



Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç Örneklerinin Malzeme Karakterizasyonu: Savatra (Türkiye) Örneği

Tuba ARKAN DEMİRÖRS^{1*} Kerim ÇINAR²

¹KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Konya, Turkey

²Mimarlık Bölümü, Konya, Turkey

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20/11/2025
Düzeltilme: 10/12/2025
Kabul: 19/12/2025

Anahtar Kelimeler

Savatra Antik Kent
Yapı Malzemesi
Duvar Örgü Harcı
Malzeme Karakterizasyonu

Article Info

Research article
Received: 20/11/2025
Revision: 10/12/2025
Accepted: 19/12/2025

Keywords

Ancient City of Savatra
Building Material
Wall Mortar
Material Characterization

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu makale, Savatra antik kentinde yer alan tiyatro yapısı sahne binası bölümünde kullanılan duvar örgü harç örneklerinin içerik analizi için karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Duvar örgü harç numunelerinin karakterizasyon çalışmaları için XRF, XRD, FTIR, FESEM ve Tane Boyut incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ile özgününe uygun yapı malzemesi içerik formülasyonunun belirlenmesi için önemlidir. / This article presents characterization studies for the content analysis of mortar samples used in the stage building section of the theater structure located in the ancient city of Savatra. XRF, XRD, FTIR, FESEM, and grain size analyses were performed for the characterization of the mortar samples. The analysis results obtained are important for determining the appropriate building material content formulation for the original product.



Şekil A: Duvar örgü harç toz malzemelerin analizi için yapılan karakterizasyon çalışmaları akış şeması / **Figure A:** Flowchart of characterization studies for the analysis of wall mortar powder materials

Önemli noktalar (Highlights)

- Duvar örgü harç numunelerinin kimyasal bileşimleri incelendiğinde tüm örneklerde (N1, N2, N3) ana bileşenlerin CaO ve SiO₂ olduğu tespit edilmiştir. / When the chemical compositions of the wall mortar samples were examined, it was determined that the main components in all samples (N1, N2, N3) were CaO and SiO₂.
- FE-SEM mikro yapı analizi sonucuna göre, N2 numunesine ait duvar örgü harç tozunun neredeyse hepsinde çoğunlukla düzensiz şekil ve morfolojide yer aldığı saptanmıştır. / According to the FE-SEM microstructure analysis results, it was determined that almost all of the mortar powder in the N2 sample consisted mostly of irregular shapes and morphologies.
- N2 numunesine ait parçacık boyut analiz ölçüm sonucu ile ortalama toz boyutunun (d_{0.5}) 29.52 µm olduğu tespit edilmiştir. / Particle size analysis of the N2 sample revealed an average dust size (d_{0.5}) of 29.52 µm.

Amaç (Aim): Savatra antik kentinde yer alan tiyatro yapısının sahne binası bölümündeki duvar örgü harç yapı malzemesinin içeriğini tespit etmek amaçlanmıştır. / The aim of this study was to determine the composition of the mortar used in the wall construction of the stage building section of the theater structure located in the ancient city of Savatra.

Özgünlük (Originality): Yapı malzemesinin karakterizasyon çalışmaları ile yapıya özgü duvar örgü harç malzemesinin özellikleri tespit edilecek restorasyon uygulamalarında doğru harç malzemesinin oluşturulması sağlanacaktır. / Characterization studies of building materials will determine the properties of the specific mortar material for wall construction, ensuring the use of the correct mortar material in restoration applications.

Bulgular (Results): Analiz sonuçlarına göre duvar örgü harç numunelerinin ana bileşenlerinin kalsit (CaCO₃) ve kuvars (SiO₂) olduğu tespit edilmiştir. / According to the analysis results, the main components of the wall mortar samples were determined to be calcite (CaCO₃) and quartz (SiO₂).

Sonuç (Conclusion): Elde edilen analiz sonuçları, yapıya ait orijinal duvar örgü harç malzemelerinin formülünün oluşturulması konusunda yol gösterici bir adım niteliği taşımaktadır. / The analysis results obtained serve as a guiding step in creating the formula for the original wall mortar materials of the structure.



Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç Örneklerinin Malzeme Karakterizasyonu: Savatra (Türkiye) Örneği

Tuba ARKAN DEMİRÖRS^{1*} Kerim ÇINAR²

¹KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Konya, Turkey

²Mimarlık Bölümü, Konya, Turkey

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20/11/2025
Düzeltilme: 10/12/2025
Kabul: 19/12/2025

Anahtar Kelimeler

Savatra Antik Kent
Yapı Malzemesi
Duvar Örgü Harcı
Malzeme
Karakterizasyonu

Öz

Tarihi yapılar ülkelerin sahip olduğu en değerli kültürel miras unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Tarihi yapıların korunmasında temel amaç, yapısal bütünlüklerini ve özgünlüklerini bozmadan gelecek nesillere sağlıklı bir biçimde aktarılmasını sağlamaktır. Bu bağlamda, tarihi yapıların korunması sürecinde harç gibi özgün yapı malzeme bileşimlerinin doğru şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Koruma ve onarım çalışmalarında, kullanılacak onarım harçlarının özgün harçlarla benzer özellikler göstermesi hem malzeme uyumluluğu açısından hem de müdahalelerin başarısı bakımından gereklidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin Orta Anadolu bölgesinde yer alan Konya ilinin Yağlıbayat mahallesinde konumlanan Savatra antik kentte yapılan kazı çalışmaları ile gün yüzüne çıkan yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin içerik analizleri yapılmış amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında; Savatra Antik kentte yer alan tiyatro yapısının sahne binasından çeşitli harç örnekleri alınmıştır. Alınan harç örnekleri laboratuvar da uygun koşullar altında çeşitli karakterizasyon çalışmaları için hazırlanmıştır. Duvar örgü harç numunelerinin karakterizasyon çalışmaları için XRF, XRD, FTIR, FESEM ve Tane Boyut incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; yapılan analizler incelendiğinde duvar örgü harç numunelerinin ana bileşenlerinin kalsit (CaCO_3) ve kuvars (SiO_2) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar geçmiş dönemlerde kullanılan yapı malzemelerinin içeriklerini belirlemek açısından ve arkeolojik yapıların restorasyon çalışmaları için kullanılacak özgününe uygun malzeme içerik altyapısının ve formülasyonunun belirlenmesi için önemli bir yere sahiptir.

Material Characterization of Mortar Samples Used in Historical Building: The Case of Savatra (Turkey)

Article Info

Research article
Received: 20/11/2025
Revision: 10/12/2025
Accepted: 19/12/2025

Keywords

Ancient City of Savatra
Building Material
Wall Mortar
Material Characterization

Abstract

Historical buildings are considered one of the most valuable elements of a country's cultural heritage. The primary objective in the conservation of historical buildings is to ensure that they are passed on to future generations in a healthy manner without compromising their structural integrity and authenticity. In this context, the accurate identification of the compositions of original building materials such as mortar is of great importance in the conservation of historical buildings. In conservation and restoration work, it is essential that the restoration mortars used exhibit similar properties to the original mortars in terms of both material compatibility and the success of the interventions. In this study, content analyses of the building materials used in the structures uncovered during excavation work at the ancient city of Savatra in the Yağlıbayat neighbourhood of Konya province in Turkey's Central Anatolia region are being conducted. Within the scope of the study, various mortar samples were taken from the stage building of the theatre building located in the ancient city of Savatra. The mortar samples were prepared in the laboratory under appropriate conditions for various characterisation studies. XRF, XRD, FTIR, FESEM and grain size analyses were performed for the characterisation of the wall mortar samples. The results of the study revealed that the main components of the wall mortar samples were calcite (CaCO_3) and quartz (SiO_2). The findings are significant in determining the composition of construction materials used in the past and in establishing the appropriate material composition and formulation for the restoration of archaeological structures.

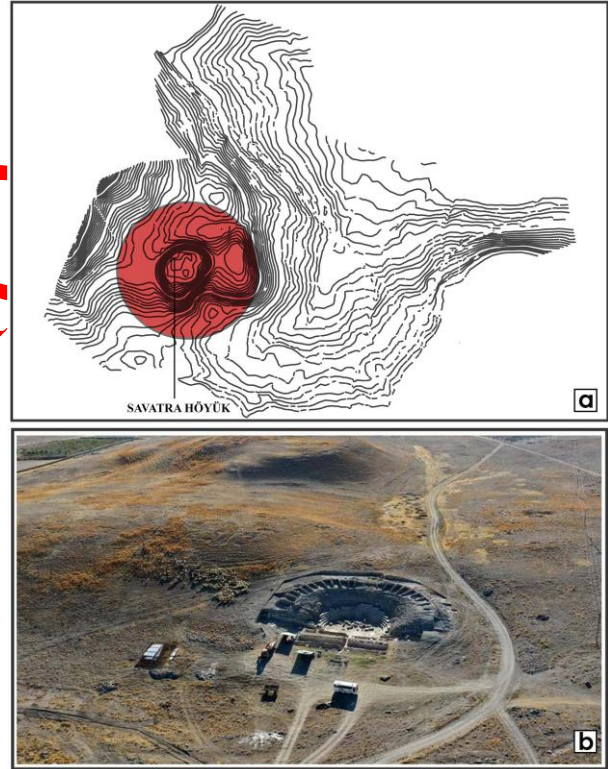
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tarihi yapılar ve arkeolojik buluntular, geçmiş medeniyetlerin sosyo-kültürel özelliklerini yansıtan, ulusal kimliğin sürdürülmesinde etkin rol oynayan kültürel miras öğeleridir [1, 2]. Bu yapıların korunarak gelecek nesillere aktarılması, tarihsel ve kültürel sürekliliğin sağlanması açısından oldukça önemlidir [3]. Ülkemiz farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış, zengin tarihi yapı dokusuna sahip çok katmanlı coğrafyalardan biridir. Ulusal kültürel sürekliliğin sağlanabilmesi açısından geçmişin izlerini günümüze taşıyan tarihi yapıların ve arkeolojik buluntuların, özenle korunması ve gelecek kuşaklara özgünlüğünü yitirmeden aktarılması, titizlikle yürütülmesi gereken bir süreçtir. Bu süreçte yapılması gereken en önemli aşamalardan biri, tarihi yapıların ve arkeolojik kazılar sonucu ortaya çıkan mimari yapıların özgün karakterini bozmadan yaşatılması için yapılacak olan koruma ve onarım çalışmalarıdır. Koruma ve onarım çalışmaları kapsamında öncelikli olarak tarihi yapıların ve arkeolojik buluntuların yapıldıkları döneme ait yapı malzemelerinin belirlenmesi ve doğru yapım tekniklerinin tespit edilmesi gerekmektedir [2]. Bu durum ülkemizde geçerliliğini halen sürdüren 1964 tarihli Venedik Tüzüğü'nde, tarihi yapıların koruma ve onarım çalışmalarında özgün malzemenin kullanılması ilkesi ile vurgulanmaktadır. Bu bağlamda yapılacak olan onarım ve koruma çalışmalarında özgün ve uygun malzemeleri tespit etmek için malzemelere yönelik karakterizasyon çalışmaları yapılmalıdır [4]. Malzemelere yapılan karakterizasyon çalışmaları, geçmiş dönemde kullanılan malzemeleri tespit etmek ve koruma/onarım çalışmalarında kullanılacak doğru malzemeleri belirlemek açısından büyük öneme sahiptir [5].

Konya ili, tarihsel süreçte önemli birçok medeniyete ev sahipliği yapmış ve geçmişten günümüze kadar geçen zamanda farklı kültürleri bir arada barındırmıştır [6, 7]. Çeşitli ve zengin kültürel miras yapılarına sahip olan Konya, özellikle Dünya'da bilinen en eski neolitik dönem yerleşim yerlerinden biri olan Çatalhöyük'ün Konya Ovasında keşfedilmesi bu coğrafyayı, bilim insanları için önemli bir odak noktası haline getirmiştir [6]. Böylelikle Konya ili sahip olduğu zengin tarihsel ve kültürel içerik ile arkeolojik araştırmaların ve kazı çalışmalarının yapıldığı bir alan olmuştur.

Bu coğrafya da devam eden arkeolojik yüzey araştırmaları ile bölge hakkında önemli bilgilere ulaşılmış ve tarihi belgelerde bahsedilen antik kentlerin varlığının gün yüzüne çıkartılması sağlanmıştır [8]. Bu doğrultuda, Konya'nın doğu

kesiminde 2017-2022 yılları arasında yapılan arkeolojik yüzey araştırmaları neticesinde Bozdağ'ın eteklerinde Savatra Antik Kentine ait izler keşfedilmiştir (Şekil 1). Savatra Antik Kenti, Konya il merkezine 70 km uzaklıkta Yağlıbayat Mahallesi sınırları içerisinde konumlanmaktadır [9, 10]. Tarihi belgelerde Savatra'nın Lykaonia Bölgesi'nin doğusunda yer aldığı belirtilmektedir. Bu bölge bulunduğu konum itibarıyla farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış ve zengin kültürel mirası bünyesinde barındırmıştır [8]. Bölgede 2017 yılında başlayan arkeolojik yüzey araştırmalarının akabinde 2021 yılında Konya Arkeoloji Müzesi başkanlığında ilk kazı çalışmaları başlatılmıştır. Daha sonra 2022 yılında Kültür ve Turizm Bakanlığının izni, Konya Büyükşehir Belediyesi ve Karatay Belediyesinin desteği ile Selçuk Üniversitesi adına Doç. Dr. İlker IŞIK başkanlığında kazı çalışmaları yürütülmeye devam etmektedir [10].



Şekil 1. a) Savatra Antik Kentin konumu (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur) b) Savatra Antik Kentin havadan görünümü [10] (a) Location of the ancient city of Savatra (Created by the authors) b) Aerial view of the ancient city of Savatra [10]

Çalışma alanı olarak seçilen Savatra Antik Kenti, 08.05.2015 tarihli Konya Koruma Kurulu kararı ile 2863 sayılı yasa kapsamında I. ve III. derece arkeolojik sit alanı olarak tescil edilmesine karar verilmiştir. Savatra Antik Kentin yapıldığı dönemde kullanılan yapı malzemeleri ve uygulanan yapım teknikleri, yapının mimari ve kültürel kimliğinin

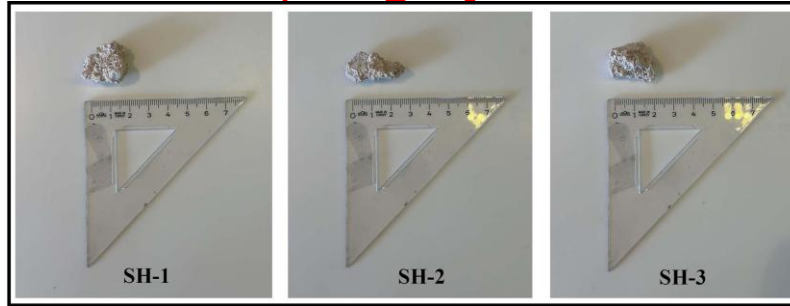
anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, Konya Karatay Belediye Başkanlığının izniyle, Savatra antik kentin sahne binası bölümünden kazı sonrası ana kütlede dökülen çeşitli duvar örgü harç örneklerine arkeometrik tekniklerle malzeme içerik analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda, duvar örgü harç numunelerinin elementel kompozisyonu için XRF, minerolojik yapısı için XRD, bağ yapısının tespiti için FTIR, FESEM-EDS, Tane Boyut analizi ile karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile koruma ve onarım çalışmaları kapsamında yapıda kullanılan özgün malzemelerin içerik analizlerinin gerçekleştirilmesi için malzeme karakterizasyonu, geçmiş dönemdeki yapı tekniklerinin tespiti ve doğru restorasyon çalışmaları için gerekmektedir. Restorasyon çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için öncelikle tarihi ve arkeolojik yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerinin tespit edilmesi en temel adımlardan birisidir. Elde edilen veriler doğrultusunda, yapıya özgü duvar örgü harç özelliklerinin tespiti ile yapılacak olan restorasyon uygulamalarında doğru harç malzemesinin oluşturulması sağlanacaktır. Bu doğrultuda, yapının orijinal görünümü bozulmadan tarihsel bütünlüğünün ve estetik kimliğinin korunmasına katkı sağlanacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Deneysel çalışmalar kapsamında Savatra kazı alanının (Şekil 2) sahne binası bölümünden temin edilen duvar örgü harç numuneleri öncelikle fotoğraflanarak belgelenmiştir. Analiz edilen duvar örgü harç numuneleri Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 2. Savatra Antik Kent kazı alanı (Çınar Kişisel Fotoğraf Arşivi, 2024) (Savatra Ancient City excavation site (Çınar Personal Photo Archive, 2024))



Şekil 3. Savatra duvar örgü harç numuneleri (Savatra wall mortar samples)

Savatra kazı alanının sahne binası bölümünün 3 farklı yerinden alınan duvar örgü harç numuneleri N1, N2, N3 olarak adlandırılmıştır. Karakterizasyon çalışmalarının yürütülebilmesi amacıyla numuneler, analiz öncesinde toz haline getirilmiştir (Şekil 4). Numunelerin karakterizasyon çalışmalarına bağlı olarak, malzemelerin elementel analizi için X-ışınları floresans (XRF) ve kristalografik özelliklerini ve minerallerin kimyasal bileşenlerini belirlemek için X-ışını kırınımı (XRD) çalışmaları yapılmıştır. XRF analizi Seydişehir Eti Alüminyum Ar-Ge laboratuvarında bulunan ARL ADVANT’X 9800 marka cihaz kullanılmıştır. XRD analizi için ise Seydişehir Eti Alüminyum Ar-Ge laboratuvarında bulunan GNR Explorer marka cihaz ile analiz gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin

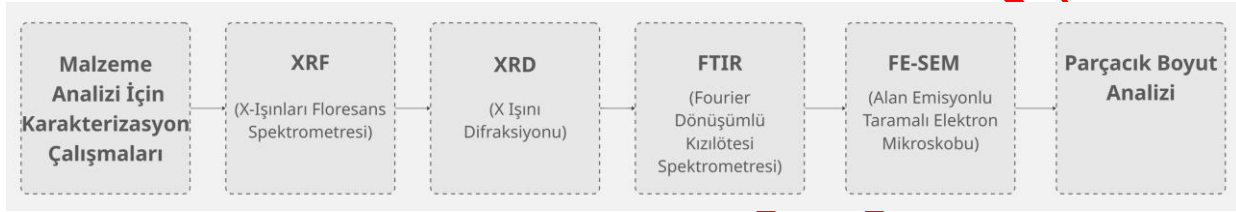
bağ yapısının tanımlanabilmesi için Fourier dönüşümü infrared spektrometresi (FT-IR) analizi yapılmıştır. FTIR çalışmaları, Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM laboratuvarında bulunan Thermo Scientific – Nicolet iS20 model cihaz kullanılarak yapılmıştır. Bu analizlere ilaveten malzemelerin duvar örgü harç numunelerinin şekil ve morfolojisi bakımından tespiti için FESEM (alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu) incelemeleri ve malzemelerin parçacıklarının boyut dağılımlarını karakterize edebilmek için parçacık boyut analizi ile malzemelerin karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. FESEM analizi Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM laboratuvarında bulunan ZEISS GeminiSEM 500 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca parçacık

boyut analizi için yine Necmettin Erbakan Üniversitesi BITAM laboratuvarında bulunan Cilas 1190 model cihaz kullanılmıştır. Şekil 5’de

malzeme analizi için yapılan karakterizasyon çalışmalarının akış şeması verilmiştir.



Şekil 4. Savatra duvar örgü harç toz numuneleri (Savatra wall mortar powder samples)



Şekil 5. Duvar örgü harç toz malzemelerin analizi için yapılan karakterizasyon çalışmaları akış şeması (Flowchart of characterization studies for the analysis of wall mortar powder materials)

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULT)

Savatra kazı alanının sahne binası bölümünün 3 farklı yerinden alınan duvar örgü harç numunelerinin kimyasal bileşimleri ağırlıkça yüzde olarak belirlenmiştir. Tablo 1’de verilen XRF analiz sonucuna göre sahne binası duvar örgü harç numunelerinde (N1, N2, N3) ortaya çıkan kimyasal bileşenler açısından, temel bileşen olarak CaO ve

SiO₂ yapılarının yer aldığı görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre ana element içeriği N1 duvar örgü harç numunesinde %79,60 oranında CaO ve %15,00 oranında SiO₂, N2 duvar örgü harç numunesinde %74,10 oranında CaO ve %19,00 oranında SiO₂, N3 duvar örgü harç numunesinde %76,20 oranında CaO ve %15,00 oranında SiO₂ bileşenleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda tüm numunelerde düşük oranlarda Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, K₂O, SO₃, SrO, P₂O₅, MnO içeriği yer almaktadır.

Tablo 1. Duvar örgü harç numunelerine ait XRF analizi (%) (XRF analysis of wall mortar samples (%))

Numune Adı	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	SrO	P ₂ O ₅	MnO
N1	79,60	15,00	1,84	1,16	0,94	0,72	0,27	0,15	0,13	0,12
N2	74,10	19,00	2,58	1,00	1,36	1,02	0,27	-	0,13	0,17
N3	76,20	18,0	2,41	0,67	1,17	0,83	0,16	-	0,15	0,18

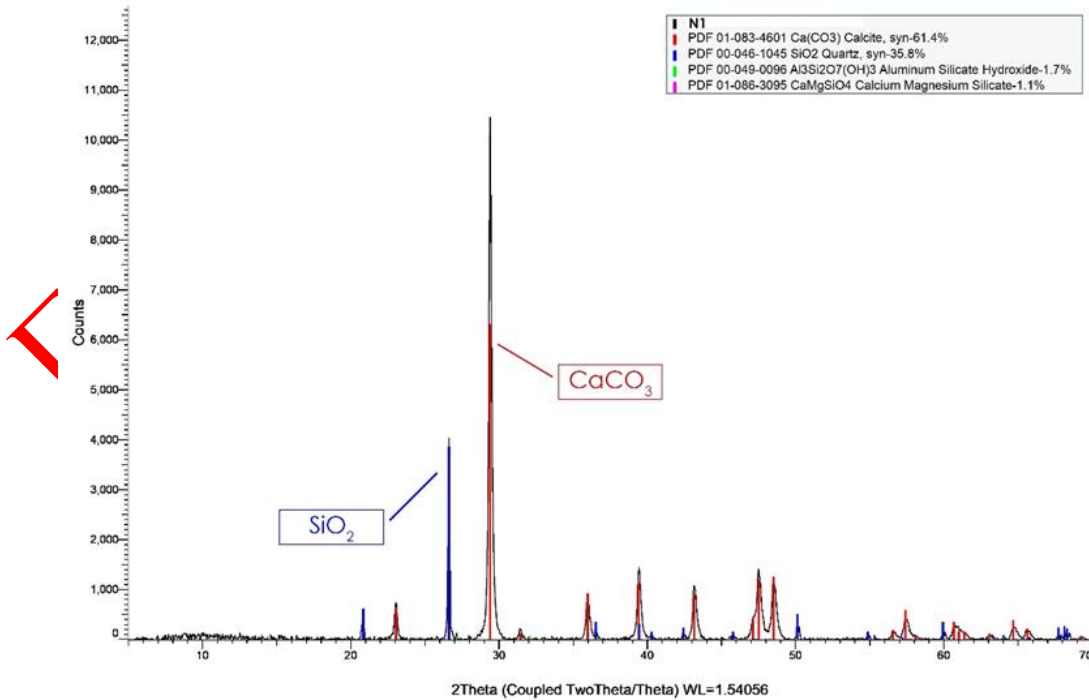
Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde, Solak & Çüçen’ nin incelediği Muğla ili Milas İlçesi Beçin Antik Kenti’nde yer alan Yelli Medresesi ve Denizli İli İlbade Mezarlığında yer alan Namazgah yapısında kullanılmış olan harç ve sıva örneklerinde yüksek oranda CaO ve SiO₂ bileşenleri olduğu tespit edilmiştir. Duvar örgü harç numunelerinde yüksek oranda kalsiyum elementinin yer alması

harç malzemesinin bağlayıcılık özelliğinin artırıcı yönde olumlu bir katkı sağladığı söylenebilmektedir. Bu bağlamda Savatra kazı alanındaki sahne binası duvar örgü harç numunelerinin XRF analizi sonucuna incelendiğinde sonuçlar Solak & Çüçen (2023) yılında yapmış olduğu çalışmadaki harç ve sıva örneklerinin sonuçları ile uyumlu olduğu

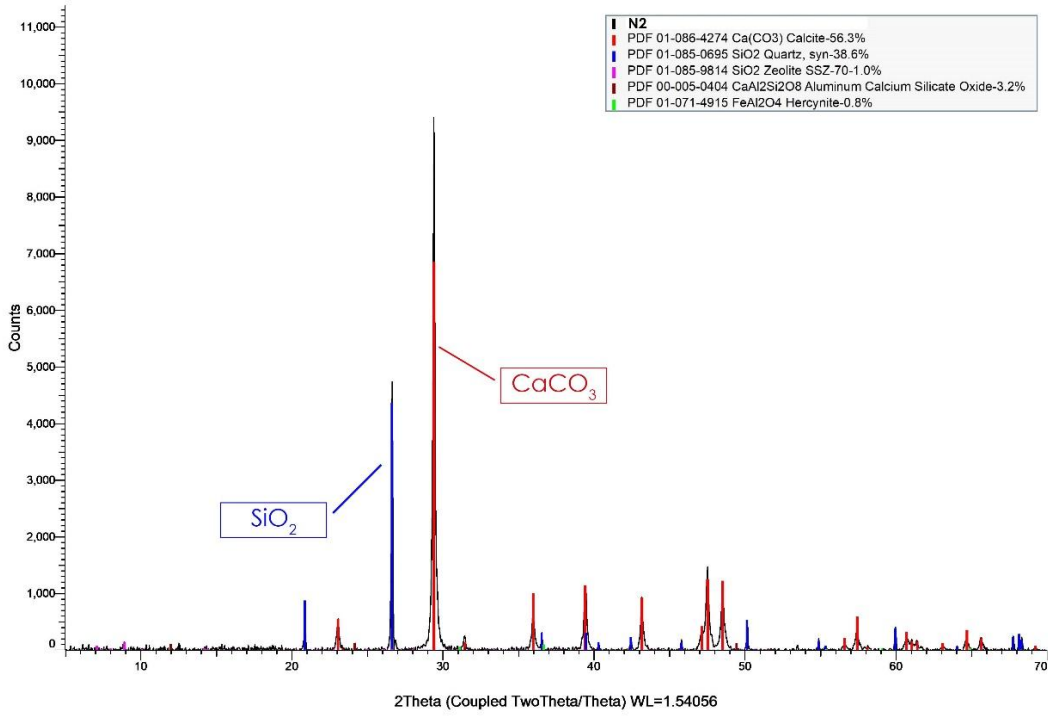
görülmektedir [5]. Ayrıca alanındaki sahne binası duvar örgü harç numunelerinde yüksek içerikte kalsiyum elementinin yer alması, malzemenin bağlayıcılık özelliğinde benzer etki vereceği söylenebilir. Bir diğer çalışmada Oğuz ve ark. Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi harçlarının özellikleri üzerine yapılan çalışmada harç numunelerinde yüksek miktarda CaO ve SiO₂ bileşenleri olduğunu ifade etmişlerdir [12]. Andersen ve ark. Danimarka'da 1100 ve 1450 yıllarında inşa edilmiş olan Orta çağ kiliselerinden alınan eski harç numuneleri üzerine yaptıkları çalışmada XRF analiz sonuçlarına göre yüksek oranda %38-70 arasında SiO₂, % 13-30 arasında CaO içerikleri daha düşük oranlarda TiO₂, Fe₂O₃, Mn₃O₄ ve MgO bileşenleri olduğu görülmüştür [13].

Deneyisel çalışmalarda kullanılan duvar örgü harç numunelerinin (N1, N2, N3) yapısal özellikleri XRD cihazında analiz edilmiştir. Elde edilen XRD analiz sonuçları incelendiğinde (Şekil 6-8), tüm deney numunelerinde baskın olarak CaCO₃ (kalsit) ve SiO₂ (kuvars) pikleri görülmüştür [14]. Savatra N1 numunesinde farklı olarak eser miktarda Al₃Si₂O₇(OH)₃ (alüminyum silikat hidroksit) ve CaMgSiO₄ (Montisellit: kalsiyum magnezyum silikat) pikleri gözlenmiştir (Şekil 6) [15, 16]. N2 ve N3 numunelerinde diğer numuneden farklı olarak az miktarda Zeolit [17, 18], FeAl₂O₄ (Hernisit), CaAl₂Si₂O₈ (Alüminyum Kalsiyum Silikat Oksit) pikleri yer almaktadır (Şekil 7-8). Alverez vd.

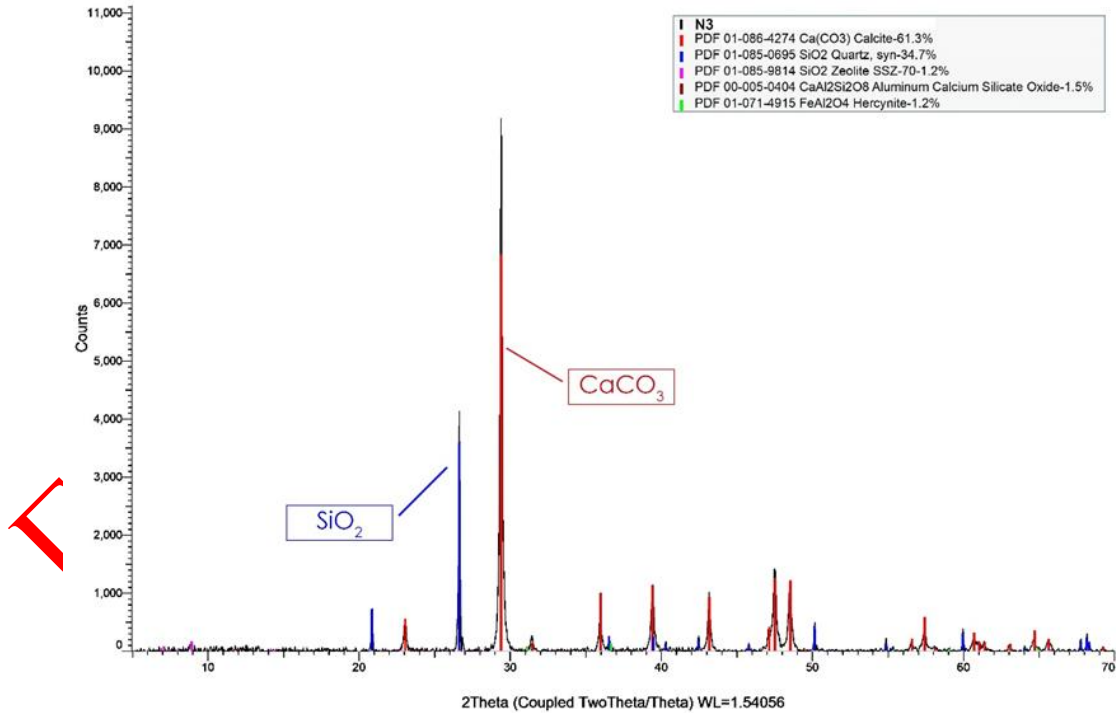
tarafından yapılan çalışmada İspanya'daki Pamplona katedralinden çeşitli harç örneklerine yapılan XRD analizinde, harç numunelerinin ana bileşenlerinin kalsit ve kuvars olduğu görülmektedir [19]. Koralay vd. yapmış oldukları çalışmada Tripolis Antik Kentinde yer alan tarihi yapılardan harç ve sıva numunelerinin XRD analiz sonuçlarında düzenli ve belirgin kalsit ve kuvars piklerinin yer aldığı tespit edilmiştir [20]. Güzel vd. Çatalhöyük Neolitik kentinden alınan sıva örneklerinin analizi üzerine yapmış oldukları çalışmada, XRD analiz sonuçlarında ana minerallerin kalsit (CaCO₃), kuvars (SiO₂) olduğunu ifade etmişlerdir [21]. Bir başka çalışmada, Velosa ve ark. Conimbriga arkeolojik sit alanında eski Roma sivalarının onarımı için harç formülasyonuna ihtiyaç duyarak, mevcut sivaların özelliklerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Sıva örneklerinin XRD analiz sonuçlarında bu harçların ana bileşenleri olarak hem kuvars hem de kalsitin bulunduğunu ortaya koymaktadır [22]. Savatra kazı alanındaki sahne binası duvar örgü harç numunelerinin (N1, N2, N3) XRD analiz sonuçları ile elde edilen ana bileşenlerin literatür ile uyumlu olarak kalsit ve kuvars piklerden oluştuğu tespit edilmiştir [2, 23]. Sahne binası duvar örgü harç numunelerinde Kalsit minerali bağlayıcılık özelliğine sahip kirecin kullanıldığını gösterirken, kuvars minerali ise kullanılan agregaların genel olarak silisyum mineralini içerdiğini doğrulamaktadır [4, 12, 24, 25].



Şekil 6. Duvar örgü harcı N1 numunesine ait XRD Analizi (XRD analysis of N1 sample of wall mortar)



Şekil 7. Duvar örgü harcı N2 numunesine ait XRD Analizi (XRD analysis of N2 sample of wall mortar)



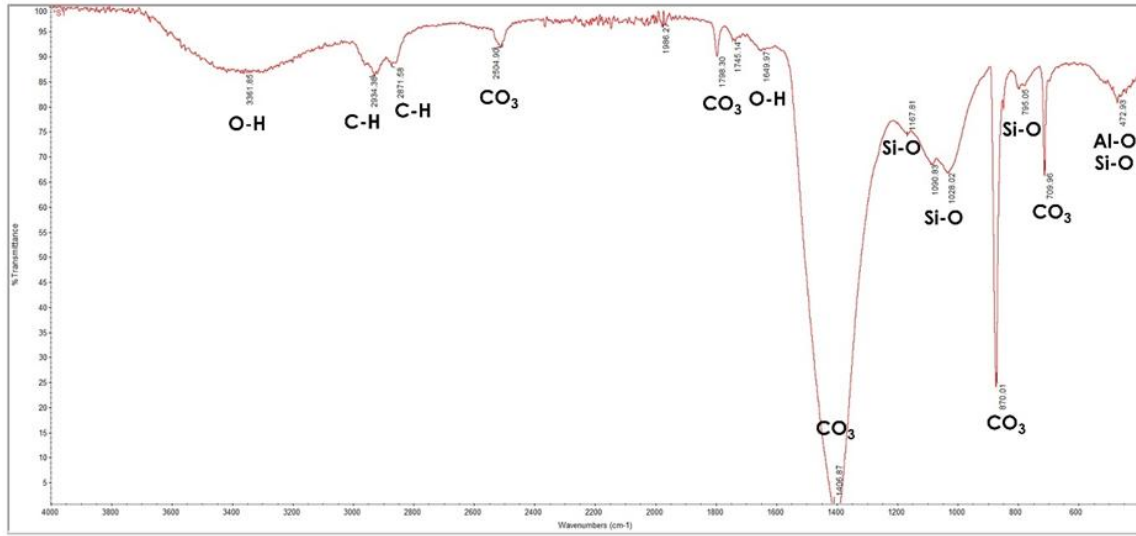
Şekil 8. Duvar örgü harcı N3 numunesine ait XRD Analizi (XRD analysis of N3 sample of wall mortar)

N1, N2, N3 Savatra duvar örgü harç numunelerinin XRD analiz sonuçları neticesinde bütün numunelerde CaCO_3 ve SiO_2 ana pik değerlerinin yer aldığı görülebilmektedir. Dolayısıyla XRD analizini takiben duvar örgü harç numunelerinde var olan bağ yapılarının daha net belirlenebilmesi

amacıyla FT-IR analizi sadece N2 numesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Savatra duvar örgü harç numunelerinin tamamında $4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ aralığında gerçekleştirilen FTIR analiz sonuçları incelendiğinde; ortaya çıkan başlıca bağ yapılarının Si-O ve CO_3 bantlarının olduğu görülmüştür [26].

Bununla birlikte duvar örgü harç numunelerin hepsinde kalsit (CaCO_3) varlığı 1406.87 cm^{-1} dalga boyunda ana CO_3 bandı, 870.01 , 709.96 cm^{-1} dalga boylarında keskin CO_3 pikleri [26, 27, 28, 29, 30] ve 2504.90 , 1798.30 dalga boylarında CaCO_3 'le ilişkilendirilen keskin CO_3 pikleri gözlemlenmektedir [28, 29]. Aynı zamanda kuvars varlığı 1028.02 cm^{-1} dalga boyunda güçlü Si-O simetrik titreşim bandı ile karakterize edilmektedir [29]. 1167.81 , 1090.83 , 795.05 cm^{-1} dalga boylarında ise Si-O bantları yer almaktadır [26, 28, 31, 32]. 3361.85 ve 1649.97 deki bantlarda nemden/sudan kaynaklı O-H gerilme ve bükülme

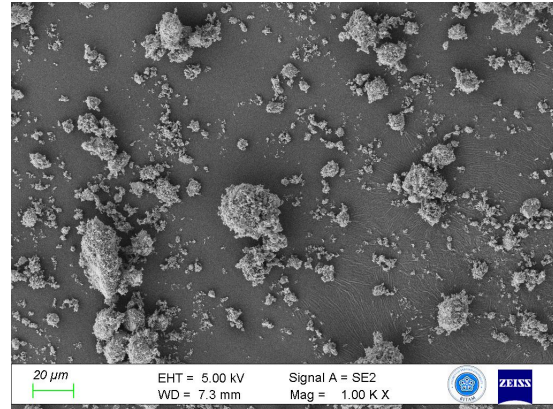
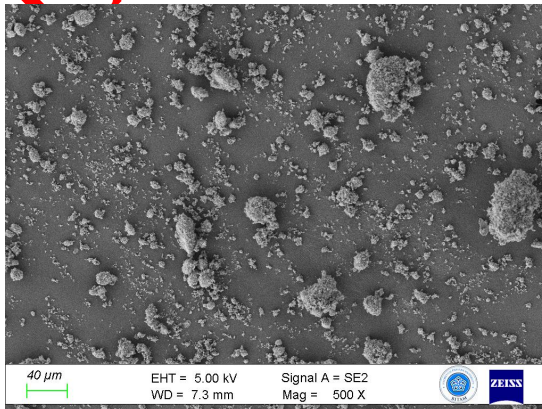
titreşimleri gözlemlenmektedir [17]. 2934.38 ve 2871.58 cm^{-1} dalga boylarında C-H bağına karşılık gelen pik görülmektedir. Absorbans sinyalleriyle C-H gerilme ve bükülmeleri sırasıyla 2980 ve 2875 cm^{-1} 'de gerçekleşmektedir [29]. 472.93 cm^{-1} dalga boyunda Al-O ve Si-O deformasyon bantlarını birleşimini varlığı söylenebilmektedir [26]. Literatürde incelendiğinde tarihi harç ve sıvaların FTIR spektrumlarına bakıldığında kalsit içeriği 2518 , 1798 , 1410 , 871 ve 713 cm^{-1} dalga boylarında CO_3 bantlarını, kuvars içeriği 1163 , 797 , 778 ve 694 cm^{-1} dalga boylarında Si-O bantlarını tanımladığı görülmektedir [28].

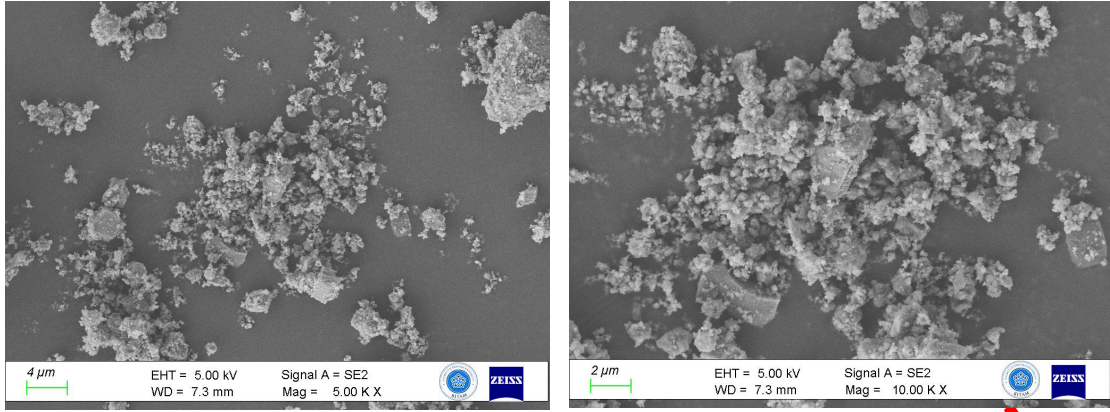


Şekil 9. Savatra duvar örgü harçları N2 numunesine ait FT-IR Analizi (FT-IR analysis of Savatra wall mortar sample N2)

Duvar örgü harç numunesini (N2) farklı büyütme oranlarında elde edilen FE-SEM mikro yapı görüntü sonucu Şekil 10'da gösterilmiştir. Elde edilen FE-SEM mikro yapı sonuçları incelendiğinde, duvar örgü harç numune tozlarının neredeyse tamamına yakınının düzensiz toz şekil ve morfolojisinde yer aldığı gözlemlenmiştir. FE-SEM incelemeleri sonucunda mikroyapı görüntüsü üzerinde yer alan skala ölçeği dikkate alındığında, toz parçacık

boyutlarının yaklaşık olarak 3-5 mikron civarında yer aldığı belirtilebilir. Harç numune tozlarının özellikle yüksek büyütmede yapılan FE-SEM incelemeleri neticesinde ise tozların bir araya gelerek kümeleşme veya aglomerasyon oluşturdıkları tespit edilmiştir [25, 33]. Bu durum aglomerasyon oluşumu ile birlikte toz parçacıklarında büyük parçacık boyutlarının sergilenmesi olarak ifade edilebilir (25-30 mikron).

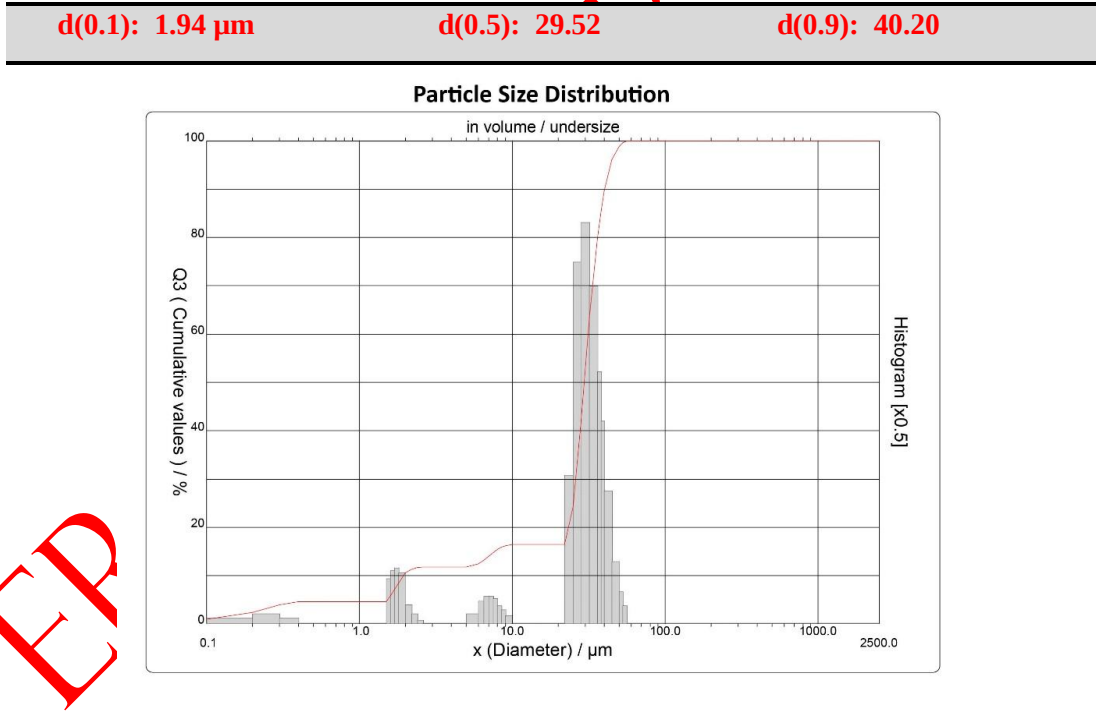




Şekil 10. Savatra duvar örgü harcı N2 numunesine ait FE-SEM görüntüleri (FE-SEM images of Savatra wall mortar N2 sample)

Parçacık boyut ölçüm yöntemlerinden bir tanesi de FE-SEM mikro yapı görüntüsü üzerinden yapılan incelemeler olarak değerlendirilmekle beraber bu sonuçları doğrular nitelikte olması açısından, parçacık boyut analiz ölçümü de gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla FE-SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere N1, N2 ve N3

harç numunelerinin parçacık boyutlarının benzerlik sergilemesi sebebiyle, yalnızca N2 harç numunesinin parçacık boyut analiz sonucu Şekil 11’de gösterilmiştir. Elde edilen parçacık boyut analiz sonucu incelendiğinde, N2 harç numunesi parçacık boyutu olarak ortalama toz boyutu açısından ($d_{0.5}$) 29.52 µm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11. Savatra duvar örgü harcı N2 numunesine ait Tane Boyut Analizi (Particle Size Analysis of Savatra Wall Mortar N2 Sample)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Tarihi ve arkeolojik yapılarda kullanılan harç bileşenlerinin malzeme içeriklerinin analiz edilmesi, koruma ve onarım çalışmalarının başarılı olması için önemli bir yere sahiptir. Bu doğrultuda çalışmada Savatra antik kent yapısının sahne binası bölümünden temin edilen duvar örgü harç numunelerinin malzeme altyapısının tespiti amaçlı karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

Duvar örgü harç numunelerinin kimyasal bileşimleri incelendiğinde tüm örneklerde (N1, N2, N3) ana bileşenlerin CaO ve SiO₂ olduğu belirlenmiştir. Numunelerin ana element içeriği incelendiğinde ise sırasıyla N1 numunesi için %79,60 oranında CaO ve %15,00 oranında SiO₂, N2 numunesinde %74,10 oranında CaO ve %19,00 oranında SiO₂, N3 numunesinde %76,20 oranında CaO ve %15,00 oranında SiO₂ bileşimi tespit edilmiştir. XRD analiz sonucu ile tüm örneklerde kalsit (CaCO₃) ve kuvars (SiO₂) temel oluşum pikleri görülmüştür. Ayrıca N1 numunesinde farklı olarak çok az miktarda alüminyum silikat hidroksit, montisellit, N2 ve N3 numunelerinde farklı olarak çok düşük oranda zeolit, hernisit, alüminyum kalsiyum silikat oksit mineralleri yer aldığı saptanmıştır. XRD analizi sonrasında duvar örgü harç numunelerindeki bağ yapılarının daha kesin tespiti için FT-IR spektrumu analizi yalnızca N2 numunesine yapılmıştır. Analiz sonucu incelendiğinde kalsit içeriği CO₂ bandını ve kuvars varlığı Si-O bandının varlığını gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca N2 numunesinde O-H, C-H ve Al-O bantlarının yer aldığı belirlenmiştir. FE-SEM mikro yapı analizi sonucuna göre, N2 numunesine ait duvar örgü harç tozunun neredeyse hepsinde çoğunlukla düzensiz şekil ve morfolojide yer aldığı saptanmıştır. Son olarak, N2 numunesine ait parçacık boyut analiz ölçüm sonucu ile ortalama toz boyutunun (d_{0.5}) 29.52 µm olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada yapılan malzeme karakterizasyon analizleri ile Savatra antik kentinin restorasyon sürecine temel katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Elde edilen analiz sonuçları, yapıya ait orjinal duvar örgü harç malzemelerinin formülünün oluşturulması konusunda yol gösterici bir adım niteliği taşımaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yazarlar değerli desteklerinden dolayı Karatay Belediye Başkanlığına ve kazı başkanı Doç. Dr. İlker Işık'a

teşekkür etmektedir. Ayrıca, Seydişehir Eti Alüminyum Ar-Ge laboratuvarı'na (XRF ve XRD analizleri için) ve Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM laboratuvar'ına (FTIR, FESEM, Tane Boyut Analizler için) teşekkürlerimizi sunarız.

The authors express their gratitude to the Karatay Municipality and the excavation director, Assoc. Prof. Dr. İlker Işık, for their valuable support in carrying out this study. They also extend their thanks to the Seydişehir Eti Aluminum R&D laboratory (for XRF and XRD analyses) and the Necmettin Erbakan University BİTAM laboratory (for FTIR, FESEM, and grain size analyses).

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Tuba ARKAN DEMİRÖRS: Literatür taraması gerçekleştirmiş, deneysel çalışmalar doğrultusunda yapı malzemelerinin karakterizasyon çalışmaları için akış şemasını tasarlamış, yapı malzemelerinin deneysel analizini yapmış, sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She contributed to literature research, designed a flowchart for the characterization of building materials based on experimental studies, performed experimental analysis of the building materials, analyzed the results, and completed the article writing process.

Kerim ÇINAR: Literatür araştırmasını yapmış, yapı malzemelerinin karakterizasyon çalışmalarının yapılmasına katkı sağlamış, sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted a literature research, contributed to the characterisation studies of building materials, analysed the results, and completed the writing of the article.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gürel, Ş. S., & Dereli, M. Kültür Mirası Mimari Yapılarda Malzeme Bozulmaları: Hoca Hasan Mescidi. Konya Sanat. 2023; 6: 182-194.
- [2] Bilgilioglu, H. Tarihi harç örneklerinin çoklu analitik yöntemler kullanılarak incelenmesi:

- Tyana Roma Hamamı (Niğde-Kemerhisar) örneği. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2023; 12: 1157-1167.
- [3] Bacak, F. N., & Yıldız, E. Akseki ilçesi Emiraşıklar mahallesi geleneksel konut mimarisi tescilli yapıları üzerine bir çalışma. Konya Sanat. 2023; 6: 1-24.
- [4] Solak, A. Tarihi Büyük Hamam (Milas-Muğla) Yapısında Kullanılan Duvar ve Sıva Harçlarının DeneySEL Olarak İncelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2023; 14: 208-215.
- [5] Solak, A., & Çüçen, A. Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç ve Sıvaların Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Yalvaç Akademi Dergisi. 2023; 8: 105-116.
- [6] Uyanık, N., & Berk, F. M. Mekân-Şehir Ve Medeniyet Bağlamında Çatalhöyük. Çatalhöyük Uluslararası Turizm Ve Sosyal Araştırmalar Dergisi. 2016; 1: 1-13.
- [7] Karaman, Ş. Konya Etnografya Müzesindeki Eserler Üzerinden Osmanlı Kahve Kültürü. Konya Sanat. 2024; 7: 143-180.
- [8] Işık, İ. Lykaonia Bölgesi Kuzeydoğu Kesimi Tarihi ve Yerleşim Yerleri. Selçuk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi. 2018; 40: 191-206.
- [9] Büyükaşlan, Ş. & Işık, İ. Savatra Ve Çevresinde Bulunan Sütun Başlıkları. Amisos. 2023; 8: 1-18.
- [10] Kekeç, N., & Işık, İ. Savatra Kilise Taban Mozağinde Uygulanan Önleyici Koruma Yöntemleri ve Koruma Önerileri. Cedrus. 2023; 11: 387-400.
- [11] <https://www.trthaber.com/fotogaleri/savatra-a-antik-kentinde-bulunan-sunak-tarihe-isik-tutuyor/59406/sayfa-9.html>.
- [12] Oğuz, C., Türker, F., & Koçkal, N. U. Andriake Limanında Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri. Teknik Dergi. 2015; 26: 6993-7013.
- [13] Andersen, H. D., Zimmermann, H. D., Friis, H. and Schnell, U. Examination of hydraulic lime mortars of medieval churches in Denmark. Historic Mortars: Characteristics and Tests, International RILEM Workshop. RILEM Publications SARL. 1999; 37-42.
- [14] Gleize, P. J. P., Motta, E. V., Silva, D. A., & Roman, H. R. Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil). Cement and Concrete Composites. 2009; 31: 342-346.
- [15] <https://www.britannica.com/science/monticellite>.
- [16] <https://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/monticellite.pdf>.
- [17] Saraya, M. E., & Thabet, M. S. Characterization and evaluation of natural zeolite as a pozzolanic material. Al-Azhar Bulletin of Science. 2018; 29: 17-34.
- [18] Jordán, M. M., Jordá, J., Pardo, F., & Montero, M. A. Mineralogical analysis of historical mortars by FTIR. Materials. 2018; 12: 55.
- [19] Alvarez, J. I., Navarro, I., & Casado, P. G. (2000). Thermal, mineralogical and chemical studies of the mortars used in the cathedral of Pamplona (Spain). Thermochimica Acta. 2000; 365: 177-187.
- [20] Koralay, T., Duman, B., Kadioğlu, Y. K., & Akyol, A. A. Tarihi Hare ve Sıva Örneklerinin Çoklu Analitik Yöntemler Kullanılarak İncelenmesi: Tripolis (Yenice/Denizli) Örneği. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 1. 2016.
- [21] Güzel, A., Meral, Ç., Atalay, Ü., Demir, Ş. Çatalhöyük'ten Alınan Çeşitli Sıva Örneklerinin X-Işını Kırınım Analizi ile İncelenmesi. 33. Arkeometri Sonuçları Toplantısı. 2017.
- [22] Velosa, A. L., Coroado, J., Veiga, M. D. R., & Rocha, F. Characterisation of roman mortars from Combriga with respect to their repair. Materials Characterization. 2007; 58: 1208-1216.
- [23] López-Arce, P., Tagnit-Hammou, M., Menendez, B., Mertz, J. D., Guivarc'h, M., Kaci, A., Aggoun, S., Cousture, A. Physico-chemical stone-mortar compatibility of commercial stone-repair mortars of historic buildings from Paris. Construction and Building Materials. 2016; 124: 424-441.
- [24] Arkan, T., Gökmeşe, H. Synthesis and Characterization of Industrial Casting Sand Based Silica Aerogel. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2021; 9: 1254-1258.
- [25] Arkan, T., & Gökmeşe, H. Atık Döküm Kum Geri Kazanımı İle Silika Aerojel Sentezi Ve Karakterizasyonu. Gazi Journal of Engineering Sciences. 2022; 8: 439-446.
- [26] Shoval, S. Using FT-IR spectroscopy for study of calcareous ancient ceramics. Optical materials. 2023; 24: 117-122.
- [27] Stuart, B.H. Analytical Techniques in Materials Conservation, İngiltere. ISBN 978-0-470 01280-2. 2007.
- [28] Anderson, E., Almond, M. J., & Matthews, W. Analysis of wall plasters and natural sediments from the Neolithic town of Çatalhöyük (Turkey) by a range of analytical techniques. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2014; 133: 326-334.

- [29] Al Sekhaneh, W., Shiyyab, A., Arinat, M., & Gharaibeh, N. Use of FTIR and thermogravimetric analysis of ancient mortar from The Church of the Cross in Gerasa (Jordan) for conservation purposes. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. 2020; 20: 159-159.
- [30] Carangi, M. C., Corti, C., Rampazzi, L., & Tedeschi, C. Characterization of ready-mixed plasters for the conservation of architectural heritage. In *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences. 2004; 403: 07006.
- [31] Barilaro, D., Barone, G., Crupi, V., & Majolino, D. (2005). Characterization of archaeological findings by FT-IR spectroscopy. *Spectroscopy*. 2005; 20: 16.
- [32] Uz, A. Tarihi yapıların koruma-onarımı için malzeme karakterizasyon yöntemlerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Fakültesi, Türkiye. 2021.
- [33] Arkan Demirörs, T. Silika İçerikli Aerojelin Sol-Jel Yöntemi ile Sentezlenmesi ve Mimari Yapı Malzemesinin Performansının Geliştirilmesi. Doktora Tezi, KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye. 2023.

ERKEN GÖRÜNTÜ