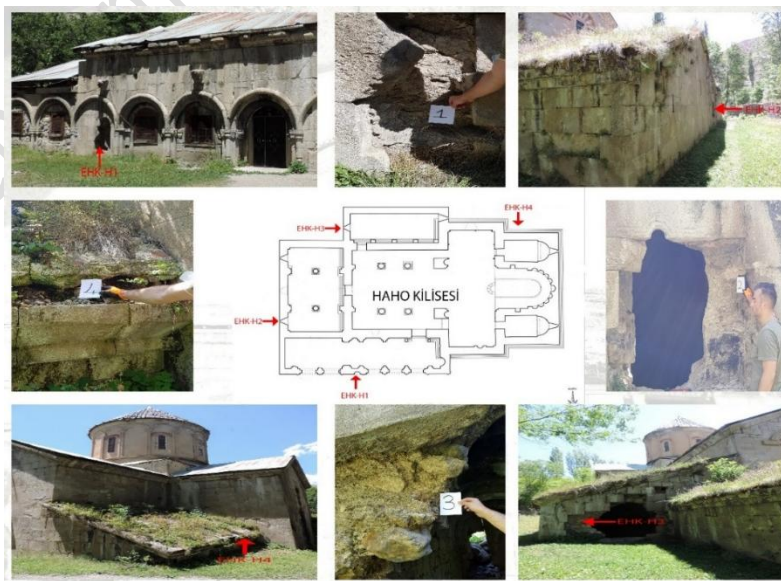
Tablo 1. Harç Örnekleri

Table 1. Mortar Samples

Örnek Adı	Açıklama	İşlev
H1	Haho (Khakhuli) Kilisesi'nin güney cephe duvarında yer alan nişin yıkılan kısmından	Moloz Dolgu
H2	Haho (Khakhuli) Kilisesi'nin batı cephesinde yer alan pencerenin yıkılan kısmından	Moloz Dolgu
H3	Haho (Khakhuli) Kilisesi'nin kuzey cephesinde yer alan bölümün batıya bakan penceresinin yıkılan kısmından	Moloz Dolgu
H4	Haho (Khakhuli) Kilisesi'nin kuzey cephesinde yer alan duvarın yıkılan korniş kısmından	Moloz Dolgu



Şekil 3. Harç Örneklerin makro fotoğrafları.
Figure 3. Macro photographs of the mortar samples.



Şekil 4. Örnek alım çalışmaları (Fotoğraflar Yazar 2 tarafından çekilmiştir).
Figure 4. Sample collection studies (Photographs were taken by Author 2).

3.2 Analizler

Kilisenin moloz dolgu harçlarından alınan örneklerin hammadde özellikleri fiziksel, kimyasal ve petrografik analizlerle belirlenmiştir. Bu kapsamda, alınan numunelere; fiziksel testler (ağırlıkça ve hacimce su emme oranı; birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık tespiti; porozite ve kompasite tayini), kimyasal testler (iletkenlik, suda çözünbilen tuz, silikatlı agrega/bağlayıcı, granülometrik, gravimetrik, X-Işını Floresans, PED, XRF analizler) ve petrografik (petrografik ince kesit optik mikroskop) incelemeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen arkeometrik analizler sonucu elde edilen bulgular ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

4 Bulgular ve Değerlendirme

Fiziksel analizler kapsamında; harç örneklerinin yoğunluğu, birim hacim ağırlığı, ağırlıkça/hacimce su emme oranları ile porozite/kompasite yüzdeleri çıkarılmıştır. Kimyasal niteliklerinin belirlenmesi için; iletkenlik analizleri, asitle muamele ve granülometrik elek analizleri, spot tuz testleri (suda çözünbilen tuz, klorür, fosfat, nitrat tespiti), X-Işını Floresans (PED-XRF) analizi yapılmıştır. Petrografik incelemeler, ince kesitler hazırlanarak polarizan mikroskop altında gerçekleştirilmiş ve örneklerin mineralojik özellikleri çıkarılmıştır.

Fiziksel analizler sonucunda; porozite ve kompasite değerleri, ağırlıkça su emme yüzdeleri, özgül ağırlık ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 2). Örneklerin fiziksel verileri değerlendirildiğinde; porozite yüzdeleri 14.21 ile 34.42 arasında; kompasite yüzdeleri ise 65.58 ile 85.79 arasında değişiklik göstermektedir. Porozite ortalaması 22.21; kompasite ortalaması da 77.79 olarak hesaplanmıştır. Ağırlıkça su emme yüzdeleri 8.18 ile 28.25 arasında değişiklik göstermekte olup, ağırlıkça su emme ortalaması 15.81 olarak hesaplanmıştır. Özgül ağırlıkları (yoğunluk) 1.68 ile 2.07 g/cm³ arasında; birim hacim ağırlıkları ise 1.22 ile 1.74 g/cm³

arasında değişmektedir. Özgül ağırlıkları (yoğunluk) ortalaması 1.91 g/cm³; birim hacim ağırlık ortalaması 1.49 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.

Örneklerin fiziksel verilerinden yola çıkarak; en fazla boşluğa (gözenğe) sahip harç H4, en az boşluğa (gözenğe) sahip harç ise H3 olduğu tespit edilmiştir. Ağırlıkça en fazla su emme oranına sahip harç H4, ağırlıkça en az su emme oranına sahip harç H3'tür. Yoğunluğu en yüksek harç H2, yoğunluğu en düşük harç H1'dir. Haho Kilisesindeki harç örneklerinden fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı en dayanıksız harcın H4 ve en dayanıklı harcın ise H3 olduğunu söylemek mümkündür.

Örneklere kimyasal analizler bağlamında öncelikle asit kaybı deneyi yapılmış olup asitle muamele sonrası kalan malzeme agrega olarak değerlendirilerek elek analizi ile tanecik dağılımı oranları belirlenmiştir (Tablo 3). Toplam kayıp oranına, bağlayıcı malzemenin yanı sıra kireçtaşı ile mermer gibi kalsit içeren ve asit içerisinde kaybolan agregalar da dahil edilmiştir. Harç örneklerine uygulanan asit kaybı deneyi sonrasında, çözünmeden kalan silikatlı agregalar üzerinde 63-5000 µm aralığındaki elekler kullanılarak gerçekleştirilen elek analizi sonucunda, agrega taneciklerinin boyut dağılım oranları tespit edilmiştir (Şekil 5).

Örneklerin kayıp/kalan verileri değerlendirildiğinde: kayıp oranının %18.61 ile %42.47 arasında değiştiği, buna bağlı olarak kalan oranının da %81.39 ile %57.53 arasında olduğu saptanmıştır. Toplam kayıp ortalaması %32.43; toplam kalan ortalaması %67.57 olarak hesaplanmıştır.

TS 1500 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması [39] başlıklı standartta; 75 µm den küçük malzemeler kil/silt, 75 µm-0.2 mm arası malzeme ince kum, 0.2 -0.6 mm arası malzeme orta kum, 0.6-2 mm arası malzeme kaba kum, 2-6 mm arası malzeme ince çakıl olarak sınıflandırılmıştır. Farklı elekler kullanılarak yapılan eleme sonunda alınan harç numunelerinin agregaları TS 1500'e göre sınıflandırılmıştır ve dağılımları yapılarak gösterilmiştir (Şekil 6-7).

Tablo 2. Örneklerin Fiziksel Analiz Sonuçları

Table 2. Physical Analysis Results of the Samples

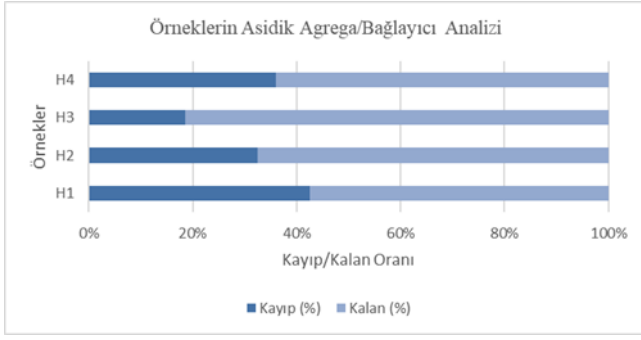
Örnek	Porozite (%)	Kompasite (%)	Ağırlıkça Su Emme Yüzdesi (Sa) (%)	Özgül Ağırlık (Yoğunluk) (δ) (g/cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (Δ) (g/cm ³)
H1	17.29	82.71	12.48	1.68	1.39
H2	22.90	77.10	14.34	2.07	1.60
H3	14.21	85.79	8.18	2.02	1.74
H4	34.42	65.58	28.25	1.86	1.22
Ortalama	22.21	77.79	15.81	1.91	1.49

Tablo 3. Örneklerin agrega/bağlayıcı oranı ve elek analizi sonuçları *

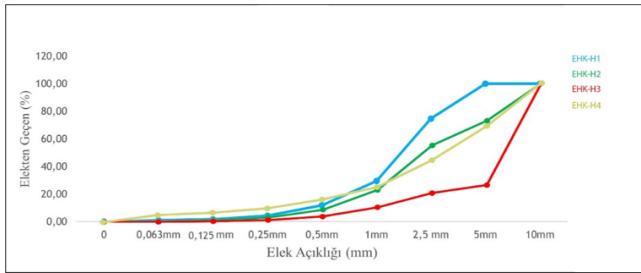
Table 3. Aggregate-to-binder ratios and sieve analysis results of the samples

Örnek	Asit Kaybı (%)		<63 µm	63-125 µm	125-250 µm	250-500 µm	500-1000 µm	1000-2500 µm	2500-5000 µm	>5000 µm
	Kayıp	Kalan								
H1	42.47	57.53	0.97	0.75	2.57	7.62	17.60	45.17	25.32	0.00
H2	32.53	67.47	0.48	0.71	2.07	5.57	14.24	32.06	17.74	27.13
H3	18.61	81.39	0.12	0.52	0.88	2.52	6.63	10.31	5.72	73.30
H4	36.09	63.91	5.10	1.79	3.06	6.37	8.92	19.31	24.54	30.91
Ortalama	32.43	67.57	1.66	0.94	2.15	5.52	11.85	26.71	18.33	32.84

* Tablodaki değerler elekten geçen agregaların oranlarını belirtmektedir.

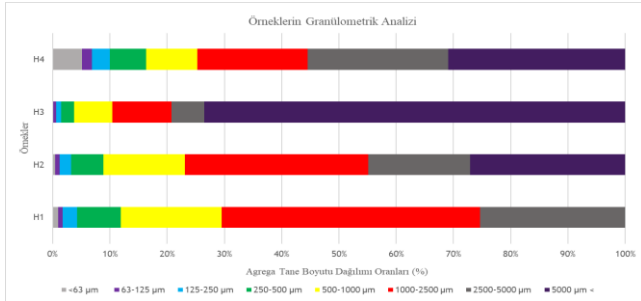


Şekil 5. Örneklerin asidik agrega/bağlayıcı analiz sonuçları.
Figure 5. Acidic aggregate-to-binder analysis results of the samples.



Şekil 6. Örneklerin agrega elek analizi sonuçlarını gösteren diyagram.

Figure 6. Diagram showing the aggregate sieve analysis results of the samples.



Şekil 7. Örneklerin asidik agrega granülometrik analiz sonuçları.

Figure 7. Acidic aggregate granulometric analysis results of the samples.

Örneklerin granülometri verileri değerlendirildiğinde: H1'de; 5 mm üzeri agrega olmadığı, en fazla malzemenin 1mm'lik elekte toplandığı (yaklaşık %45), agreganın büyük kısmının kaba kumdan (yaklaşık %63) oluştuğu, içeriğindeki kum miktarının yaklaşık %74, çakıl miktarının yaklaşık %25, geri kalan malzemenin kil/silt olduğu tespit edilmiştir. H2'de; en fazla malzemenin 1 mm'lik elek üzerinde kaldığı (yaklaşık %32), agreganın büyük kısmının kaba kum/ ince çakıldan (yaklaşık %46 kaba kum, %45 ince çakıl) oluştuğu, içeriğindeki kum miktarının yaklaşık %54, çakıl miktarının yaklaşık %45, geri kalan malzemenin kil/silt olduğu saptanmıştır. H3'de; en fazla malzemenin 5mm'lik elekte kaldığı (yaklaşık %73), agreganın büyük kısmının ince çakıldan oluştuğu (yaklaşık %79), içeriğindeki kum miktarının yaklaşık %20 olduğu, çakıl miktarının yaklaşık %79, geri kalan malzemenin kil/silt olduğu gözlemlenmiştir. H4'de; en fazla malzemenin 5mm'lik elekte kaldığı (yaklaşık %73), agreganın büyük kısmının ince çakıldan

oluştugu (yaklaşık %55), içeriğindeki kum miktarının yaklaşık %40 olduğu, çakıl miktarının yaklaşık %55, geri kalan malzemenin kil/silt olduğu görülmüştür.

Örneklerin granülometri verilerden yola çıkarak: H2, H3 ve H4'de en büyük dane boyutunun 5mm'den fazla olduğu, sadece H1'in en büyük dane boyutu diğerlerinden farklı olarak 5 mm'den az olduğu saptanmıştır. H1 ve H2'de en fazla malzemenin 1mm'lik elekte toplandığı ve agregalarının büyük kısmının kumdan oluştuğu bununla beraber, H3 ve H4'de ise en fazla malzemenin 5mm'lik elekte toplandığı ve agregalarının büyük kısmının çakıldan oluştuğu söylenebilir. Ayrıca; H1, H2 ve H3'ün içeriğindeki kil/silt miktarı yaklaşık %1'den az iken H4'de bu oranın yaklaşık %5 olması dikkat çekicidir.

Örneklerin bağlayıcı kısmı toz haline getirilerek yapılan kızdırma kaybı (kalsinasyon) analizi ile malzemede ki nem, molekül suyu, organik madde, karbondioksit kaybı ve kalsiyum karbonat yüzdeleri belirlenerek Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Örneklerin gravimetrik (kalsinasyon) analiz sonuçları

Table 4. Gravimetric (calcination) analysis results of the samples.

Örnek	Nem (105°C, %)	Organik Kayıp (H ₂ O) (550°C, %)	Karbondioksit Kaybı (CO ₂) (1050°C, %)	Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃ , %)
H1	3.09	6.19	12.37	28.12
H2	0.99	4.95	15.84	36.00
H3	1.00	2.00	15.00	34.09
H4	5.21	5.21	16.67	37.88
Ortalama	2.57	4.59	14.97	34.02

Örneklerin gravimetrik (kalsinasyon) verileri değerlendirildiğinde: %0.99 ile %5.21 arasında; organik kaybın %2 ile %6.19 arasında; karbondioksit kaybının %12.37 ile %16.67 arasında; kalsiyum karbonat oranının %28.12 ile %37.88 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Nem kaybı ortalaması %3.43, organik kayıp ortalaması %6.12, karbondioksit kayıp ortalaması %14.97 ve kalsiyum karbonat ortalaması %34.02 olarak hesaplanmıştır.

Örneklerin gravimetrik (kalsinasyon) verilerinden yola çıkarak: en fazla nem kaybı ve kalsiyum karbonat oranının H4'de, en fazla organik kaybın H1'de görüldüğü söylenebilir. Bununla beraber en az nem kaybı H2, en az organik kayıp H3'de, en az kalsiyum karbonat oranı H1 de görülmüştür.

Örneklerin suda çözünabilir klorür (Cl⁻), nitrat (NO₃⁻), fosfat (PO₄³⁻) tuzlarının miktarı, iletkenlik değeri ve tuz oranları; spot testler ve iletkenlik ölçer (Ohaus ST 3100C) vasıtasıyla tespit edilerek Tablo 5'te sunulmuştur.

Örneklerin suda çözünabilir klorür (Cl⁻), nitrat (NO₃⁻), fosfat (PO₄³⁻) tuz miktarı, iletkenlik değeri ve tuz miktarları değerlendirildiğinde: klor tuzunun "var" ile "az var" arasında değiştiği, nitratın fazla var ile yok arasında değiştiği, fosfatın tüm örneklerde var-yok arası olduğu tespit edilmiştir. İletkenlik değeri 73 µS ile 706 µS arasında ölçülmüş olup buna bağlı olarak tuz miktarları %0,40 ile %3.93 oranında olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 5. Örneklerin suda çözünebilir tuzlarının nitelik ve yarı kantitatif analiz sonuçları.

Table 5. Qualitative and semi-quantitative results of water-soluble salts analyses in the samples.

Örnek	Cl ⁻ (Klorür)	NO ₃ ⁻ (Nitrat)	PO ₄ ³⁻ (Fosfat)	İletkenlik (µS)	Tuz Miktarı (%)
H1	+++	++++	±	706	3.93
H2	+	+	±	163	0.90
H3	+	-	±	107	0.60
H4	+	-	±	73	0.40

(-: Yok; ±: Var-Yok; +: Az var; ++: Var; +++: Fazla var; ++++: Çok fazla var)

Örneklerin suda çözünebilir klorür (Cl⁻), nitrat (NO₃⁻), fosfat (PO₄³⁻) tuz miktarı, iletkenlik değeri ve tuz miktarlarından yola çıkarak: H1'in klor ve nitrat miktarının diğer örneklerden daha fazla olduğu, H3 ve H4'de nitrata rastlanmadığı, tüm örneklerde fosfat var-yok arası olduğu tespit edilmiştir. H1'in iletkenliği diğer örneklerle oranla çok yüksek olduğu, diğer örneklerin iletkenliğinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak tuz miktarı en fazla H1'de hesaplanmıştır.

Örneklerin kimyasal bileşimlerini belirlemek amacıyla X-Işını Floresans (PED-XRF) analizi uygulanmış ve elde edilen veriler doğrultusunda kimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. PED-XRF analiziyle tespit edilen temel oksit bileşikler Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Örneklerin PED-XRF analizi sonucunda ulaşılan temel oksit bileşik değerleri

Table 6. Basic oxide compound values obtained from PED-XRF analysis.

Temel Oksit bileşikler (%)	H1	H2	H3	H4
Na ₂ O	0.670	0.550	0.051	0.043
MgO	1.175	1.344	1.247	0.724
Al ₂ O ₃	6.198	7.878	6.601	5.510
SiO ₂	39.610	47.020	41.750	39.080
P ₂ O ₅	0.143	0.108	0.074	0.075
SO ₃	0.091	0.515	0.041	0.138
Cl	0.443	0.011	0.001	0.019
K ₂ O	1.469	1.216	0.963	0.518
CaO	24.750	20.930	22.630	27.490
TiO ₂	0.325	0.369	0.336	0.254
V ₂ O ₅	0.011	0.013	0.014	0.011
Cr ₂ O ₃	0.003	0.004	0.003	0.003
MnO	0.098	0.108	0.105	0.130
Fe ₂ O ₃	3.633	4.010	3.842	2.763
Kızdırma Kaybı	21.47	16.33	22.48	23.59
Toplam	100.08	99.94	100.15	100.35

Örneklerin PED-XRF sonucu ulaşılan oksit bileşik verileri değerlendirildiğinde; magnezyum oksit (MgO) oranının %0.724-1.344 arasında, alüminyum oksit (Al₂O₃) oranının %5.510-7.878 arasında, silisyum dioksit (silika, SiO₂) oranının %39.080-41.750 arasında, kalsiyum oksit (CaO) oranının %20.930-27.490 arasında, demir oksit (hematit, Fe₂O₃) oranının %2.763-4.010 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Magnezyum oksit (MgO) ortalaması: %1,123, alüminyum oksit

(Al₂O₃) ortalaması: %6.547, silisyum dioksit (silika, SiO₂) ortalaması: %41.865, kalsiyum oksit (CaO) ortalaması: %23.950, demir oksit (hematit, Fe₂O₃) ortalaması: %3.562 olarak hesaplanmıştır.

Örneklerin PED-XRF sonucu ulaşılan oksitli bileşik verilerine bakıldığında; magnezyum oksit (MgO) oranının H4 dışında birbirine yakın olduğu, alüminyum oksit (Al₂O₃), silisyum dioksit (silika, SiO₂) ve demir oksit (hematit, Fe₂O₃) oranının H2'de yüksek çıktığı, kalsiyum oksit (CaO) oranının H4'de yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Örneklerin kimyasal bileşimlerinden yola çıkılarak Cementation Index (CI) değerleri hesaplanmıştır. Cementation Index (CI), asitte çözünebilen bileşenlerin, bazik ortamlarda çözünebilen bileşenlere oranı olarak tanımlanır. Kireç harçları, içerdiği bağlayıcı miktarı ve agrega türüne bağlı olarak yağlı harç (YK) veya hidrolik harç (ZHK, OHK ve HK) şeklinde sınıflandırılmaktadır. Hesaplanan CI değerlerine göre harçların bağlayıcı türleri belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

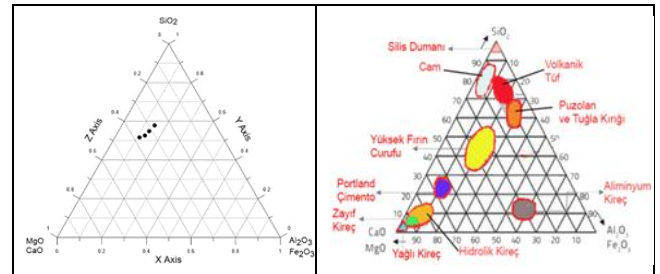
Tablo 7. Örneklerin hesaplanan çimentolanma indeksi (CI) değerleri

Table 7. Calculated cementation index (CI) values for the samples

Örnek	CI (Cementation Index)	Bağlayıcı Türü
H1	4.56	DC/C
H2	6.27	DC/C
H3	5.20	DC/C
H4	4.12	DC/C
Ortalama	5.04	DC/C

(<0,30 Yağlı Kireç; 0.30- 0.50 Zayıf Hidrolik Kireç; 0.51- 0.70 Ortalama Hidrolik Kireç; 0.71- 1.10 Hidrolik Kireç; 1.11-1.70 Doğal Çimento; >1.70 Doğal Çimento/Çimento) (DC: Doğal Çimento, C: Çimento)

Örneklerin Cementation Index (CI) verilerinin; 4.12 ile 6.20 arasında değiştiği görülmektedir. CI ortalaması 5.04 olarak hesaplanmıştır. Tüm örneklerin DC/C aralığında yer aldığı görülmüştür. Örneklerin kimyasal içeriklerine ve (CaO+MgO-SiO₂-Al₂O₃+Fe₂O₃) oksit bileşik oranlarına göre Keily diyagramında konumları gösterilerek gruplandırılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Örneklerin Keily diyagramındaki (CaO+MgO-SiO₂-Al₂O₃+Fe₂O₃) konumları ([40]'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

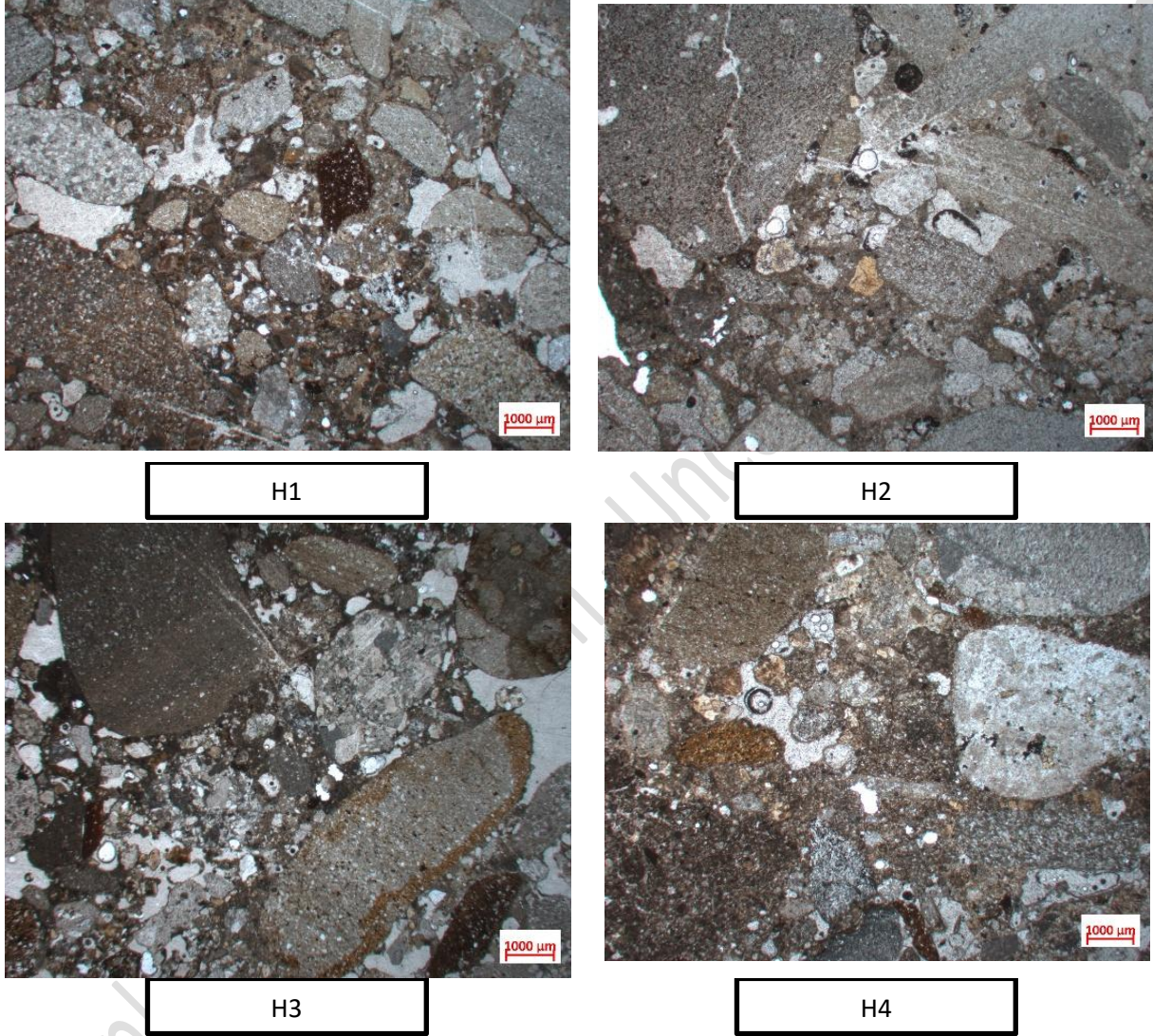
Figure 8. Sample positions on the Keily diagram (CaO+MgO-SiO₂-Al₂O₃+Fe₂O₃) (prepared using [40]).

Örneklerin Keily diyagramındaki konumları değerlendirildiğinde; tüm örneklerin yüksek fırın cürufuna ait bölgenin yakınına konumlandığı tespit edilmiştir. Örneklerin

petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla polarizon mikroskop altında (LEICA research polarizan DMLP model alt ve üstten aydınlatmalı optik mikroskop) mikro fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 9). Numunelerin petrografik özellikleri içerik açısından değerlendirilmiş olup tek grupta toplanan örneklerle ait veriler Tablo 8’de sunulmuştur.

Örneklerin petrografik özellikleri değerlendirildiğinde; tüm örneklerin tek grupta toplandığı, içeriklerinin %25’inin

bağlayıcı, %75’inin agrega olduğu tespit edilmiştir. Bağlayıcı kısmın %85’inin kireç, %15’inin ise kilden oluştuğu belirlenmiştir. Agrega kısmının bazı kayaç parçaları ve mineraller (kumtaşı, bazalt, silttaşı, kuvarsit, riyolit, kireçtaşı kaya parçaları, çört, kuvars ve plajiyoklas mineralleri) ihtiva ettiği anlaşılmıştır. Bununla beraber agrega içeriğinde %2.5 oranında tuğla kırığı tespit edilmiştir. Örneklerde organik maddeye rastlanmamıştır.



Şekil 9. Örneklerin polarizon mikroskop altında çekilmiş mikro fotoğrafları.
Figure 9. Microphotographs of the samples taken under a polarizon microscope.

Tablo 8. Örneklerin petrografik özellikleri.
Table 8. Petrographic properties of the samples.

Harç Örnek Grupları	MTB (%)	MTA (%)	Matris Bağlayıcı İçeriği (%100)				Matris Agrega İçeriği (%100)		
			Kireç	Kil	Çm	Alçı	Kayaç & Mineraller	TK	Org
H1, H2, H3 ve H4	25	75	85	15	-	-	97.5 (Kumtaşı, Bazalt, Silttaşı, Kuvarsit, Riyolit, Kireçtaşı Kaya Parçaları Çört, Kuvars ve Plajiyoklas mineralleri)	%2.5	-

(B: Bağlayıcı; A: Agrega; Çm: Çimento; TK: Tuğla kırığı; Org: Organik Madde)

5 Tartışma

Haho Kilisesinde kullanılan dolgu harçlarının analizleri kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma ile yapıdan alınan 4 adet örnek üzerinde incelemeler yapılmıştır. Örneklerin fiziksel açıdan porozite ve ağırlıkça su emme oranının yüksek olması harç içerisindeki boşluğun fazla olduğunun göstergesidir. Bununla beraber porozite oranının yüksek olmasına rağmen yoğunluğunun da yüksek çıkması boşluklar dışında kalan hacmin yüksek yoğunluklu olduğunu göstermektedir. Harç örnekleri; içeriklerini oluşturan malzemelerin cinsine ve karışım oranlarına göre farklı fiziksel özellikler göstermektedir. Gözeneklilik (porozite) arttıkça harçların donma/çözülme ve suda çözünen tuzlara karşı dayanımı düşer, bununla birlikte yük aktarımında da süreksizliğe neden olduğu bilinmektedir.

Örneklerinin asitle muamele sonrası kayıp ortalaması yaklaşık %32 iken petrografik incelemede bağlayıcı oranı %25 olarak tespit edilmiştir. Asitle muamele sırasında harç içeriğindeki bağlayıcıyla birlikte agrega içeriğindeki kalsit içeren malzemelerde (kireçtaşı, mermer vb.) yok olduğundan; asitle muamele ve petrografik analiz sonucu elde edilen veriler arasındaki farkın agrega içeriğindeki kalsit içeren malzemeden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bunlarla beraber petrografik inceleme sonucu bağlayıcı içeriğinde tespit edilen kilin (%15) puzolan olarak değerlendirilmesi doğru olacaktır. Zaten Cementation Index (CI) değerlerinin yüksek çıkması harçların puzolan içerdiği hususunu desteklemektedir. Tüm veriler ışığında; bağlayıcı olarak kireç kullanıldığı, örneklerin çimento ve alçı içermediği, tüm örneklerin puzolan içerdiği anlaşılmıştır.

Örneklerin granülometrik verileri değerlendirildiğinde; bir örnek (H3) dışında diğer örneklerin granülometri grafiğinin uyumlu olduğu söylenebilir. Ayrıca, petrografik inceleme sonucunda agrega içeriğinde %2.5 oranında tuğla kırığına rastlanmıştır. Makro fiziksel yapılarından yola çıkılarak; belli bir eleme sonucu tercih edilen, heterojen dağılıma sahip, yerel formasyonla uyumlu, zengin agrega çeşidinin örneklerle katıldığı görülmektedir.

Örneklerin gravimetrik (kalsinasyon) verileri değerlendirildiğinde, nem ve organik kayıp ortalamasının nispeten yüksek olduğu, karbondioksit kaybı ve kalsiyum karbonat oranlarının birbirine yakın ve normal değerlerde olduğu söylenebilir.

Örneklerinin suda çözünebilir klorür (Cl^-), nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}) tuzlarının miktarı, iletkenlik değeri ve tuz miktarı değerlendirildiğinde; Klorürün çok az miktarda olduğu tespit edilmiş olup klorür varlığına toprak, deniz suyu, çimento veya yeterince temizlenmeyen deniz kumu gibi malzemelerle beraber yapının oturduğu zeminin neden olduğu bilinmektedir. Örneklerdeki klorür miktarının genel olarak (H1 hariç) az olması, yapının yakın zamanda çimento bağlayıcılı müdahale görmediğini ve özgün harç içeriğinin az miktarda klor ihtiva ettiğini işaret etmektedir. Bununla beraber H1'de klorür miktarının fazla çıkması, örneğin zemin seviyesine yakın bir noktadan alınmasından kaynaklandığı fikrini akıllara getirmektedir. Yapılan tuz testleri ile PED-XRF analizi sonucu elde edilen klorür (Cl) verileri karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu da görülmektedir. Alınan numunelerde fosfat ve nitrat (H1 hariç) ise çok az miktarda tespit edilmiş olup, nitrat ve fosfat tuzları genellikle yapı içerisinde veya çevresinde yaşayan canlıların (kuşlar, mikroorganizmalar vb.) atıklarından veya çevresel faktörlerden (yapı çevresinde kullanılan

gübreler, atık sistemlerinin eserle ilişkilenmesi vb.) kaynaklandığı bilinmektedir. Kilisenin uzun süre dış koşullara açık olmasına rağmen örneklerdeki nitrat ve fosfat miktarının düşük çıkması, taşınmazın yakın çevresinde tarım faaliyeti olmamasından ve konumunun canlıların (özellikle kuşların) yıpratıcı etkisine maruz kalmasını engellemesinden kaynaklandığı fikrini akla getirmektedir.

Örneklerdeki tuz miktarının genel olarak (H1 hariç) normal seviyeye yakın olduğu söylenebilir.

Örneklerin PED-XRF ve cementation Index (CI) verileri değerlendirildiğinde, karışımın büyük bölümünün kalsiyum oksit (CaO) ve silisyum dioksitten (SiO_2) oluştuğu tespit edilmiştir. Silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) değerleri yükseldikçe CI değeri de yükselirken, kalsiyum oksit (CaO) ve magnezyum oksit (MgO) değeri yükseldikçe CI değeri düşmektedir. Örneklerin CI değerlerinin yüksek çıkması harç mukavemetlerinin de yüksek olduğunun göstergesidir. Bununla beraber değerin yüksek çıkması, harç içeriğinde çimento ve benzeri malzeme kullanıldığı fikrini akla getirmemelidir. Zira, yapılan petrografik incelemede harç içeriğinde çimentoya rastlanılmamıştır. CI değerleri arasındaki küçük farklara; bağlayıcı ve puzolan oranları ile agregayı oluşturan malzemelerin cins farklarının neden olduğu düşünülmektedir.

Örneklerin Keily diyagramındaki konumlarına bakıldığında, örneklerin yüksek fırın cürufunun yakınlarına konumlandığı görülmektedir. Keily diyagramı içerisinde çalışma kapsamında incelenen kilisede kullanılması mümkün olmayan çağdaş malzemeler de (yüksek fırın cürufu, silis dumanı) yer aldığı için, harçların konumlandığı bölgelerin hangi malzemeye denk geldiğinden ziyade harç içeriğindeki oksitli bileşik (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , SiO_2) oranları açısından değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Örnekler bu açıdan değerlendirildiğinde, tüm örneklerde puzolan olduğu hususu bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Örneklerin petrografik verileri değerlendirildiğinde; bağlayıcı ve agrega içeriklerinin aynı olduğu ve tek grupta toplandığı görülmüştür. Bağlayıcı içeriğinin kireç ile kilden oluştuğu, hiçbir numunede çimento veya alçı izine rastlanmadığı tespit edilmiştir. Agregayı oluşturan kaya parçaları; %97,5 magmatik kayalar (derinlik-yüzey-damar), metamorfik ve sedimanter (karbonat ve kırıntılı) kayaç parçaları olarak sınıflandırılmış olup %2,5 oranında da tuğla kırığı tespit edilmiştir.

Bölgede çağdaş ve aynı kültüre ait Öski, Barhal, İshan kiliselerinde kullanılan harçların petrografik analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında; bağlayıcı agrega oranlarının yaklaşık 3/1 oranında olduğu ve agrega boyutlarının benzer olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber; agregalarda yerel kumların (bazalt, granodiyorit, kumtaşı, kireçtaşı kaya parçası) kullanıldığı saptanmıştır [24, 41]. Haho Kilisesine ait harçlarda da bağlayıcı/agrega yine aynı oranda kullanılmıştır. Tek fark ise, agrega içeriğine yerel kumların (bazalt, riyolit, kumtaşı, kireçtaşı parçası) yanı sıra tuğla kırığı eklenmesidir. Buradan, aynı kültüre (Bagrat Krallığı) ait yapılarda genel olarak benzer yapım tekniklerinden yararlanıldığı ancak, yerelde bazı küçük farklılıklar olduğu sonucu çıkarılabilir.

H3 örneği hem tane boyutu hem de asit kaybı analiz sonuçları bakımından diğer tüm örneklerden farklılık göstermektedir. Bu da numunenin alındığı bölümün ya erken dönem eki olduğu ya da onarım geçirdiğini düşündürmektedir. Özkan [30], Haho Manastırının kuzey batısına, XIV. yüzyılda ilave edilen 11,50 m

x 4,20 m ölçülerindeki mekânın çalışma atölyesi olarak ana yapıya sonradan eklendiğini belirtmiştir. Yapılan analiz çalışmaları da bu kanıyı desteklemektedir. Konuya bu açıdan bakıldığında, yapı malzemelerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde ve onarımların ya da dönemsel farkların tespitinde malzeme analizlerinin ne kadar önemli olduğu bir kez daha görülmektedir.

Erzurum ve çevresindeki tarihi yapılarda yeterli sayıda arkeometrik analiz çalışması bulunmamaktadır. Erzurum'da 1310 yılında inşa edilen ve önemli yapılardan olan Yakutiye Medresesine arkeometrik analizler yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında; tuğla killerde volkanik kayaç parçaları (çoğunlukla bazalt) olduğu, harç agregalarında da bazalt ve andezit parçalarının bulunduğu tespit edilmiştir [25]. Agregada içeriğinde bölgede yoğun olarak görülen yerel oluşumlardan bazalt ve andezitin kullanılması çalışma konusu olan Haho Kilisesinde olduğu gibi yapı inşasında genel olarak yerel malzemelerin tercih edildiği hususunu bir kez daha göz önüne sermektedir. Yapılan analizler sonucu elde edilen tüm veriler özetlenerek Tablo 9'da bir araya getirilmiştir.

6 Sonuç

Bu çalışma ile Bagrat Krallığı döneminde inşa edilen ve Kuzey Doğu Anadolu bölgesinin en özel yapılarından biri olan Haho Kilisesinin dolgu harçlarının özelliklerinin arkeometrik analizler aracılığıyla tanımlanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, yapıdan alınan örneklerle fiziksel, kimyasal ve petrografik analizler uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Örneklerin fiziksel özelliklerin genel olarak birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Harçların dış koşullar altında dağılmadan günümüze kadar sağlam bir şekilde ulaşması harçların fiziksel özelliklerinin iyi durumda olduğunun en önemli göstergesidir.

Örneklerin asitte kayıp ortalamasının petrografik incelemeyle elde edilen bağlayıcı oranıyla yakın olduğu görülmektedir. Kayıp oranı ortalaması ile petrografik incelemeyle elde edilen bağlayıcı oranı arasındaki farka agregada içeriğindeki kalsit içeren (kireç taşı, mermer) malzemelerin neden olduğu söylenebilir. Örneklerde bağlayıcı olarak kireç ve puzolan kullanıldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte granülometri grafiklerinin uyumlu olduğu görülmüştür.

Kilise harçlarındaki petrografik analizlerde çimento bulunmayışı bağlayıcı onarımlar görmediğinin ve özgün harç kullanıldığının göstergesidir. Nitrat ve fosfat varlığının çok

düşük seviyede olması ise taşınmazın yakın çevresinde tarım faaliyeti yapılmamasına bağlanmıştır.

Örneklerdeki tuz miktarının genel olarak normal seviyeye yakın olduğu söylenebilir [42].

Örneklerin XRF ile analizi sonucu ortaya çıkan oksitli bileşikler (CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂) ve CI değerleri arasındaki küçük farklara bağlayıcı ve puzolan oranları ve agregada cinslerinin neden olduğu anlaşılmaktadır. Bununla beraber CI değerlerinin yüksek çıkması harç mukavemetlerinin de yüksek olduğunun göstergesidir. Kilisenin yaklaşık bin yıldır hem birinci derece deprem kuşağı üzerinde yer alması hem de doğal etkenlere maruz kalmasına rağmen yıkılmadan ayakta kalmasının başka türlü izahı mümkün değildir.

Örneklerin agregada içeriklerinin benzerliği aynı kaynağın kullanıldığını ve yapıların aynı dönemde inşa edildiğini göstermektedir. H3 örneğinin agregada boyutu ile diğerlerinden ayrılması ise örneğinin alındığı bölümün yapıya sonradan eklendiği veya onarım geçirdiği fikrini desteklemektedir.

Örneklerde hepsinde kireçtaşı parçaları da görülmektedir. Harçların petrografik analiz sonucunda agregada/bağlayıcı oranı 3/1 iken asit kaybı analizinde bu oranın 2/1 olduğu görülmüştür. Bu da asit kaybı testinde agregada içeriğindeki kireçtaşlarının da kaybolduğunu göstermektedir. Bu nedenle; restorasyon uygulamalarında petrografik analiz sonucunda ulaşılan 3/1 oranının kullanılması doğru olacaktır.

Agregada olarak yakın çevrede bulunan yerel kayaçların tercih edildiği, agreganın genel bir eleme sonucu seçilmiş belli tane boylarındaki agregalardan oluştuğu belirlenmiştir. Harç içeriğine puzolanik özellikte öğütülmüş volkanik kayaç/tuf tozu katıldığı belirlenmiştir. Kilise harçlarında genel olarak yakın çevrede çıkan malzemeler kullanılmış, kaliteli malzeme ve iyi işçilik ile inşa edilmiş olduğu kanısına varılmıştır. Bununla beraber yapının günümüze kadar sağlam olarak gelmesinde kullanılan yüksek mukavemetli dolgu harcının etkisinin de olduğu aşikardır.

Literatürde harçlara mekanik özellikler kazandırabilmek için değişik kür yöntemleri uygulayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır [43-45]. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen arkeometrik analizlerden elde edilen veriler ışığında, Haho Kilisesinin restorasyonunda kullanılmak üzere bir harç reçetesi önerilmiştir (Tablo 10). Bu tür çalışmaların sayısı artırılarak diğer tarihi yapılar için de uygulanabilir. Bu sayede hem yapıların malzeme özellikleri daha doğru bir şekilde belirlenebilir hem de restorasyon çalışmaları için en uygun harç içeriği bu verilere göre geliştirilebilir.

Tablo 9. Analiz sonuçları tablosu.

Table 9. Analysis results table.

Örnek No	Fiziksel Analiz Verileri			Asit Kaybı		Gravimetrik Analiz Verileri		Tuz Değerleri		Cl	XRF Değerleri					Petrografik Veriler				
	P (%)	δ (g/cm ³)	Δ (g/cm ³)	Kayıp (%)	Kalan (%)	H ₂ O (%)	CO ₂ (%)	İletkenlik (μS)	Tuz (%)		Cl	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MTB (%)	MTA (%)	Kireç (%)	Kil (%)
H1	17.29	1.68	1.39	42.47	57.53	6.19	12.37	706	3.93	4.56	1.17	6.19	39.61	24.75	3.63	25	75	85	15	2.5
H2	22.90	2.07	1.60	32.53	67.47	4.95	15.84	163	0.90	6.27	1.34	7.87	47.02	20.93	4.01	25	75	85	15	2.5
H3	14.21	2.02	1.74	18.61	81.39	2.00	15.00	107	0.60	5.20	1.24	6.60	41.75	22.63	3.84	25	75	85	15	2.5
H4	34.42	1.86	1.22	36.09	63.91	5.21	16.67	73	0.40	4.12	0.72	5.51	39.08	27.49	2.76	25	75	85	15	2.5

(P: Porozite; δ : Yoğunluk; Δ : Birim hacim ağırlık; CI: Cementation Index; MTB: Matris toplam bağlayıcı; MTA: Matris toplam agregada).

Tablo 10. Haho Kilisesi restorasyonunda kullanılabilecek dolgu harcı önerisi.

Table 10. Recommended filling mortar that can be used in the restoration of Haho Church.

Toplam Bağlayıcı (1 Birim)	Toplam Agregası (3 Birim)	Su
Doğal veya yapay puzolan (Volkanik kil/tuf tozu veya tuğla/kiremit tozu) %15	Yerel kayaç parçaları ve az miktar tuğla pirinci %5 Kil/Silt %65 Kum %30 İnce Çakıl	Yeteri kadar

Tarihi eserlerin aslına uygun şekilde onararak geleceğe aktarılabilmesi için, hasar tespiti, bozulma nedenleri, malzeme özellikleri ve statik durum analizi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmaların ilgili meslek disiplinlerinin iş birliği ile yapılması doğru sonuca ulaşılmasını sağlamada önemli rol oynamaktadır. Günümüzde yapılan restorasyon çalışmalarında en çok eleştiri alan husus uyumsuz malzeme kullanımı olduğundan, malzeme karakterizasyonunun doğru yöntemlerle belirlenerek özgün malzemeye uyumlu onarım malzemesi seçilmesi restorasyon kalitesinin artırılmasında en önemli etkenlerdendir. Malzeme karakterizasyonu belirlenirken de deney türlerinin ve miktarının geniş tutulmasına özen gösterilmelidir. Sadece kimyasal veya petrografik analizler sonucunda elde edilen verilerden yola çıkılarak özgün harç özelliklerinin belirlenmesinin hatalı sonuçlar doğurabileceği gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm deney gruplarından elde edilen verilerin değerlendirilerek karşılaştırılması sonucunda tutarlı olduklarının anlaşılmasının ardından sonuçların ortaya konmasının daha doğru bir yol olduğu kanaatine varılmıştır. Unutulmamalıdır ki, tarihi eserleri özgün halleriyle tanımak gelecek nesillerin de hakkıdır.

7 Conclusions

The aim of this study is to determine the characteristics of the filling mortars used in the Haho Church—an architecturally significant structure built during the Bagrat Kingdom and one of the most remarkable monuments in Northeastern Anatolia—through archaeometric analyses. To achieve this, physical, chemical, and petrographic analyses were conducted on samples collected from the building, and the results were evaluated accordingly.

The physical properties of the samples were found to be generally consistent with one another. The preservation of the mortars without significant degradation under environmental conditions strongly indicates that their physical characteristics remain intact and durable.

The average acid loss rates observed in the samples closely corresponded with the binder content determined through petrographic analysis. The slight differences between these values are likely due to calcite-rich materials—such as limestone and marble—present in the aggregate. The analysis confirmed the use of lime and pozzolanic materials as binders in the mortars. Additionally, the granulometric distribution graphs demonstrated consistent and compatible results across the samples.

The absence of cement in the petrographic analysis of the church mortars indicates that they were not repaired with binders and that original mortars were used. The very low level

of nitrate and phosphate presence is attributed to the lack of agricultural activities in the immediate vicinity of the church.

It can be said that the amount of salt in the samples is generally close to the normal level [42].

It is understood that the small differences between the oxidized compounds (CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂) and Cementation Index (CI) values revealed by X-ray fluorescence (XRF) analysis of the samples are caused by binder and pozzolan ratios and aggregate types. However, the high CI values indicate that the mortar strengths are also high. Otherwise, it is not possible to explain the fact that the church has survived for nearly a thousand years without collapsing despite being located on a first-degree earthquake zone and being exposed to natural factors.

The similarity of the aggregate contents of the samples indicates that the same source was used and the structures were built in the same period. The fact that sample H3 differs from the others in terms of aggregate size supports the idea that the section from which the sample was taken was added to the building later or underwent repairs.

Limestone fragments are also observed in all samples. While the aggregate/binder ratio was 3/1 in the petrographic analysis of the mortars, this ratio was 2/1 in the acid loss analysis. This shows that the limestones in the aggregate were also lost in the acid loss test. Therefore; it would be correct to use the 3/1 ratio obtained as a result of petrographic analysis in restoration applications.

It was found that locally sourced rocks from the surrounding area were preferred as aggregates, and these aggregates were selected based on specific grain sizes following a general sieving process. Additionally, ground volcanic rock or tuff powder with pozzolanic properties was identified as an additive in the mortar composition. These findings suggest that the mortars used in the construction of the church were largely made from materials readily available in the immediate vicinity, reflecting both high material quality and skilled workmanship. Moreover, it is clear that the use of durable, high-strength filling mortar played a significant role in the long-term preservation of the structure.

Numerous studies in the literature have explored different curing methods to enhance the mechanical properties of mortars [43–45]. Based on the data obtained through the archaeometric analyses conducted in this study, a mortar formulation has been proposed for the restoration of the Haho Church (Table 11). Similar studies could be expanded and applied to other historical structures. This approach would not only allow for a more accurate understanding of the original material properties but also enable the development of restoration mortars tailored to the specific needs of each building.

Identifying damage, understanding the causes of deterioration, analyzing material properties, and assessing the structural condition are all critical steps in restoring historical monuments accurately and ensuring their preservation for future generations. Conducting these studies in collaboration with relevant professional disciplines significantly contributes to achieving successful and faithful restoration outcomes. One of the most frequently criticized aspects of contemporary restoration practices is the use of incompatible materials. Therefore, accurately characterizing original materials using

appropriate methods and selecting repair materials that are compatible with the original fabric are essential for improving restoration quality.

Table 11. Recommended filling mortar that can be used in the restoration of Haho Church.

Total Binder (1 Unit)	Total Aggregate (3 Units)	Water
Lime %85	Natural or artificial pozzolan (volcanic clay/tuff dust or brick/tile dust) 15%	Local rock fragments and a small amount of brick rice 5% Clay/Silt 65% Sand 30% Fine Gravel
		Sufficient

When determining material characteristics, it is important to employ a broad range of tests in both type and scope. Relying solely on chemical or petrographic analyses to define the properties of original mortars may lead to misleading conclusions. Instead, it is more reliable to assess and compare the results from all experimental approaches collectively, ensuring their consistency before drawing conclusions. Ultimately, preserving historical structures in their authentic form is not just a professional responsibility, it is also a legacy owed to future generations.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Yazar 1 elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve sonuçların incelenmesi başlıklarında; Yazar 2 literatür taraması, saha çalışması ve kullanılan malzemelerin temin edilmesi başlıklarında; Yazar 3 fikrin oluşması, tasarımın yapılması, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

10 Kaynaklar

- [1] Sonkaya AK. "Archaeological tourism in Türkiye from the establishment of the Republic to the present". *Current Perspectives in Social Sciences*, 28(3), 336-349, 2024.
- [2] TC Kültür ve Turizm Bakanlığı. "Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, Türkiye Geneli Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlığı İstatistiği". <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44798/turkiye-geneli-korunmasi-gerekli-tasinmaz-kultur-varligi-istatistigi.html> (22.02.2023).
- [3] Younus I, Al-Hinkawi W, Lafta S. "The role of historic building information modeling in the cultural resistance of liberated city". *Ain Shams Engineering Journal*, 14(10), 102191, 2023.
- [4] Gürel ŞŞ, Dereli M. "Kültür Mirası Mimari Yapılarda Malzeme Bozulmaları: Hoca Hasan Mescidi". *Konya Sanat* (6), 182-194, 2023.
- [5] ICOMOS. "Venedik Tüzüğü". 1964. http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243_603001536681730.pdf (22.02.2023).
- [6] Çakıcı FZ, Kaçdı R. "Systematic analysis of the digital technologies used in the documentation of historical buildings". *Cultural Heritage and Science*, 4(2), 69-77, 2023.
- [7] Pehlivan GF. "Kültürel Miras Yapılarında Taş Malzemenin Tahribatsız XRF Yöntemiyle Analizi: Şirinoğlu Hamamı Örneği". *KAPU Trakya Mimarlık ve Tasarım Dergisi*, 2(2), 57-68, 2022.
- [8] Pulatsu B, Tuncay K. "Computational Modelling of Damage Progression in Unreinforced Masonry Walls via DEM". *Turkish Journal of Civil Engineering*. 35(3), 125-147, 2024.
- [9] Karaçor F, Dereli M. "Conservation and Restoration of Historic Buildings: Application of Contemporary Addition Construction Techniques in the Case of Turkey". *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning*, 12(3), 461-475, 2024.
- [10] Wang ZJ, Liu Z. "Characterizing ancient materials". *Nature Materials*, 22, 144-145, 2023.
- [11] Oğuz C, Türker F, Koçkal NU. "Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri". *Teknik Dergi*, 26(1), 6993-7013, 2015.
- [12] Ekşi Akbulut D. Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [13] Ricci G, Secco M, Artioli G, Marzaioli F, Passariello I, Terrasi F, Valluzzi MR. "The contribution of Archaeometric Analyses to the Multi-Disciplinary Research in Hierapolis of Phrygia, Turkey", *IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*, Trento, Italy, 22-24 October 2020.
- [14] Trojanowicz M. "Modern Chemical Analysis in Archaeometry". *Anal Bioanal Chem*, 391, 915-918, 2008.
- [15] Bayazit M, Işık I, Issı A, Genç E. "Archaeometric investigation of the Late Chalcolithic-Early Bronze Age I and the 1st-2nd millennium BCE potteries from Kuriki-Turkey". *Applied Clay Science*, 126, 180-189, 2016.
- [16] Sayın B. "Tarihi Yığma Yapıların Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Uygulama Önerileri", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 387-398, 2016.
- [17] Semiz B, Duman B. Tripolis'te Bulunan Geç Antik Çağ Unguentariumları'nın Arkeometrik Yönden Değerlendirilmesi, Tripolis Ad Maeandrum I, *Tripolis Araştırmaları*. Ege Yayınları, 165-180, 2017.
- [18] Bayazit M, Yıldız D. "Fatih Paşa Cami (Diyarbakır) Sıva ve Harç Örneklerinin Arkeometrik Karakterizasyonu". *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 709-720, 2019.
- [19] Eroğlu M. Boğsak Adası (Silifke, Mersin) Geç Antik Dönem Yerleşimi Yapı Malzemelerinin Korunmasına Yönelik Arkeometrik Çalışmalar. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2018.
- [20] Akyol AA, Houreh ND. "Antalya Müsellim Cami Arkeometrik Analizleri". *Akademik Sanat*, 5(11), 44-68, 2020.
- [21] Yetiş E, Eroğlu M, Eskici B, Gür, M, Deniz K, Kadioğlu, YK. "Investigations of Painting Techniques: Edirne Süleyman Pasha Mosque Wall Paintings", *Studies in Conservation*, 68(4), 418-431, 2023.
- [22] Akyol AA, Yılmaz M. "Hasankeyf Sultan Süleyman Cami Minaresi Harç Örneklerinin Arkeometrik Analizleri". *Cedrus*, 8, 643-658, 2020.
- [23] Dunn E, Rapp G. "Characterization of Mortars and Pozzolanic Materials from Umm al-Jimal", *Studies in Conservation*, 49(3), 145-160, 2004.
- [24] Kavali E. Tao-Klardjetie bölgesi, Bagrat Krallığı (7-12. yy.) dönemi dini yapı harçları, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2022.

- [25] Eskiçi B, Şener YS, Akyol AA, Kadioğlu YK. "Milet (Balat) İlyas Bey Külliyesi'nde Bulunan Yapılara Ait Özgün Malzemelerin Korunmasına Yönelik Araştırma Projesi". 24. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, Ankara, 26-30 Mayıs 2008.
- [26] Gürdal E, Özgünler SA, Kahraman G. "Anemas Zindanları'nın Restorasyonunda Kullanılacak Onarım Harcının Üretimi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar". *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 3, 22-34, 2009.
- [27] Koralay T, Duman B, Akyol AA, Kadioğlu Y. "Tarihi Harç ve Siva Örneklerinin Çoklu Analitik Yöntemler Kullanılarak İncelenmesi: Tripolis (Yenice/Denizli) Örneği". 31. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, Erzurum, 11-15 Mayıs 2015.
- [28] Yılmaz M, Akyol AA. "Hasankeyf Sultan Süleyman Cami Minaresi Harç Örneklerinin Arkeometrik Analizleri". *Cedrus*, 8, 643, 2020.
- [29] Sali, K, Vivian K. *The History of the Georgian Nation*. Nino Salia, Paris, 1983.
- [30] Özkan H. *Haho Manastırı*. Erzurum, Atatürk Üniversitesi Yayınları, 2013.
- [31] Ponomarev W. *Georgien. Reallexikon zur Byzantinischen Kunts*, Band II., Stuttgart, 1971.
- [32] Türkiye, Erzurum, Tortum Haritası, <https://images.app.goo.gl/vdBUfRtLRGvkXHZA> (06.06.2024).
- [33] Map of Tao-Klarceti region, produced based on Berdnishvili, M., Shoshiasvili N., Map of the Kingdom of Kartvels (from Georgian Soviet Encyclopedia, vol. 10, p. 462) and Ingorokva, P., Giorgi Merchule, p. 274-275, Tbilisi, 1954. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2044299235> (06.06.2024).
- [34] Haho Kilisesi, <https://images.app.goo.gl/qqxDf7wone1cKVTA9> (06.06.2024).
- [35] Kadioğlu M, İşler B. *Gürcü Sanatının Ortaçağı*, Ankara, Onur Matbaacılık, 2010.
- [36] Djobadze W. *Early Medieval Georgian Monasteries in Historic Tao, Klarjet'i and Şavşet'i*, Stuttgart, Franz Steiner Verlag, 1992.
- [37] Rai DC, Dhanapal S. "Mineralogical and Mechanical Properties of Masonry and Mortars of the Lucknow Monuments Circa the 18th Century". *International Journal of Architectural Heritage*, 9(3), 300-9, 2015.
- [38] Işık İ. "Karakterizasyon ve Tarihlendirme Çalışmalarının Arkeometrik Yöntemlerle İncelenmesi". *Cedrus*, 6, 713-736, 2018.
- [39] Türk Standartları Enstitüsü. "TS 1500 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması", Ankara, 2000.
- [40] Ndiaye M, Diene M, Diop M, Ngom PM. "Pozzolanic Activity of Old Volcanic Tuffs of Mako Area (Senegal-Oriental, West African Craton): An Economic and Environmental Interest". *International Journal of Geosciences*, 10, 225-237, 2019.
- [41] Kavali E, Eroğlu M, Çakıcı M, Çakıcı FZ. "Archaeometric characterization and restoration proposal for filling mortars of Oshki (Öşvank) church". *Heritage Science*, 11, 240, 2023.
- [42] Dursun H, Dizdar MY, Kırıştioğlu Ş, Özcan İ, Hamurkar Y. *Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat*. Ankara, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Yayını, 2008.
- [43] Tekin İ, Tekin D. "Polinaftalin sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcıların farklı inceliklere sahip Bayburt Taşı ikame edilmiş kompoze çimentoların mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi". *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 24(3), 419-425, 2018.
- [44] Yazıcı Ş, Sezer Gİ. "Farklı kür yöntemlerinin uçucu kül içeren harçların eğilme ve basınç dayanımına etkisi". *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 22(6), 396-399, 2016.
- [45] Yazıcı Ş, Sezer Gİ. "Polimer ilaveli harçlarda sülfat etkisinin ve alkali silis reaksiyonunun incelenmesi". *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 22(6), 413-417, 2016.