

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ASPENDOS'TA TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN HARÇLARIN VE
TUĞLALARIN ÖZELLİKLERİ**

Dila METİN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ASPENDOS'TA TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN HARÇLARIN VE
TUĞLALARIN ÖZELLİKLERİ**

Dila METİN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2020

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASPENDOS'TA TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN HARÇLARIN VE
TUĞLALARIN ÖZELLİKLERİ

Dila METİN
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21.02/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ
Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ
Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ

.....
.....
.....

ÖZET

ASPENDOS'TA TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN HARÇLARIN VE TUĞLALARIN ÖZELLİKLERİ

Dila METİN

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ

Şubat 2020; 136 sayfa

Bu tez çalışması, Antalya İli içerisinde yer alan Aspendos Antik Kentinde kullanılan harç ve tuğla gibi yapı malzemelerinin deneysel incelenmesini içermektedir. Çalışma kapsamında Aspendos'ta yer alan hamam, su kemeri ve çeşmeden çeşitli harç ve tuğla numuneleri alınmıştır. Alınan bu numuneler üzerinde fiziksel (birim ağırlık, kütlece su emme, hacimce su emme, özgül ağırlık, komposite, porozite), kimyasal (asit kaybı ve elek analizi, suda çözünen tuz analizleri, pH ve iletkenlik ölçümleri, protein ve yağ analizleri, puzolanik aktivite analizi), mekanik (basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, ultrases) deneyi, termal analizler (TGA/DTA), mineralojik (x-ray difraksiyon (XRD)), petrografik (optik mikroskop ve elektron tarama mikroskobu – enerji dağıtma spektrometresi (SEM/EDX)) ve renk analizleri uygulanmıştır. Bu deneylerden elde edilen veriler numunelerin fiziksel özellikleri, mukavemetleri, kalitesi, sınıflanması, mineralojik birleşenleri gibi özelliklerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu veriler sonraki çalışmalarda tarihi yapıların güçlendirilmesi açısından uygulanacak restorasyon ve rehabilitasyon konularına yol gösterici olabilecektir.

ANAHTAR KELİMELEER: Harç, Tuğla, Tarihi Yapı, SEM/EDX, TGA/DTA, XRD, Restorasyon

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ

ABSTRACT
FEATURES OF MORTARS AND BRICKS USED IN HISTORICAL
BUILDINGS IN ASPENDOS

Dila METİN

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cem OĞUZ

February 2020;136 pages

This thesis includes experimental investigation of building materials such as mortars and bricks used in the ancient city of Aspendos in Antalya. Various mortar and brick samples were taken from the Turkish bath, aqueduct and fountain in Aspendos. Physical (unit weight, water absorption by mass, water absorption by volume, specific gravity, complexity, porosity), chemical (acid loss and sieve analysis, water soluble salt analysis, pH and conductivity measurements, protein and oil analysis, pozzolanic activity) analysis), mechanical (compressive strength, point loading strength, bending tensile strength, ultrasound) test, thermal analysis (TGA / DTA), mineralogical (x-ray diffraction (XRD)), petrographic (optical microscope and electron scanning microscope - energy dissipation) spectrometer (SEM / EDX)) and color analysis. The data obtained from these experiments enable determination of properties such as physical properties, strength, quality, classification, mineralogical components of the samples. These data may guide the restoration and rehabilitation issues that will be applied to strengthen the historical structures in the future studies.

KEYWORDS: Mortar, Bricks, Historical Building, SEM/EDX, TGA/DTA, XRD, Restoration

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Cem OĞUZ

Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Asst. Prof. Dr. Altan YILMAZ

ÖNSÖZ

Tarihi yapılar ortak bir miras olma özelliği taşımaktadır. Tarihi mirasın öneminin günden güne arttığı bu dönemde sahip olduğumuz değerlere önem vermeli ve korumalıyız. Antalya’da bulunan Aspendos Antik Kenti de bu önemli ortak miraslardan biridir. Tarihi eserler, yaşam koşulları ve doğal etkenlerden zarar görmektedir, restorasyon çalışmalarında bilinçli olmak, yapıya zarar vermeden ve yapının özgünlüğünü gözeterek onarımlar yapmak önemlidir. Bu amaçla tarihi eserlerin restorasyonunda özgün malzeme kullanılması ve orijinal malzemelerin özelliklerinin bilinmesi de önemlidir. Bu çalışmada Aspendos’ta bulunan bazı tarihi yapılarda kullanılan harçlar ve tuğlalar incelenmiş ve bazı önemli karakteristik özellikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmadan çıkacak sonuçlar yapıların restorasyonu sırasında kullanılacak onarım malzemelerini belirlemede yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Yüksek lisans çalışmamda yol göstericim, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ’a, kazı alanındaki saha çalışmalarında yardımcı olan kazı başkanı Prof. Dr. Veli Köse’ye, çalışmalarım için gerekli izinleri sağlayan T.C. Antalya Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Antalya Müzesi Müdürlüğü’ne sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Bugünlere gelmemde en büyük destekçim olan başta babam Makine Mühendisi Oktay Metin olmak üzere sevgili aileme, çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen tüm arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	i
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın amacı	2
1.2. Çalışmanın önemi.....	3
1.3. Çalışmanın yöntemi.....	3
2. KAYNAK TARAMASI	5
2.1. Harçların ve tuğlanın tarihçesi	5
2.2. Tarihi yapılarda kullanılan harç ve tuğlalarla ilgili yapılan çalışmalar	11
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1 Materyal.....	16
3.1.1. Bölgenin ve incelenen yapıların tanıtımı	16
3.1.2. Numune alma çalışmaları	21
3.2. Metot	34
3.2.1. Makroskobik gözlemler	36
3.2.2. Fiziksel analizler	37
3.2.3. Kimyasal analizler	41
3.2.4. Mikro yapı analizleri.....	49
3.2.5. Mekanik analizler	51
3.2.6. Diğer analizler	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
4.1. Makrosopik Gözlemler.....	58
4.2. Fiziksel analizler.....	68
4.3. Kimyasal Analizler.....	71
4.3.1. Asit kaybı ve elek analizleri	71
4.3.2. Tuz analizleri	79

4.3.3. İletkenlik, pH, protein ve yağ analizleri:	80
4.4. Mikro Yapı Analizleri	81
4.4.1. SEM/EDX analizi	81
4.4.2. XRD analizi	84
4.4.3. Termal analizler	87
4.5. Mekanik Analizler	89
4.6. Diğer Analizler	93
4.6.1. Renk analizi	93
5. SONUÇLAR	94
6. KAYNAKLAR	97
7. EKLER	104
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Aspendos’ta Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Ve Tuğlaların Özellikleri ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21./02./2020

Dila METİN



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Δ	: Birim hacim kütle (Görünür yoğunluk)
δ	: Özgül kütle (Gerçek yoğunluk)
σ	: Basınç dayanımı (MPa)
A	: Kesit alanı (mm ²)
AgNO ₃	: Gümüş Nitrat
BaCl ₂	: Baryum Klorür
CaCl ₂	: Kalsiyum Klorür
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
Ca(NO ₃) ₂	: Kalsiyum Nitrat
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum Hidroksit
CuSO ₄	: Bakır Sülfat
G _k	: Kuru numune ağırlığı
G _{k1}	: Su dolu piknometre + kapak ağırlığı
G _{k2}	: Su dolu piknometre içerisinde numune + kapak ağırlığı
HCl	: Hidroklorik Asit
HNO ₃	: Nitrik Asit
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
k	: Komposite (Doluluk oranı,%)
NaCl	: Sodyum Klorür
NH ₃	: Amonyak
P	: Kırılma yükü (kN)
p	: Porozite (Boşluk oranı,%)

S_k	: K�t�lece su emme yüzdesi (%)
S_h	: Hacimce su emme yüzdesi (%)
V	: Hacim
W_{Silk}	: Değişmez k�t�leye kadar kurutulmuş numunenin ağırlığı
W_{Sd}	: Suyu doygun haldeki numunenin havadaki ağırlığı
W_{Si}	: Suyu doygun haldeki numunenin su içindeki ağırlığı
W_t	: Konsantrasyon (EDX analizi)

Kısaltmalar

b/a	: Bağlayıcı/agrega oranı
EDS	: Energy Dispersive Spektrometresi
EDX	: Enerji Dağılımımlı X-Işınları Spektroskopisi
ICCROM	: Kültürel Değerler Uluslararası Koruma ve Restorasyon Araştırmaları Merkezi
kN	: Kilonewton
MPa	: Megapaskal
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
TG/DTA	: Termogravimetrik/ Diferansiyel Termal Analiz
TS	: Türk Standartları
XRD	: X-Işını Kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1. Çeşme Binası	17
Şekil 3. 2. Su Kemerı	18
Şekil 3. 3. Küçük Hamam	19
Şekil 3. 4. Aspendos haritası (Köse 2009)	20
Şekil 3. 5. Çeşme yapısından alınan numunelerin yerleri	22
Şekil 3. 6. CH1 kodlu harç numunesi	23
Şekil 3. 7. CH2 kodlu harç numunesi	23
Şekil 3. 8. CH3 kodlu harç numunesi	23
Şekil 3. 9. CT1 kodlu tuğla numunesi	24
Şekil 3. 10. CT2 kodlu tuğla numunesi	24
Şekil 3. 11. CT3 kodlu tuğla numunesi	24
Şekil 3. 12. Su kemerı yapısından alınan numunelerin yerleri	25
Şekil 3. 13. SH1 kodlu harç numunesi	26
Şekil 3. 14. SH2 kodlu harç numunesi	26
Şekil 3. 15. SH3 kodlu harç numunesi	26
Şekil 3. 16. SH4 kodlu harç numunesi	27
Şekil 3. 17. ST1 kodlu tuğla numunesi	27
Şekil 3. 18. ST2 kodlu tuğla numunesi	27
Şekil 3. 19. ST3 kodlu tuğla numunesi	28
Şekil 3. 20. SH4 kodlu tuğla numunesi	28
Şekil 3. 21. Küçük hamamdan alınan numunelerin yerleri	29
Şekil 3. 22. HH1 kodlu harç numunesi	29
Şekil 3. 23. HH2 kodlu harç numunesi	30
Şekil 3. 24. HH3 kodlu harç numunesi	30
Şekil 3. 25. HH4 kodlu harç numunesi	30
Şekil 3. 26. HH5 kodlu harç numunesi	31
Şekil 3. 27. HH6 kodlu harç numunesi	31
Şekil 3. 28. HH7 kodlu harç numunesi	31
Şekil 3. 29. HH8 kodlu harç numunesi	32
Şekil 3. 30. HT1 kodlu tuğla numunesi	32
Şekil 3. 31. HT2 kodlu tuğla numunesi	32

Şekil 3. 32. HT3 kodlu tuğla numunesi	33
Şekil 3. 33. HT4 kodlu tuğla numunesi	33
Şekil 3. 34. HT5 kodlu tuğla numunesi	33
Şekil 3. 35. HT6 kodlu tuğla numunesi	34
Şekil 3. 36. HT7 kodlu tuğla numunesi	34
Şekil 3. 37. HT8 kodlu tuğla numunesi	34
Şekil 3. 38. Tarihi yapı malzemelerine uygulanan deneylerin akış şeması	35
Şekil 3. 39. Makroskobik çalışmalar	36
Şekil 3. 40. Fiziksel Analizler.....	38
Şekil 3. 41. Özgül Kütle Deneyi	40
Şekil 3. 42. Asit kaybı analizi	42
Şekil 3. 43. Elek Analizi	43
Şekil 3. 44. Stok Çözelti	44
Şekil 3. 45. Klorür analizi.....	44
Şekil 3. 46. Sülfat ve karbonat analizi	45
Şekil 3. 47. Nitrat analizi	46
Şekil 3. 48. pH analizi.....	46
Şekil 3. 49. Protein analizi	47
Şekil 3. 50. Yağ analizi.....	48
Şekil 3. 51. Puzolanik Aktivite ve İletkenlik Analizi	48
Şekil 3. 52. SEM/EDX analizi	50
Şekil 3. 53. XRD analizi	50
Şekil 3. 54. TG/DTA analizi.....	51
Şekil 3. 55. Nokta Yükleme Deneyi	53
Şekil 3. 56. Basınç Dayanımı Deneyi	54
Şekil 3. 57. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi	55
Şekil 3. 58. Ultrases Deneyi.....	56
Şekil 3. 59. Renk Analizi	57
Şekil 4. 1. HH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	72
Şekil 4. 2. HH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	72
Şekil 4. 3. HH3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	73
Şekil 4. 4. HH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	76

Şekil 4. 5. HH5 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	76
Şekil 4. 6. HH6 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	74
Şekil 4. 7. HH7 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	75
Şekil 4. 8. HH8 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	75
Şekil 4. 9. CH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	76
Şekil 4. 10. CH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	76
Şekil 4. 11. CH3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	77
Şekil 4. 12. SH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	77
Şekil 4. 13. SH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	78
Şekil 4. 14. SH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	78
Şekil 4. 15. CT1 tuğla SEM görüntüleri	82
Şekil 4. 16. CT1 tuğla EDX analizi sonuçları.....	82
Şekil 4. 17. HH4 harcı SEM görüntüleri.....	83
Şekil 4. 18. HH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları	83
Şekil 4. 19. ST4 tuğla XRD analizi sonuçları.....	85
Şekil 4. 20. CH3 harcı XRD analizi sonuçları.....	86
Şekil 4. 21. CH3 numunesi TG/DTA sonuçları.....	87
Şekil 4. 22. HH1 numunesi TG/DTA sonuçları.....	87
Şekil 4. 23. SH4 numunesi TG/DTA sonuçları	88
Şekil 4. 24. CT1 tuğla numune ultrases grafiği	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Numune bilgileri	21
Çizelge 4. 1. Tuğla ve harç numunelerinin makroskobik incelenmesi	58
Çizelge 4. 2. Harç numunelerinin fiziksel analiz sonuçları	68
Çizelge 4. 3. Tuğla numunelerinin fiziksel analiz sonuçları.....	69
Çizelge 4. 4. Harç numunelerde asit kaybı analizi sonuçları	71
Çizelge 4. 5. Harç numunelerinin tuz analizleri sonuçları.....	79
Çizelge 4. 6. Harç numunelerin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri sonuçları.....	80
Çizelge 4. 7. Tuğla numunelerinin iletkenlik, pH analiz sonuçları	81
Çizelge 4. 8. CT1 tuğla EDX analizi sonuçları.....	82
Çizelge 4. 9. HH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları	80
Çizelge 4. 10. Numunelerin TGA/DTA analiz sonuçları	88
Çizelge 4. 11. Harç numuneleri üzerinde yapılan nokta yükleme deneyi sonuçları.....	89
Çizelge 4. 12. Tuğla numunelerinde eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları	90
Çizelge 4. 13. Tuğla numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçlar.	92
Çizelge 4. 14. Numuneler üzerinde yapılan renk analizi sonuçları.....	94

1. GİRİŞ

Parçalı gereçlerle yapı oluşturma serüvenimiz mağara düzeninden, yerleşik topluluklar düzenine geçmemiz ile başlamaktadır. Doğada bulunan taş, ahşap, saz, kamış gibi malzemelerle oluşturulmuş yapılar, bu malzemelerin bulunmadığı ya da az bulunduğu bölgelerde insanları arayış içine sürüklemiştir. Çevresinde fazlaca bulunan toprağı yapıda kullanabilmek için onu biçimlendirip dayanıklı hale getirerek kerpici bulmuşlardır. Kerpici uzun ömürlü olmaması, dış etkenlerden çabuk bozulması; killi toprağın pişirilmesi ile giderilmiştir ve ilk tuğla gereci, insanlıkla buluşmuştur. Tuğlalar geleneksel ve amprik yöntemlerle şekillendirilip daha sonra basit fırınlarda pişirilerek üretilmişlerdir. Tuğla, dünya tarihi üzerinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesi olmuştur (Kurugöl, Tekin 2010).

Dünyada 20.yüzyılın başlarından itibaren 1931 yılında Carta Del Restauro, 1964 yılında Venedik Tüzüğü gibi yasal sorumluluklar getirilmiş, 1965 yılında kültür varlıklarına ilişkin araştırma, dökümantasyon ve teknik yardımla ilgili olarak ICOMOS Vakfı (International Council on Monuments and Sites) kurulmuştur. UNESCO tarafından 1972 yılında düzenlenen konferansta “Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme” imzalanmıştır. Venedik Tüzüğünde, tarihi yapıların onarımı ile ilgili olarak belirlenen temellerden bazıları şunlardır: Onarım uzmanlık gerektiren bir iştir ve amacı anıtın estetik ve tarihi değerini ortaya çıkarmak ve korumaktır. Onarımda, özgün malzeme kullanılmalı, güvenilir belgelere saygı duyulmalı ve bu belgelere bağlı kalınmalıdır. Koruma, onarım ve güçlendirme işlemlerinde, geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı durumlarda bilimsel deneylerle saptanmış çağdaş yöntemlerden yararlanılabilir. Eksik kısımlar tamamlanırken yenilenen kısım bütünle bağdaşmalı ancak onarım yapılan bölge, sanatsal ve tarihi tanıklığı yanıltmamak amacı ile özünden ayırt edilebilir nitelikte olmalıdır (Aköz ve Yüzer 2005).

17 Ekim-21 Kasım 1972 tarihleri aralığında Paris’te Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü’nce düzenlenen Genel Konferans toplanmış “Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme” imzalanmıştır. Bu sözleşme ile Kültürel varlıkların önemi ve giderek bozuldukları belirtilmiş ve koruma için işbirliği yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu sözleşmenin sonucu olarak “Dünya Mirası Komitesi” adı ile hükümetler arası bir komite toplanmıştır. Sözleşme gereği her devlet tarafından kültür varlıklarının bir listesi oluşturulacak ve “Dünya Kültür Mirası Listesi” adı altında yayınlanacaktır (Akıncı 2000).

Avrupa Konseyi’nin Mimari Miras konusunda almış olduğu kararlara göre: Devlet Kültürel mirasın bozulması ve yıkılmasını engellemeli, kültürel mirasın korunması için gereken projeler yetkili makamlarca gerçekleştirilmeli, ulusal, bölgesel ve yerel yetkililer, bakım ve onarım çalışmalarına mali destek bulabilmeli, geleneksel tekniklerin mimari mirasın onarımında uygulanması ve bu anlayışın geliştirilmesi sağlanmalı, karar aşamasında yerel yönetim, ilgili dernekler, halk vb. birliklerden bilgi alışverişi sağlanmalı, sözleşmeyi kabul eden devletler bu alandaki

çalışmalarda, uzmanlar aracılığıyla gerektiği takdirde teknik yardımlaşma sağlanabilmelidir (Akıncı 2000).

Türkiye tarafından kabul edilen uluslararası anlaşmalar gereği 27 Temmuz 2004 tarihli resmi gazetede yayınlanan, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” ile aşağıda birkaçı verilen konular ele alınmıştır: Koruma Yüksek Kurulu ve Koruma Bölge Kurullarınca alınan kararlara aykırı olarak, korunması gerekli taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarında insani ve fiziki herhangi bir müdahalede bulunulamaz. Büyükşehir belediyeleri tarafından kültür varlıkları ile ilgili işlemleri ve uygulamaları yürütmek üzere, valilik ve Bakanlıkça izin verilen belediyeler bünyesinde sanat tarihi, mimarlık, şehir planlaması, mühendislik, arkeoloji gibi meslek alanlarından uzmanların görev alacağı koruma, uygulama ve denetim büroları kurulur. Konu ile ilgili eğitim birimleri kurularak sertifikalı yapı ustaları yetiştirilir. Emlak vergisinin %10’u nispetinde “Taşınmaz Varlıklarının Korunmasına Katkı Payı” tahakkuk ettirilir ve ilgili belediye tarafından emlak vergisi ile birlikte tahsil edilir, bu pay valinin denetiminde kullanılır. Toplu Konut Kanunu uyarınca verilecek kredilerin en az %10’u tescilli taşınmaz kültür varlıklarının bakımı, onarımı ve restorasyonu işlemlerine ilişkin başvuruda kullanılır. Taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ile ilgili tadilat ve tamiratlar, özgün biçim ve malzemeye uygun olarak yapılır (Aköz ve Yüzer 2005).

1.1. Çalışmanın Amacı

Tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin incelenmesi, bize geçmiş, günümüz ve gelecek arasında köprü kurarak, tarihi yapıların günümüze kadar ayakta kalmasının nedenlerini ortaya çıkarmada önemli ölçüde bilgi sağlayabilecektir. Tarihi yapılarda, bir ya da birden fazla nedenle meydana gelen hasarların onarımı ve yapının sağlamlaştırılması sırasında öncelikle yapının hasara uğramasına neden olan faktörler ortadan kaldırılmalı, daha sonra yapıdaki hasar türüne göre onarım için uygun yöntem belirlenip uygulaması yapılmalıdır. Yapıların estetik ve tarihi değerlerini korumaya yönelik çalışmalar, yapının sistemine ve yapıya özgü malzemelere minimum müdahale edilerek gerçekleştirilmelidir. Yapıların restorasyonunda tarihi dokularına uygun teknikler kullanılırken, söz konusu yapıların kültürel ve sanatsal değerinin korunması önemli bir husustur. Bu sebeple yapının güvenliği ve ihtiyaç analizi de dikkate alınmalıdır. Tarihi yapıların korumasındaki asıl amaç, yapısal bütünlüklerini koruyup geleceğe güvenle aktarılmasını sağlanmasıdır. Bu işlem yapılırken yapı belge niteliği taşıyan özelliklerini kaybetmemelidir.

Restorasyon ve rehabilitasyon konularını daha da geliştirebilmek için ilk olarak yapı malzemelerin (taş, tuğla ve harç) tarihsel gelişim sürecinin bilinmesi ve sonra da bu yapı malzemelerin karakteristik özelliklerin (numunelerin dayanımı, sınıflanması, morfolojisi, mineralojik bileşenleri, fiziksel özellikleri ve mukavemet özellikleri) ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu karakteristik özelliklerin bilinmesi tarihi yapıların restorasyonunda kullanılacak yapı malzemelerinin (taş, tuğla, harç), eskisiyle özdeş olabilmesine imkân sağlayabilecektir (Gülmez 2005).

Bu çalışma; Antalya ili, Serik ilçesinde bulunan Aspendos Antik Kenti'nde yer alan tarihi tuğla ve harçlardan farklı numuneler alınarak bu numunelerin karakteristik özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Belirlenen bu malzeme özelliklerinin, restorasyon çalışmalarında özgünlüğünün göz önünde bulundurulması ve yine onarım çalışmaları sırasında günümüz teknolojisiyle, bölgesel hammadde kaynaklarından yararlanılarak üretilecek yeni tuğla ve harç karışımlarının yapımına yön vermesi hedeflenmiştir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Tarihi yapılar, kültürel mirasımızın önemli bir parçasını oluşturmaktadırlar. Bunlar yalnızca birer mimari eser değil aynı zamanda o dönemin kültürel özelliklerini sonraki dönemlere aktaran özgün belgelerdir. Bundan dolayı bu yapıların korunması konusunda sadece tasarımı dikkate almak eksik bir yaklaşımdır. Bunun yerine tarihi yapılar sahip oldukları tüm özgün değerleri ile birlikte korunmalı ve bu şekilde gelecek nesillere aktarılmalıdır. Tarihi yapı malzemeleri de bu özgün değerlerin bir parçasıdır ve bunlar ait oldukları dönemin yapı teknolojisini ve geleneklerini yansıtan birer belge olarak kabul edilmelidir (Sağın - Uğurlu ve Böke 2010).

Bu tez çalışması tarihi yapı malzemelerinin özgün karakteristik özelliklerinin araştırılmasına yönelik yapılmıştır. Çalışma kapsamında Antalya İli Serik İlçesi Belkis mahallesinde yer alan Aspendos Antik Kentinde bulunan bazı tarihi yapılardan harç ve tuğla örnekleri alınmış ve karakteristik özellikleri deneysel metotlarla belirtilmek istenmiştir. Bulunan sonuçlarla bu yapıların korunma, onarım ve güçlendirme çalışmalarına yol gösterecek nitelikte olması, gelecek kuşaklara da bu yapıya dair malzeme bilgisi ile birlikte aynı zamanda yapının inşa edildiği dönemdeki sosyo-kültürel yaklaşımları hakkında bilgi sahibi olunabilmesi amaçlanmıştır.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Bu tez çalışmasında; çalışmanın amacı, önemi ve yöntemi ilk bölümde açıklanmıştır. İkinci bölümde tarihi yapılarda kullanılmış yapı malzemeleri hakkında bilgiler verilmiş, bu malzemelerle ilgili daha önceki dönemlerde yapılan akademik çalışmalar aktarılmıştır. Üçüncü bölümde malzeme örneklerinin alındığı yapılar hakkında bilgiler verilmiş, kullanılan analiz metotları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aktarılmış, beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlarla ilgili genel değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma sırasında ilk olarak Aspendos Antik Kenti'nde bulunan üç farklı tarihi yapıdan (Çeşme, Küçük Hamam, Su Kemer) 15 adet tuğla 15 adet harç olmak üzere toplam 30 adet numune örneği alınmıştır. Örnekler alınırken, alınan bu örneklerin yapıyı tam olarak temsil edebilecek ve yapının değişik dönemleri hakkında bilgi verebilecek şekilde olmasına özen gösterilmiştir. Örnekler alındıktan sonra laboratuvar ortamına getirilmiş, ilk olarak örnekler hakkında genel bir kanı edinmek amacıyla yüzeyleri parlatılarak stereo mikroskop ile incelenmiştir. Daha sonra sırasıyla örnekler

üzerinde mekanik analizler (nokta yükleme deneyi, eğilmede çekme dayanımı deneyi, basınç dayanımı deneyi, ultrases deneyi), fiziksel analizler (birim hacim kütle, kütlece su emme, hacimce su emme, özgül kütle, kompasite, porozite), kimyasal analizler (asit kaybı ve elek analizi, tuz analizleri, pH, protein, yağ, puzolanik aktivite ve iletkenlik analizleri) ve mikro yapı analizleri (XRD, SEM/EDX, TG/DTA) ve renk analizi uygulanmıştır.



2. KAYNAK TARAMASI

Bu bölümde; harçların ve tuğlaların geçmişten günümüze nerelerde, ne amaçlarla kullanıldığı, harçları oluşturan malzemeler ve geçmişten günümüze kadar tarihi yapı harçları ve tuğlaları ile ilgili yapılmış çalışmalar aktarılmıştır.

2.1. Harçların ve Tuğlaların Tarihçesi

Toprağın saman ve suyla karıştırılıp, kalıplara dökülüp, önce gölgede sonra güneşte kurutulmasıyla elde edilen kerpiç, en eski yapı malzemesidir. Kerpiç yapımında ilk olarak kil yoğurulup elde hazırlanmaktadır. Daha sonra kalıplarda biçimlendirilerek güneşte kurumaya bırakılmaktadır. Bu aşamalarda kerpiçler güneş etkisinde kuruduğu için olumsuz hava koşullarında daha kolay bozulmaktadır. Seramik pişirme yöntemlerini bilen insanlar, kerpici de bu nedenle pişirmiş olmalıdır ki bu da üçüncü bir aşamayı, tuğla üretimini temsil etmektedir. Tuğla kolay üretimi ve düşük maliyeti sebebiyle yüzyıllardır yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Akyol, Yıldırım, Erten ve Kadioğlu, 2013).

Tuğlanın kullanımında bölgesel şartlar da önemlidir. Buna göre Anadolu, Kafkaslar, Girit ve Kıbrıs'ta taş kaynaklarının yoğunluğu nedeniyle taş ile yapılmış yapılar dikkati çekerken; İran, Orta Asya, Mezopotamya ve Mısır'da ise taşın sınırlı olması nedeniyle onun yerini tuğla malzemesi almıştır. Bu bölgelerde taş ancak tuğla örgüsünü sağlamlaştırmada kullanılmıştır. Kerpici pişirilmesi ile tuğla elde edilmiş ve tarihte günümüzden yaklaşık 5000 yıl öncesinde Erhanedanlar Dönemi'nde büyük tapınak, saray yapıları yapılırken tuğla kullanılmıştır. Tuğla ile yapılmış en önemli yapı M.Ö. 2112-2095 kral Ur-Nammu'ya ait zigurattır (Bakırer 1981).

İmalatı yapılan ilk malzeme olan tuğla, kil ile suyun karıştırılıp sonrasında ateşle ile birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Eski zamanlarda binalar önce üretim tesisi olmuş daha sonra üretilen tuğlalar bu tesislerin yapımında kullanılmıştır. Yani ilk tesis, tuğladan yapılan ilk evdir diyebilmekteyiz. Mezopotamya'da tuğla ve tuğla üretimi gelişmiştir. Tuğla tüm yerleşim bölgelerinin vazgeçilmez yapı malzemesi olma özelliğini korumuştur. Anadolu'da ise ilk pişmiş tuğlanın endüstriyel anlamda üretim ve kullanımı M.Ö. 4. yüzyılda Lidyalılar tarafından başlatılmıştır. Anadolu'da tuğlanın kullanımı Roma'dan Bizans'a, ondan da Türk Mimarlığı'na geçmiştir. Osmanlılarda da tuğlaları Bizanslılar gibi yassı ve büyük kullanılmıştır (Kurugöl ve Tekin 2010).

Kil (kaolin, illit, vs), kuvars, feldspat az miktarda demir ve magnezyum tuğlaların hammaddesini oluşturmaktadır. Su ile yoğrulan tuğla hammaddeleri 600–900°C ısıtıldığında içerisindeki kil mineralleri yapısal olarak bozulmakta ve amorf alümine silikatlar oluşmaktadır. Kil mineralleri farklı puzolanik sıcaklık özelliğine sahiptirler. Tuğlalar 700–900°C arasında pişirildiği ve yeterli miktarda kil minerali içerdiği takdirde puzolanik özellik kazanır. Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılacak olan, yeni tekniklerle üretilen tuğlaların puzolanik

özelliğe sahip olduğu mutlaka kontrol edilmelidir. Çünkü puzolanik olmayan tuğlalar yapılarda dayanıklılık sağlamaz (Bayraktar 2006).

Duvarın dayanımını belirleyen faktörler tuğla malzemesinin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzenidir. Tuğlaların basınç dayanımı, malzeme özelliklerine bağlı olarak 10-30 MPa aralığında değişmektedir (Ünay 2002).

Harç, bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun orantılı bir şekilde karıştırılması ile elde edilir ve katılaşma özelliğine sahip bir yapı malzemesidir (Akman 1990). Harçlar, duvar malzemeleri arasındaki boşlukları kapatmak, taş veya tuğlaya kuvvet uygulandığında sertleşme ve kayma direnci sağlayarak duvara bütünlük sağlarlar. Harçlar bağlayıcı malzeme çeşidine göre ve kullanım yerlerine göre sınıflandırılırlar. Bağlayıcı malzeme sınıfında; çimento, melez, kireç, alçı, kil harcı olarak, kullanım yeri sınıfında ise şap-şerbet, duvar örgü, sıva harçları olarak adlandırılırlar. (Oğuz 2013).

Tarihi yapılarda harç ve sıvaların dayanımlarını artırmak için bağlayıcı ve agreganın dışında puzolanik özellikte katkı maddelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Roma ve bazı Akdeniz ülkelerinde kireçle birlikte kullanılan puzolanik katkı maddeleri kolay bulunamadığı ve ekonomik olmadığı gerekçesiyle, birçok ülkede doğal puzolan yerine yapay puzolanlar kullanılmıştır (Akbulut-Ekşi 2006).

Doğal puzolanlarla hazırlanan harçlara puzolanik harçlar denirken, yapay puzolanik malzeme olarak tuğla ve seramik kırığı kullanılan harçlara Roma ve Bizans dönemlerinde “Roman” harcı, Selçuklu ve Osmanlı döneminde “Horasan” harcı denilmektedir. Bunun sebebi harçların renk ve doku olarak horasan toprağına benzemesidir (Oğuz 2013).

Osmanlı ve Selçuklu döneminde Horasan olarak isimlendirilen harçlara dayanımı arttırmak için lifli katkılar ve organik katkılar olarak adlandırılan katkı maddeleri ekleniyordu. Bitki lifleri, saman, hayvan kılı, keten gibi malzemeler lifli katkı malzemesi olarak sıvalara eklenerek kullanılıyordu. Albümin, pirinç, keratin, yumurta sarısı, yumurta akı, peynir, balmumu, şeker, kemik tutkalı, kesilmiş süt, incir sütü, kazein gibi maddeler organik katkı maddeleri olarak kullanılıyordu. Harcın sertleşmesini sağlamak için incir sütü, domuz yağı, kesilmiş süt kullanılırken sertleşmeyi geciktirmek için kan ve yumurta akı kullanılıyordu. Harçlara donma-çözünme sırasında meydana gelen bozulmaları önlemek için şeker, yalıtımı sağlamak için ise beziryağı ve kazein ekleniyordu. Ancak bunların zaman içerisinde harçların mikrobiyolojilerini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir (Böke vd. 2004).

Belirlenen oranda kırılmış taş, kum gibi dolgu malzemelerine bağlayıcı malzeme eklenerek karıştırılması ve içine karışımın işlenebilmesini sağlayan suyun eklenmesi ve tekrar karıştırılması ile oluşan, içerisinde yapay ve doğal katkı maddeleri de bulundurabilen, sertleşme özelliğine sahip malzemeye “harç” denir (Ashurst 1984, Güleç 1992, Borrelli 1999, Eriç 2002).

Tarihi yapılarda kullanılan harçlar yapının inşa edildiği bölgeye, döneme, dönemin teknolojisine, yapının kullanım amacına ve benzer birçok etkiye göre farklılık gösterebilmektedir. Bu harçlar genellikle agrega, kireç, su, puzolan ve çeşitli katkı maddelerinin birbiriyle belli oranlarda karıştırılması sonucu elde edilmişlerdir.

Kireç

Kirecin hammaddesi, kalsiyum karbonat(CaCO_3) minerallerinden oluşan kireç taşlarıdır. Bu taşlar 100 % CO_2 ortamında ve 760 mm civa basıncında 900 °C ısı ile reaksiyonu sonucu karbondioksit gazını (CO_2) dışarı atarak sönmemiş kireç olarak adlandırılan kalsiyum oksite (CaO) dönüşürler (Boynton 1980). Reaksiyon ortamından CO_2 miktarı azaldıkça kalsinasyon sıcaklığı da düşmektedir. Elde edilen sönmemiş kireç (CaO), suda ya da havada bulunan nem ile etkileşerek sönmüş kireç olarak adlandırılan kalsiyum hidroksite dönüşmektedir (Ca(OH)_2). Havada % 15 oranında nisbi nemin bulunması kirecin sönmesi için yeterli olmaktadır (Boynton 1980, Oates, 1998).

Kirecin kalitesini etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Kireç taşlarının gözeneklilik dağılımı, gözenekliliği, yumru büyüklüğü ve kalsiyum karbonat kristallerinin büyüklüğü sönmemiş kirecin reaktifliğine etki eden en temel etkenlerdir (McClellan ve Eades, 1970). Aynı zamanda Su/kireç oranları, parçacık büyüklüğü, sönmemiş kirecin saflığı, söndürmede kullanılan suyun saflığı, sıcaklık, karıştırma da kirecin özelliklerini etkileyen etkenlerdir. Roma dönemi ve daha sonraki dönemlerde söndürülmüş kireç uzun yıllar boyu hava ile temassız bırakıldıktan sonra kullanılmıştır.

Kirecin minimum üç yıl bekletilip daha sonra kullanıma hazır olduğu Roma döneminde öne sürülmüştür (Peter 1850). Kireç ne kadar bekletilirse plastikliği ve su barındırma özelliği artmaktadır (Cowper 1998). Bu süreçte, kireç kristallerinin ebatları küçülmekte ve havadaki karbondioksit ile reaksiyona girecek yüzey alanı genişleyerek karbonatlaşma hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Rodriquez vd. 1998).

Agrega

İnce veya iri, küresel, plak, iğne, kübik olmak üzere değişik şekilli ve çeşitli nedenlerle ufalanmış, taneli taş yığınının agrega denir (Saraylı 1987). Agregalar oluşumlarına göre doğal, yapay ve özel agrega olarak ve elde edildiği kayaç cinsine göre de adlandırılmaktadır. Genellikle taşların ufalanması ile agrega oluştuğuna göre bünyedeki mineraller bakımından ana kayaçla aynı özelliklere sahiptir ve silisli, kalkerli, feldspatlı gibi adlandırılır. Agregaları ağırlıklarına veya elde edildiği yere göre de sınıflandırılabilir fakat gerçek anlamda tane çaplarına göre ayırt edilmektedir.

Zamanla eski buzulların veya akarsuların sürükleyerek biriktirdikleri ya da denizler tarafından oluşturulan doğal taslar doğal agregalar olarak isimlendirilirler. İnsanlar tarafından yapılan agregalar ise yapay agregalar olarak adlandırılırlar. Kum, çakıl gibi direk doğadan elde edilen agregalar doğal agregalar olarak adlandırılır. Kırma taş, yüksek fırın cürufaları, pişmiş küller gibi agregalar ise yapay agregalardır (Kozlu 2010).

Agregalar, kireç ile reaksiyona girmeyen ve reaksiyona giren agregalar olarak iki sınıfa ayrılabilir. Reaksiyona girmeyen agregalara etkisiz, girenlere ise puzolan agrega denilmektedir. Etkisiz agregalar; deniz, taş ocağı, derelerden elde edilmektedir. Puzolanik agregalar kireç ile reaksiyona girerek harç ve sıvaların nemli ortamlarda hatta su altında da sertleşmesini sağlayan amorf silikatlar ve alüminatlardan oluşmaktadır. Puzolanlar doğal ve yapay olarak iki grupta incelenebilir. Doğal puzolanlar (tüf, tras, opal vb.) genelde volkanik küllerden oluşmaktadır. Yapay puzolan olarak birçok tarihi yapının harç ve sıvalarında tuğla, kiremit vb. pişirilmiş malzemeler kullanılmıştır (Lea 1940).

Tuğla, harç yapımında kullanılan yapay agrega olması sebebiyle tarihi yapı harçları için (horasan harçları) önemli bir yer tutar. Tuğlanın ana malzemesi kil olduğu ve kolay üretilebildiği için eski dönemlerden beri harç üretiminde agrega olarak kullanılmaktadır. Tuğla kırıklarıyla hazırlanmış kireç harçları Roma İmparatorluğunun geç zamanlarında ve özellikle Bizans döneminde oldukça popüler olmuş ve taşıyıcı duvarlarda kullanılmıştır. Burada harç bileşeni olarak bazen harca pembe rengini veren tuğla tozu bazen de sadece tuğla kırığı kullanılmıştır (Kahraman 2008).

Tuğlaların harçta kullanılmasının yapısal faydalarının yanında harca verdiği renkle de yapıda kullanılan malzemelere uyumlu oluşu estetik açıdan da önem taşır (Akman vd 1986). Ayrıca tuğla agregalarının yoğunlukları diğer agregalara kıyasla daha düşüktür. Bu da üretilen harçların hafif ve yüksek çekme dayanımına sahip olmasını sağlar (Böke vd. 2004).

Puzolanlar

Puzolan malzemeler ince öğütülmüş alümin ve silis içeren maddelerdir. Yalnız başına bağlayıcılık özellikleri olmamasına karşın çimento ya da kireç ile karıştırıldığında su ile girdiği reaksiyonda, suda çözünmeyen, kararlı, bağlayıcı malzeme özelliği kazanır, suda erimeyen bir kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler. Ancak SiO₂ içeren her toprak puzolan değildir, aktif silika özelliğinin bulunması gerekir. Bir puzolanın kimyasal analiz sonuçlarının olumlu olması, o maddenin puzolan olduğunu göstermek için yeterli değildir, ayrıca kimyasal veya mekanik deneyler yapılarak maddenin puzolanik özelliğinin araştırılması gerekir (Postacıoğlu 1986).

Puzolan, silikat ve alümina bakımından zengin bir maddedir, kireçle karıştırıldığında silikat ve alüminalar etkileşime girer ve kumlu harçtan 8-10 kat daha güçlü harç elde

edilir. Puzolan ve kireçle oluşturulan harç, su altında sertleşir. Puzolanın aktifliği ne kadar ince elendiği ile orantılıdır (Koçu 1997).

% 40 ile % 90 arası aktif silis içeren puzolanlar iyi bir puzolan olarak belirlenir (Massazza 1989). Puzolan ana bileşen olarak reaktif SiO_2 (silisyumdioksit), Al_2O_3 (alüminyum oksit), FeO_3 (demir oksit), MgO (magnezyum oksit) ve diğer oksitlerden oluşur (Velosa ve Veiga 2002).

Kökenlerine göre puzolanlar doğal ve yapay puzolanlar olarak ikiye ayrılırlar;

Doğal puzolanlar

1. Piroklastik malzemeler
 - a. Gevşek kayalar (ör. Santorin toprağı)
 - b. Sıkı kayalar (ör. Alman Ren trası)
 - * Killi madde
 - *Aktif olmayan zeodolitli maddeler
2. Karışık orijinli malzemeler (beyaz İtalyan toprakları)
3. Kırıntılı malzemeler
 - a. Organik kökenli maddeler (silisli topraklar)
 - b. Basit tortul maddeler (killi-aktif maddeler, doğal ortamda pişmiş killeri)

Yapay puzolanlar

1. Pişmiş şistler
2. Pişmiş killeri
3. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu
4. Silis dumanı
5. Piriç kabuğı külü (Massazza 1989).

Yapay puzolan olarak bilinen maddelerin en önemlilerinden biri pişmiş kildir. Kil pişirildiğinde bünyesindeki suyun buharlaşmasından sonra ısının etkisiyle kimyasal bir olay meydana gelir ve sertleşir. Saf killeri $600-700^\circ\text{C}$ 'de, marnlı killeri ise 800°C 'de pişirilip, öğütülerek puzolan olarak kullanılabilirler (Postacıoğlu 1986).

Yüksek fırın cürufu, demir çelik endüstrisinin önemli bir atığıdır. Atığın yapı sektöründe değerlendirilmesinin enerji tasarrufuna ve çevre sorunlarının çözümüne katkısı olduğu açıktır. Çelik üretiminin hammaddesi olan demir filizi, kok kömürü ve kalker taşı üretimin ilk aşamasında yüksek fırınlarda yüksek sıcaklıklarda eritilir. Fırın altından akan malzeme pik demiri ve onun üzerinde yüzen cüruftur. Pikten kolayca ayrılan cüruf, ani soğutulduğunda iri taneli, hafif ve amorf bir malzemeye dönüşür. Bu taneli malzemeye “yüksek fırın cürufu” veya “letiyi” denir (Postacıoğlu 1986).

Silis Dumanı; silisyum ve silis dumanı, küçük boyutlu olması nedeniyle hamur içindeki boşlukları doldurarak dayanımı artırır, geçirimsizliği azaltır (Aköz vd. 1996). Uçucu kül; termik santrallerde maden kömürün yanması sonucunda geriye kalan toz

halindeki kül olup, çimento inceliğindedir ve puzolanik özelliğe sahiptir. Amerika ve Fransa’da birçok baraj inşaatında çimentoya %15-30 oranında katılarak, bağlayıcıdan büyük miktarda tasarruf sağlanmıştır. Uçucu küllerin en önemli özelliği çimento inceliğinde olmasıdır. Küre şekilde olan tanelerin boyutları 0.5-200 µ arasında değişen uçucu külün hiçbir öğütme işlemi yapılmadan kullanılmaktadır (Yeğinobalı 2004).

Ünlü bir mimar olan Romalı Marcus Vitruvius Pollio’nun MÖ 30 - MÖ 20 yılları arasında yazdığı *De Architectura Libri Decem* (Mimarlık Üzerine On Kitap) adlı eserlerinde puzolanik malzemelerin bağlayıcılık özelliğinin Romalılar tarafından farkedildiğini ve bu şekildeki malzemelerin pozzolana (puzolan) olarak adlandırıldığını aktarmaktadır. Vitruvius, Romalılar’ın pişirilmiş kil, öğütülmüş tuğla veya kiremidin puzolanik özellik gösterdiğinin farkında olduklarını yazmıştır. Ayrıca kitaplarda harçlarda kullanılan Napoli yakınlarında bulunan Pozzuoli’den elde edilen bir tozun (alümina, silika, magnezyum ve demir oksitler içeren volkanik küller) kireç ve moloz ile karıştırılmasının yapıların dayanıklılığını arttırdığından ve hatta bu karışımın deniz altında dahi sertleşebilme özelliği bulunduğu bahsedilmektedir. Puzolan isminin kökeni buradan gelmektedir. (Pekmezci 2012).

Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri, harcın taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini beklentilere uygun olarak iyileştirmek amacıyla harç karışımına eklenen maddelerdir. Antik çağlardan beri kullanılan kireç harçlarının genellikle yeterli kaliteye ulaşamaması, harcın özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla insanları farklı katkı maddeleri arayışına itmiştir. Bu amaçla antik Mısır’da harçlarda yumurta beyazı, öküz kanı, meyve suyu, keratin ve kazeinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Sonraki zamanlarda kireç harcının özelliklerini iyileştirmek amacıyla katkı malzemelerinin kullanımı artmıştır. Bu malzemeler çevreye bağlı olarak kolay elde edilebilecek şekildeki yerel tarım ürünleri (bakliyat, meyve ve sebzeler), yağlar, yumurta, süt, kan, gübre, hayvan kılı gibi malzemelerdir (Tekin ve Kurugöl 2012).

Lifli katkılar ve organik katkılar olarak katkı maddeleri ikiye ayrılır. Bitki lifleri, saman, hayvan kılı, keten gibi malzemeler lifli katkı malzemesi olarak sıvalara eklenerek kullanılıyordu. Lifli katkılar Bizans döneminde kullanılmamıştır. Albümin, pirinç, keratin, yumurta sarısı, yumurta akı, peynir, balmumu, şeker, kemik tutkalı, kesilmiş süt, incir sütü, kazein gibi maddeler organik katkı maddeleri olarak kullanılıyordu. Harcın sertleşmesini sağlamak için incir sütü, domuz yağı, kesilmiş süt kullanılırken sertleşmeyi geciktirmek için kan ve yumurta akı kullanılıyordu. Harçlara donma-çözünme sırasında meydana gelen bozulmaları önlemek için şeker, yalıtımı sağlamak için ise beziryağı ve kazein ekleniyordu (Güleç 1992, Böke vd. 2004).

2.2. Tarihi yapılarda kullanılan harç ve tuğlalarla ilgili yapılan çalışmalar

Bu bölümde tarihi yapılarda kullanılan harçların ve tuğlaların özgün niteliklerini belirlemek için yapılan karakterizasyon çalışmaları, onarım harçlarının özgün malzeme özelliklerine benzer olabilmesi için geçmişten günümüze yapılan çalışmalar aktarılmıştır.

Ciach vd. (1984) harç ve sıva içeriklerinin belirlenmesi için yapılan araştırmalarda asitle muamele ile birlikte polarizan- stereo mikroskop ve SEM yöntemi ile mikro yapılarının belirlenmesini önermişlerdir.

Ersen vd. (1995) tarafından Hoca Ahmet Yesevi Külliyesi'nde kullanılan harçlar üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında harçların karakterizasyonları yapılarak restorasyon sırasında kullanılacak duvar örgü harcı, sıva harcı ve enjeksiyon serbetlerine yönelik öneriler getirilmiştir.

Güleç ve Tulun (1997), Anadolu'da Roma, Bizans ve Osmanlı dönemlerinden aldıkları harç ve sıva numuneleri üzerinde görsel analiz, porozite, ince kesit ve XRD analizleri uygulamışlardır. XRD analiz sonucunda, numunelerde kalsit ve kuvars çoğunlukla bulunduğunu ve plajioklaz ve feldspat minerallerinin ise az miktarlarda var olduğunu gözlemlemişlerdir. Üzerinde araştırma yaptıkları Roma hamamının, kırılmış tuğla kireç harcıyla yapıldığını belirtmişlerdir. Harç numunelerinin içerisinde bulunan agregaların, çoğunlukla karbonat ve silikat kökenli minerallerden oluştuğunu da ifade etmişlerdir.

Baronio vd. (1997), Roma ve Bizans dönemi yapılarda kullanılan kalın harçlardaki agrega ve tuğla tozunun rollerini araştırmışlardır. Hidrate kireç harçlarında, kırılmış tuğlalı malzemelerin kullanıldığını gözlemlemişlerdir. Kırılmış tuğla kireç harçlarda, bağlayıcılar ve kırılmış tuğla parçacıkları arasındaki puzolanik tepkimelerin sadece mikroskobik analizlerle görülebileceğini ifade etmişlerdir. Kırılmış tuğla kireç harçlarında; ince kesit ve SEM analizleri uygulamışlardır. Harç numunelerindeki araştırmaları sonucu, bağlayıcı ve tuğla parçacıkları arasındaki aderansın genellikle çok iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Karaveziroglou vd. (1997), tarihi yapıların restorasyonu sırasında kullanılan harç ve tuğla malzemelerin mineralojik özelliklerinin belirlenmesinin duvarların deformasyonu ve mukavemeti açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Riccardi vd. (1998), Pavia'nın merkezindeki 4-6. yüzyıl, 9-10. yüzyıl ve 16. yüzyılda inşa edilen üç yapıdan aldıkları tarihi harçlar üzerinde; mikroskobik ve XRD analizleri uygulamışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda; Roma dönemi harçlarda %70 oranında kalsiyum bulunduğunu, Ortaçağ ve Rönesans dönemlerinde ise kalsiyum miktarının %80-%90 civarına çıktığını ifade etmişlerdir. Biotit ve muskovit türü mikaların Roma dönemi örneklerinde çoğunlukla bulunduğunu ve Ortaçağ numunelerinde nadir miktarlarda olduğunu gözlemlemişlerdir. Rönesans dönemine gelindiğinde yine bol miktarlarda biotit ve muskovit türü mikaların var olduğunu tespit etmişlerdir. Roma ve Ortaçağ numunelerinin bağlayıcı fazlarında kalsit heterojen bir dağılım gösterirken Rönesans çağında homojen bir görünüm sergilemiştir. Roma ve Ortaçağ numunelerinde kalsit, kuvars ve feldspatı ana mineraller olarak gözlemlemişlerdir. XRD paterni incelendiğinde, Roma dönemi harçlarda kalsitin varlığına rastlanırken Rönesans Çağı harçlarında kalsit olmadığı ancak dolomit ve jips minerallerinin var olduğunu gözlemlemişlerdir. Ortaçağ harçlarının, Roma çağı harçlarına göre daha sert ve kompakt olduğunu ifade etmişlerdir. Rönesans dönemi harçlarda, jips'in varlığı daha zayıf bileşenler kullanıldığının belirtisiyken dolomitin varlığı çeşitli ham malzemelerin kullanıldığının bir göstergesidir.

Moropoulou vd. (2000), harç numuneleri üzerinde mineralojik ve kimyasal analizler yapmışlardır. XRD analizi, mineral kristalizasyonu, optik mikroskop analizi ise, harçların mineralojik - petrografik özelliklerinin belirlenmesi için kullanmışlardır. SEM/EDX analizinin harçların mikro yapısı hakkında önemli bilgiler vereceğini belirtmişlerdir. Harç numunelerdeki küçük çatlakların, kalsit, kuvars ve dolomit mineralleri ile dolu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Alvarez vd. (2000), İspanya'daki Pamplona katedralinden aldıkları harç örnekleri üzerinde termal, mineralojik ve kimyasal analizler yapmışlardır. Harçların bağlayıcı ve agrega özelliklerini belirleyerek, TG/DTA analizlerinin bu tip çalışmalarda önemini vurgulamışlar, belirli sıcaklık aralıklarındaki kütle kayıplarını dikkate alarak harçların hidrolik özelliklerini tespit etmişlerdir. XRD analizinde bu harçların ana bileşenlerinin kalsit ve kuvars olduğunu, bu bileşenler dışında düşük miktarda silikatların bulunduğunu ancak alçının bulunmadığını göstermişlerdir.

Franzini vd. (2000), Pisa'dan aldıkları tarihi harçlar üzerinde SEM ve XRD analizleri uygulamışlardır. Fiziksel deneyler olarak özgül ağırlık, su emme ve birim hacim ağırlık gibi deneyler yapmışlardır. Özgül ağırlık değerinin 2.52 – 2.69 gr/cm³ arasında olduğunu, birim hacim ağırlık değerinin 1.09 – 1.70 gr/cm³ arasında olduğunu ve su emme değerininse % 32.6 – %51.5 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. XRD analiz sonucunda, harçların bağlayıcı kısımlarının kristalize kuvarslardan oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Aköz vd. (2001), Dolmabahçe sarayından aldıkları harç ve tuğla numuneler üzerinde birim ağırlık, özgül ağırlık, hacimce su emme, ağırlıkça su emme ve doyma derecesi gibi fiziksel özellikleri belirlemişlerdir. Harçlar ve tuğlaların mekanik özelliklerini de incelemişlerdir. Tuğlaların basınç dayanımının 6.13 MPa ve elastisite

modülünün 428 MPa, harçların basınç dayanımının 1.54 MPa ve elastisite modülünün 51 MPa olduğunu ölçmüşlerdir.

Bonora vd. (2001), İtalya'nın Faenza bölgesindeki 16. yüzyıl yapısından aldıkları 25 tuğla ve 11 harç numunesi üzerinde XRD ve XRF analizleri uygulamışlardır. XRD analizini, tuğla ve harç numunelerinde bulunan ana kristalize kısımları ortaya çıkarmak için ve XRF analizini, tuğlaların kimyasal bileşenlerini ortaya çıkarmak için yapmışlardır. Mineralojik ve petrografik özellikler için ise optik mikroskop altında ince kesit analizlerini gözlemlemişlerdir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, tuğlaların kimyasal bileşen değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu yani çok homojen olduğunu görmüşlerdir. Tuğla numunelerinin XRD analizleri sonucunda; kuvars ve kalsitin ana bileşen olduğunu, plajiolaz ve mika minerallerinin çoğunlukla var olduğunu ve dolomit ve piroksen minerallerinin eser miktarda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Mistakidou vd. (2001), Yunanistan'daki tarihi yapıların restorasyonu ile ilgili bir çalışmada hidrate kireç, tuğla tozu, deniz kumu ve portland çimentosu kullanarak restorasyon harçları hazırlamışlardır. Üretilen restorasyon harçlarının mineralojik özelliklerini belirlenmesi için optik mikroskop, XRD ve XRF analizleri yapmışlardır. Yeni onarım harçlarının durabilitesinin ve işlenebilirliğinin çok iyi bir seviyede olduğunu gözlemlemişlerdir.

Lopez-Arce vd. (2003), İspanya'nın Toledo kentindeki Roma dönemine ait tarihi yapılardan aldıkları tuğla numuneleriyle; SEM/EDX, XRD ve optik mikroskop analizlerini yapmışlardır. Ayrıca su emme, porozite ve basınç dayanım değerlerini de ölçmüşlerdir. Tuğlaların su emme oranları % 19-22, birim hacim kütleleri 1.5-1.6 gr/cm³, toplam porozite oranları ise % 32.5-43 değerlerinde ölçülmüştür. Tuğlalarının basınç dayanımları 21.1-44.0 MPa olarak ölçülmüşlerdir.

Cardiano vd. (2004), tarihi yapıdan aldıkları tuğla numuneleri üzerinde kimyasal ve mineralojik analizler yapmışlar ve kimyasal analizler sonucunda; Bizans dönemi tuğlalarının kalkerli killerden üretildiğini gözlemlemişlerdir.

Radivojevic (2005), yapmış olduğu çalışmasında 4. ve 6. yüzyıl tuğlalarının basınç dayanımını 18.5 ile 10.0 MPa, eğilme dayanımını da 7.6 ile 2.9 MPa olarak ölçmüştür. Tuğlaların birim hacim kütleleri 1.78 ile 1,3 gr/cm³, porozite oranları ise % 19.4 ve 18.1 şeklinde saptanmıştır. Özkaya-Aslan (2005), Roma dönemi tuğlalarının basınç dayanımını 5.5-6.1MPa arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Böke vd (2006), 14.-15. yüzyıl dönemi Osmanlı tuğlalarının birim hacim kütlelerini 1,7-1,8 gr/cm³ ve porozite oranlarını ise % 33-37 arasında elde etmişlerdir.

2007 yılında Yunanistan'da bulunan Olynthos antik kentinde kullanılan harç ve taş örneklerini incelemiştir. Çalışmada alınan örneklerde fiziksel, kimyasal, mekanik analizler yapılmış, bağlayıcı ve agrega içerikleri belirlenmiştir. Bağlayıcı:agrega oranı 1:2,5 ile 1:3 aralığında tespit edilmiştir (Papayianni and Stefanidou 2007). Pavia ve

Caro (2007) çalışmalarında Roma dönemine ait harçlar üzerinde petrografik analizler yaparak harçlarda bağlayıcı, agrega özelliklerini ortaya koymaya çalışmışlardır. Zamba vd. (2007) çalışmalarında, Yunanistan'da Roma dönemine ait bir yapıdan aldıkları harç örneklerinde SEM/EDX ve XRD analizlerini yaparak harçların malzeme içeriklerini belirlemişlerdir. Harç örneklerinin kimyasal kompozisyonlarının kalsit, kuvars ve düşük oranda kil minerallerinden oluştuğunu belirtmişlerdir.

Rizzo vd. (2008), Sicilya'da Roma dönemine ait sarnıç, su kanalı gibi bazı su yapılarında kullanılan tarihi harçların bağlayıcı, agrega içeriklerini tespit etmişlerdir. Sicilya'da bulunan San Filippo di Fragala manastırı üzerine gerçekleştirilen çalışmada, TG/DTA, XRD ve ince kesit analizleri yapılarak harçların malzeme içerikleri belirlenmiştir (Cardiano vd. 2008).

Bergama Serapis Tapınağı harçları ve tuğlalarının araştırıldığı bir çalışmada yapıdan alınan örneklerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizleri yapılmıştır (Böke ve Özkaya-Aslan 2009). Labiadh vd. (2009), Tunus'da bir kale ve su kemerinden aldıkları harç örneklerinin suya dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Tarihi harçların kimyasal, fiziksel, mekanik ve petrografik özelliklerini belirleyerek puzolan içeriklerini tespit etmişlerdir.

Kurugöl (2010), tarihi Kütahya Kalesi tuğlalarının birim hacim kütlelerinin 1,34-1,51 gr/cm³ arasında değiştiğini, porozite oranlarının % 35,9–45,5 arasında olduğunu, basınç dayanımlarının 9,9 – 13,7 MPa arasında değiştiğini ve puzolanik özellikler taşıdıklarını tespit etmiştir. Ultrases hızları 2,5–2,8 km/sn arasında olduğunu belirtmiştir. Kurugöl ve Tekin (2010), Anadolu'da Bizans dönemi tarihi yapılarda kullanılan tuğlaların ultrases geçiş sürelerini ölçerek, buradan ultrases hızları ile dinamik elastik modüllerini belirlemişlerdir. Tüm numunelerin ultrases hızları ortalamaları 2,53–3,52 km/sn arasında değiştiğini, ultrases hızları yüksek olan numunelerin mekanik dayanımlarının diğerlerine göre daha yüksek, fiziksel özellikler bakımından ise daha düşük porozite ve su emme oranlarına sahip olduklarını belirlemişlerdir.

Yüzer vd. (2011) Üsküdar'da bulunan apsidal yapı kalıntısına ait harç numunelerini incelemişlerdir. Harçlarda kullanılan bağlayıcının agregaya oranının tespit edilmesi için asit kaybı analizi yapılmıştır. Bağlayıcı:agrega oranı 1:4 ile 1:9 aralığında bulunmuştur. Yapılan fiziksel ölçümlerde ise horasan harcının ortalama birim ağırlığı 1,17 gr/cm³, hacimce su emme oranı ise ortalama % 52, ağırlıkça su emme oranı ortalama % 44,6 olarak ölçülmüştür.

Kahraman Altaş vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'da bulunan Roma Dönemi saray yapılarında kullanılan tarihi harçların; mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş, elek analizi ve suda çözünen tuz analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda harçların horasan harçları olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan fiziksel deneylere göre harçların porozite değerleri %37-48 arasında, kütlece su emme yüzdesi % 23-33 aralığında ve birim hacim kütlesi 1,32-1,61 g/cm³ arasında çıkmıştır.

Çalışma sırasında harçların puzolanik aktivitelerini elektrik iletkenliğinden yararlanarak ölçmüşler ve iyi puzolan oldukları sonucuna varmışlardır.

Oğuz (2013), Myra ve Andriake Limanından almış olduğu, Roma ve Bizans dönemleri inşa edilen Plakoma, Sinagog, Granarium, Liman Yapıları, Kuzey Yerleşim, Tiyatro ve Hamam'da kullanılan tuğlaların; basınç dayanımlarının 9.0-47.8 MPa, ultrases hızlarının 2.392-3.947 km/sn, birim hacim kütlelerinin 1.58-1.86 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.45-2.79 gr/cm³, kompasitelerinin % 60-74, porozitelerinin % 26-40 ve hacimce su emme değerlerinin % 24.59-34.20 olduğu tespit etmiştir. Harç numunelerinde ise: Nokta yükleme deney sonuçlarına göre ortalama basınç dayanımları; Plakoma'da (2. yüzyıl), 5.5 MPa, Granarium'da duvarlarda (2. yüzyıl) 6.0 MPa, Tiyatro'da (2. yüzyıl) 8.9 MPa, Hamam'da (3. yüzyıl) 17.4 MPa, birim hacim kütlelerinin 1.34-1.86 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.36-2.74 gr/cm³, kompasitelerinin % 51-76, porozitelerinin % 24-49 ve hacimce su emme değerlerinin % 22.89-45.04 olduğu tespit etmiştir.

Sömer (2014), , Burdur ve Isparta illeri içerisinde yer alan tarihimizin bir parçası olan Kremna, İncirlihan Kervansarayı, Adada, Sığırlık Harabesi, Zorzila ve Psidia Antiokya yapımında yapı malzemesi olarak kullanılmış tuğla ve harç gibi yapı malzemeleri incelemiştir. Tuğlalarda ağırlıkça su emme %8.33-19.93, hacimce su emme %15.9- 32.5, porozite değerleri %28-35, kompasite değerleri %64-71 arasında bulunmuştur.

Oğuz vd. (2015), Andriake Limanında Roma dönemi harçlarını incelediklerinde ortalama olarak birim hacim kütlelerinin 1.65 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.56 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 20.72, hacimce su emme yüzdesinin % 33.85, porozitesinin % 36, kompasitesinin % 64 olduğunu tespit etmişlerdir.

Ulukaya (2016), İstanbul/Üsküdar'da Apsidal Yapı Kalıntısından aldığı harç ve tuğla örneklerinde renk analizi yapmıştır. Harçlar üzerinde yapılan ölçümler neticesinde hesaplanan ortalama L*a*b* değerleri ölçüm sonuçlarına göre, L* ile gösterilen renk açıklığı değerleri, 77,1- 85,8 arasında, renkle ilgili a* değeri 4,7-8,3 arasında diğer renk değişkeni olan b* değeri ise 12,8-17,9 arasında değiştiğini tuğla numunelerinde ise L* ortalama 56, a* değeri ortalama 17, b* değerini ise ortalama 22 olarak belirtmiştir.

Kapur vd. (2016), İspanya'da yer alan Elhamra Sarayı'nın duvar harçlarının fiziksel, kimyasal ve mikroskobik özelliklerini incelemişlerdir. Harç numunesi üzerinde yapılan elektron mikroskobu ve X-ray analizleri yapılmış ve numunelerde kalsit, jips, kuvars, muskovit minerallerine ve organik liflere rastlamışlardır. Numunelerin yoğunlukları 1.87-2.23 gr/cm³ arasında değişirken poroziteleri de %30-35 arasında değişen değişkenlik gösterdiğini belirlemişlerdir.

Işık (2019), Aspendos Antik Kentindeki Domus, Çeşme Yapısı ve Roma Bazikası'ndan aldığı harç numunelerinin üzerinde yapmış olduğu çalışmalarda, nokta yükleme deney sonuçlarında Çeşme Yapısından alınan numunelerin basınç dayanımlarının ortalama 11 MPa, Bazilika için ortalama 9 MPa, Domus Yapısında ortalama basınç dayanımının 5 MPa bulmuştur. Renk analizinde Çeşme numunelerinin ortalama L* değeri 66.2, ortalama a* değeri 4.3, ortalama b* değeri 14.1 olarak bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla Bazilika için 78.7, 4.1, 12.12 Domus için ise 65.45, 5.81, 16.4 şeklinde olduğunu belirtmiştir. Kimyasal analizler sonucunda, bağlayıcının agregaya oranının genel olarak 1/1 şeklinde olduğu tespit etmiştir.

3. MATERİYAL VE METOT

3.1 Materyal

Aspendos kenti günümüzde Antalya'nın yaklaşık 50 km. doğusunda bulunan Serik ilçesine bağlı Belkıs mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Kent, bir tepe üzerinde ve etrafındaki düzlük alanda Akdeniz'e dökülen Eurymedon (Köprüçay) nehri kenarında kurulmuştur. M.Ö. 1200 yılına kadar Hititlerin yaşadığı kente bu tarihten itibaren Yunanlar egemen olmuştur. M.Ö. 5. yüzyıl ve 4. yüzyıllar arasında Lydya'lılar ve Persler arasında kenti ele geçirmek için mücadeleler olmuş, kentin egemenliği bu iki krallık arasında bir süre el değiştirmiştir. M.Ö. 3. yüzyılda kentin kontrolü Ptolemaioslar'a geçmiştir. Daha sonra Asya'da Roma eyaletlerinin kurulduğu dönemde M.Ö. 79'da Roma konsülü Gaius Veres'in orduları tarafından istila edile kent Roma topraklarına katılmıştır. Roma imparatorluğu zamanında en parlak dönemini yaşayan kent birçok süslü ve anıtsal yapılarla donatılmıştır. Bu dönemde kent tahıl, yağ, şarap, tekstil, at ve özellikle de tuz ticareti ile ünlü merkezlerden olmuştur. Son olarak M.S. 13. yüzyıldan itibaren Selçukluların kontrolüne giren kentte, bu dönemden itibaren Selçuklu izlerine rastlanmaya başlanmıştır. 1. Alâeddin Keykubat kentte bulunan görkemli tiyatroyu restore ettirerek saray olarak kullanmıştır (Şahin 2018).

Bu çalışmada, Antalya ili Serik ilçesi sınırları içerisinde bulunan Aspendos antik kentindeki tarihi yapılarda kullanılan harç ve tuğlaların özgün malzeme özellikleri incelenmiştir. Bu bölümde Aspendos antik kentinden numune alınan tarihi yapıların (Küçük Hamam, Çeşme Binası, Su Kemeri) tanıtımı hakkında bilgi verilecektir.

3.1.1. Bölgenin ve incelenen yapıların tanıtımı

Çeşme Binası

Çeşme Yapısı mimari süslemelerinden MS 160-180 yıllarına tarihlenen iki katlı bir binadır ve agoranın kuzey kenarı boyunca yükselmektedir (Şekil 3.1). İki katlı yapının alt ve üst katında zamanında heykellerle süslü nişler yer almış olmalıydı.

Nişlerin alt kattakileri üstlerine oranla doğal olarak daha büyüktür. Her iki katta da orta nişler kattaşlarına oranla daha büyüktür. Alt kattaki nişlerin arkası pencere gibi açık bırakılmış ancak daha sonraki bir dönemde kapatılmıştır. Belki de halen nişlerin kubbelerinde yer alan *opus sectile*'ler ve bunlara ait sıvalar bu kapatma sırasında eklenmişlerdi. Alt kattaki sütunlu aksama ait parçalar yer almakla birlikte üst aksam ile ilgili parçalardan eser yoktur. Bu yüzden Lankoronski'nin rekonstrüksiyonu kabul edilebilir gözükmektedir. Yapıda yapılan kazılar sonucunda daha sonraki bir dönemde, geç antik çağda veya Selçuklu döneminde, çeşmenin kurnalarının yerine sıva ile yeni bir su depolama havuzu yapılmıştır. Bu havuzun ön yüzünden günümüze bir şey kalmamışken, havuzun iç arka duvarları ve sıvaları kalmıştır. O yüzden en az iki farklı dönem sıva izlerine rastlanmaktadır. (Köse 2009).



Şekil 3. 1. Çeşme Binası

Su Kemerleri

Aspendos'a dağların arasında kısmen yine su kemerleri ve genellikle künklerle yer altından getirtilen su, şimdiye dek bilinen iki kaynaktan getirilmekteydi. Kuş uçumu yaklaşık 15 km uzaklıktaki Gökçe pınar ile 12 km uzaklıktaki Gökçeler yakınında bulunan Pınarbaşı kaynağından. Su kemerleri gerek iyi korunması gerekse suyun hızını ayarlayan iki sifonuyla hem turistik hem de bilimsel açıdan ilgi görmüştür. Bu sifonlar bu kadar uzaklıktan gelen suyu önce rezervuarlarında dolmasını sağlayarak suyun debisini yavaşlatmakta ve dereceli olarak kente basılmasını sağlamaktaydılar (Şekil 3.2).

Küçük Asya'da bulunan tuğla yapıların sayısının az olması nedeniyle su kemerleri önemlidir. Yapımında tuğla ve konglomera kullanılmıştır. Bazı yerlerde su

kemerlerinin yanına düşmüş taş künkleri görmek söz konusudur. Ancak dağların içinde su gerek kayalara oyulmuş veya gerek terrakota künklerden geçirilerek su kemerlerine ulaştırılıyordu. Dağlık alanlardaki vadilerden de yine konglomera ve tuğladan su kemerleri sayesinde taşınmıştır.

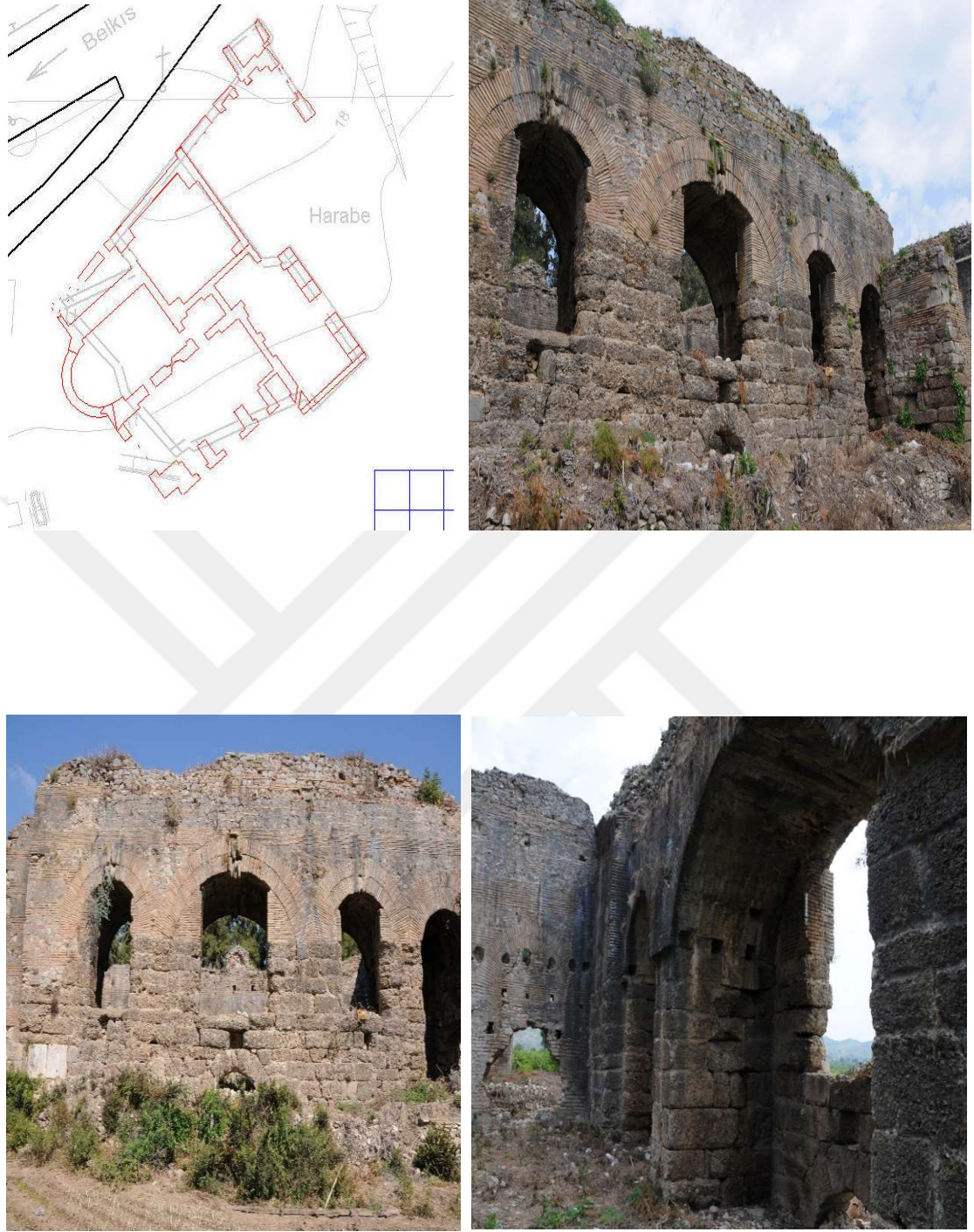
Su kemerleri her zaman bilim insanlarının dikkatini çekmiştir. Ward-Perkins ilk olarak su kemerlerini inceleyip MS. 3. yy'a tarihlemiştir (Köse 2009).



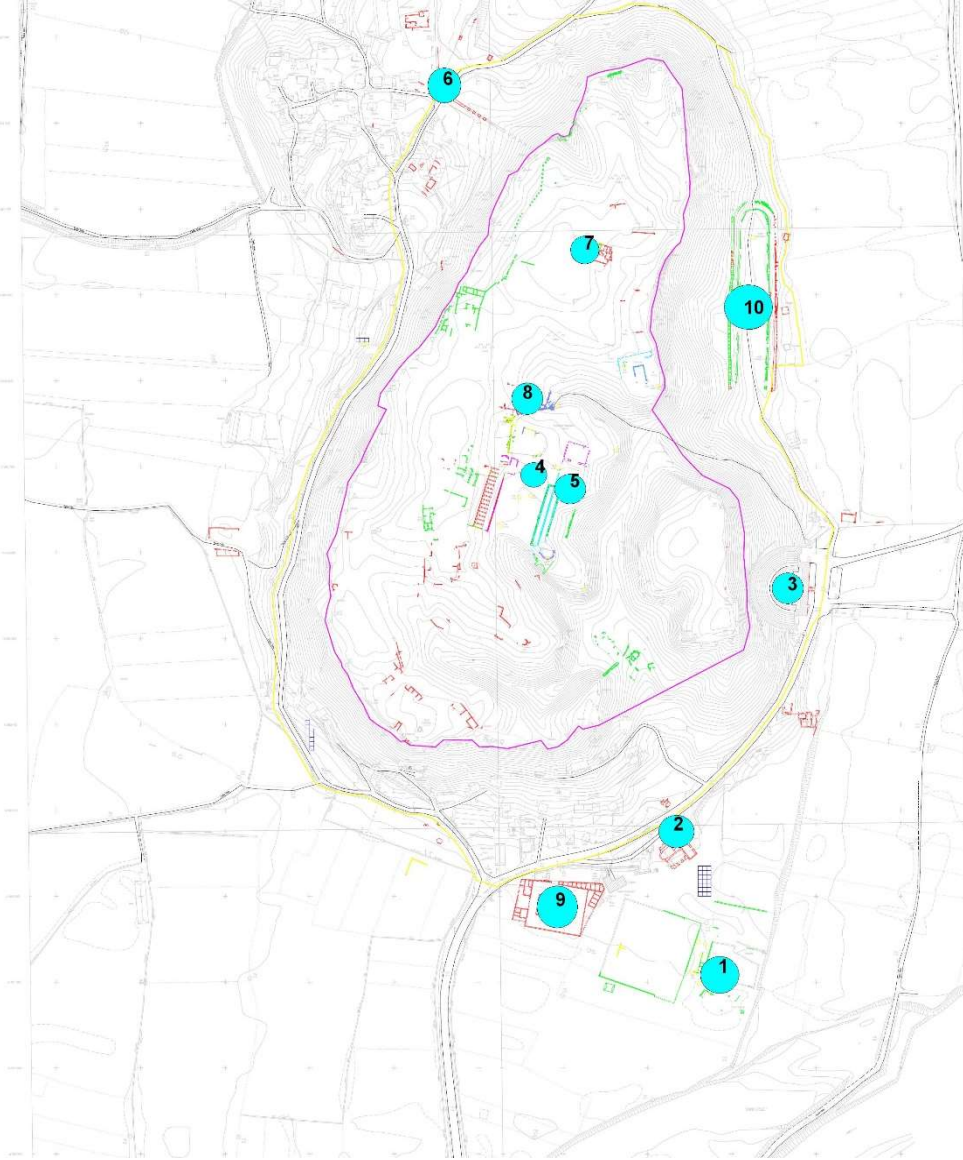
Şekil 3. 2. Su Kemerleri

Küçük Hamam

Küçük hamam binası büyük hamamın batısına rastlayan ve çok uzak olmayan bir noktada; yine kentin kurulduğu tepede olmayıp düzlükte yer almaktadır. Bu küçük hamam olasılıkla liman hamamından daha geç bir dönemde inşa edilmiştir (Şekil 3.3). Malzemesi Liman hamamında olduğu gibi konglomera, tuğla ve harçtır. Yüzeyler mermer kaplama levhaları ile kaplı olmalıydı. Kısmen de sıva yüzeyli olabilir. Ancak duvarlarda yer yer devşirme malzemelere rastlanmaktadır. En azından bazı devşirme malzemeler ilk yapılış evresinden itibaren yapı malzemesi olarak düşünülerek kullanılmış olmalı. Yapının tarihi olarak Liman hamamı ile karşılaştırılması sonucunda MS. 3. ve 4. yy tahmin edilebilir. Bu yapı Liman hamamına bir alternatif olarak yapılmış ve bir müddet aynı zaman içinde ikisi de beraber kullanılmış da olabilir (Köse 2009).



Şekil 3. 3. Küçük Hamam



Şekil 3. 4. Aspendos haritası (Köse 2009)

1. Liman Hamamı
2. Küçük Hamam
3. Tiyatro
4. Çeşme Binası
5. Roma Bazilika'sı
6. Su Kemerleri
7. Geç Antik Yapı I (Hamam veya ısıtmalı ev yapısı)
8. Geç Antik Yapı II (Anıtsal Kapı'nın hemen kuzeybatısındaki yapı)
9. Köprüsu Kervansaray'ı
10. Stadion

3.1.2. Numune alma çalışmaları

Numune alma çalışmaları yapılan Çeşme Yapısı, Su Kemerleri ve Küçük Hamam yapısının Aspendos Haritası üzerinde görünümü Şekil 3.4' te gösterilmiştir.

Tarihi yapılarda araştırma çalışmaları için, Kültür ve Turizm Bakanlığı'ndan ve çalışma yapılacak antik kentin kazı başkanından izin alınması gerekmektedir. Bu nedenle tez çalışması için; Antalya Müze Müdürlüğü'nün 22.08.2017 tarih 160.01.01/1972 sayılı izin yazısı tamamlanarak Antalya ilinin Serik ilçesinde yer alan Aspendos antik kentinden numune alma çalışmaları yapılmıştır (Ek-1).

Numune alınacak bölgeler belirlenmiştir. Örnekler çekiç ve keski yardımıyla yapıda hasar bırakmayacak şekilde alınmıştır. Alınan numuneler alındığı yerle uyumlu kısaltma şeklinde isimlendirilmiştir. Çeşme yapısından alınan harç numuneleri CH, tuğla numuneleri ise CT, Su Kemerlerinden alınan harçlar SH, tuğlalar ST, Küçük Hamamdan alınan harç numuneleri HH, tuğla numuneleri ise HT olarak kodlandırılmıştır. Fotoğrafları çekilen numuneler ayrı ayrı paketlenmiş ve çalışma izni alınması için uygun hale getirilmiştir. İzin alınan numuneler deneysel çalışmalar için laboratuvara getirilmiştir. Numune alınan yapılar, yapıların inşa tarihleri, numune alınan nokta sayıları, yapı malzemesi türüne göre numune sayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Numune bilgileri

Yer	İnşa Tarihi (İ.S.)	Numune Alınan Nokta	Harç	Tuğla
Çeşme Yapısı	2 yy	3	3	3
Su Kemerleri	3 yy	4	4	4
Küçük Hamam	3-4. yy	8	8	8

Çeşme yapısı:

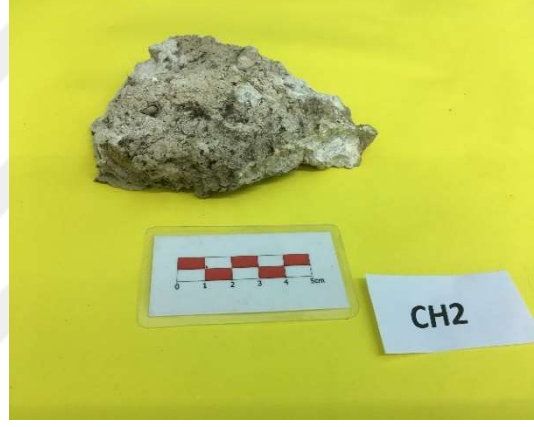
Alınan numunelerin yerleri Şekil 3.5 'te gösterilmiştir. Çeşme yapısından 3 tuğla 3 harç örneği olmak üzere toplam 6 adet numune alınmıştır (Şekil 3.6-Şekil 3.11). Numune alımı esnasında yapıya zarar vermemeye özen gösterilmiştir.



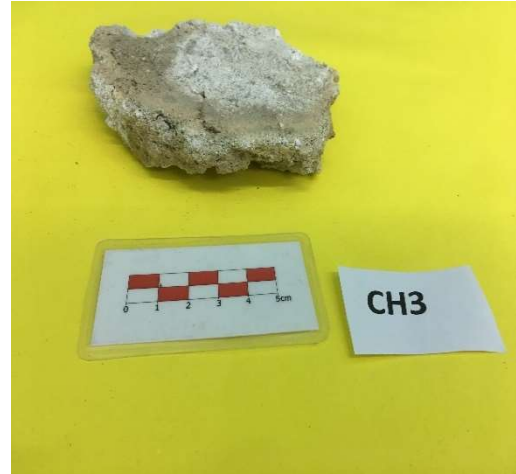
Şekil 3. 5. Çeşme yapısından alınan numunenin yerleri



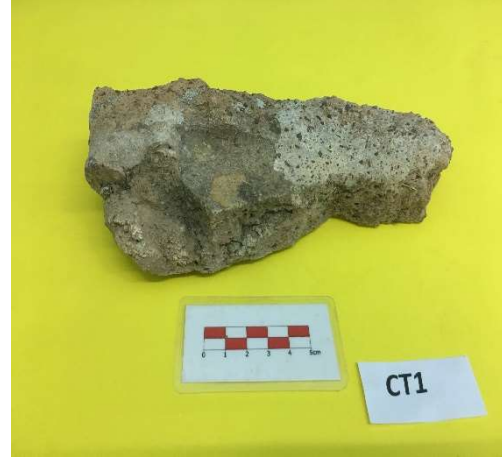
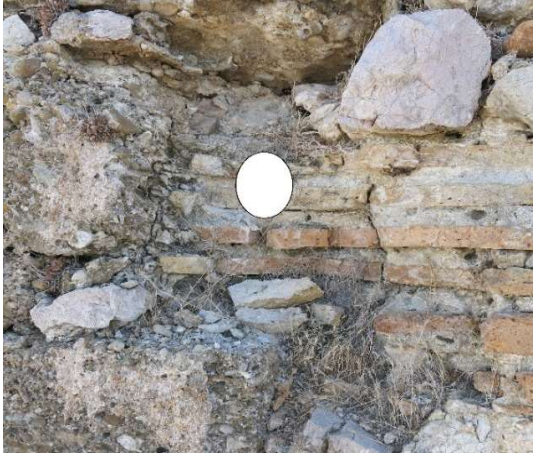
Şekil 3.6. CH1 kodlu harç numunesi



Şekil 3.7. CH2 kodlu harç numunesi



Şekil 3.8. CH3 kodlu harç numunesi



Şekil 3.9. CT1 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.10. CT2 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.11. CT3 kodlu tuğla numunesi

Su Kemerleri:

Şekildeki işaretli alanlar numunelerin alındıkları yerleri göstermektedir (Şekil 3.12). Su kemerlerinden 4 tane tuğla 4 tane harç olmak üzere 8 adet numune alınmıştır (Şekil 3.13-3.20).



Şekil 3.12. Su Kemerlerinden alınan numunenin yerleri



Şekil 3.13. SH1 kodlu harç numunesi



Şekil 3.14. SH2 kodlu harç numunesi



Şekil 3.15. SH3 kodlu harç numunesi



Şekil 3.16. SH4 kodlu harç numunesi



Şekil 3.17. ST1 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.18. ST2 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.19. ST3 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.20. ST4 kodlu tuğla numunesi

Küçük Hamam:

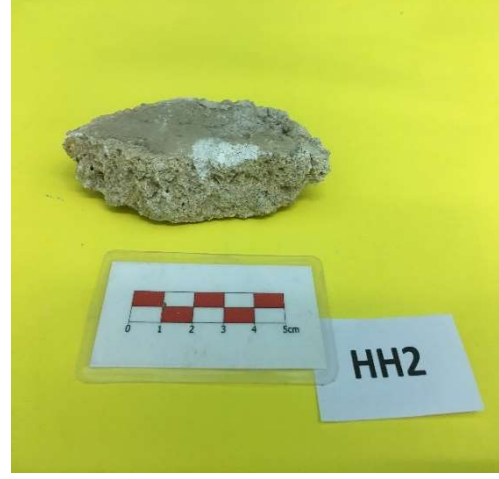
Alınan numune yerleri Şekil 3.21’ de gösterilmiştir. Küçük hamamda 8 adet tuğla 8 adet harç olmak üzere toplam 16 tane numune alınmıştır (Şekil 3.22-Şekil 3-37).



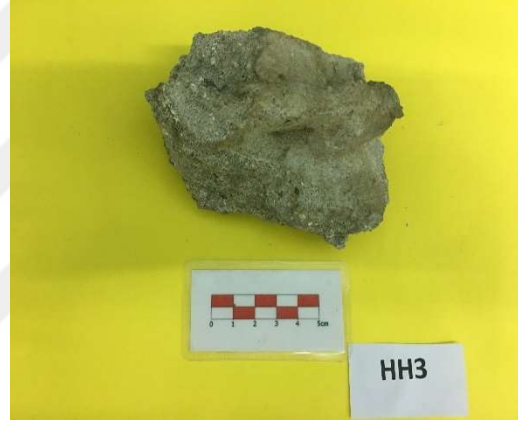
Şekil 3.21. Küçük Hamam’dan alınan numunelerin yerleri



Şekil 3.22. HH1 kodlu harç numunesi



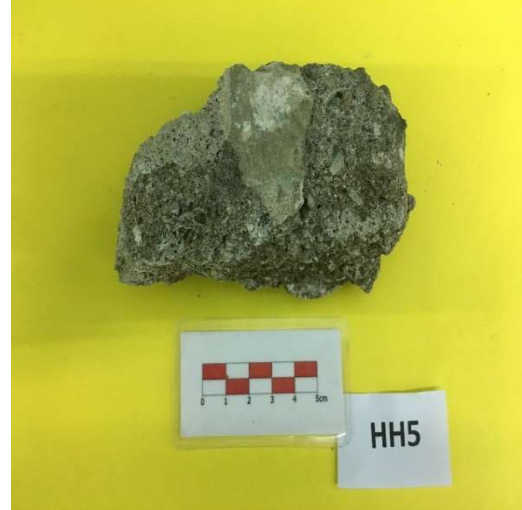
Şekil 3.23. HH2 kodlu harç numunesi



Şekil 3.24. HH3 kodlu harç numunesi



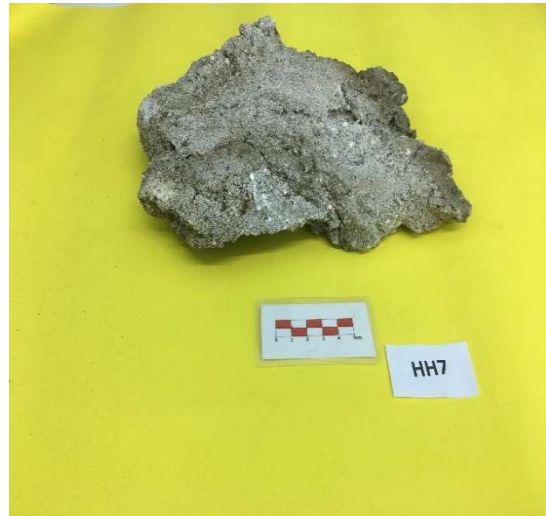
Şekil 3.25. HH4 kodlu harç numunesi



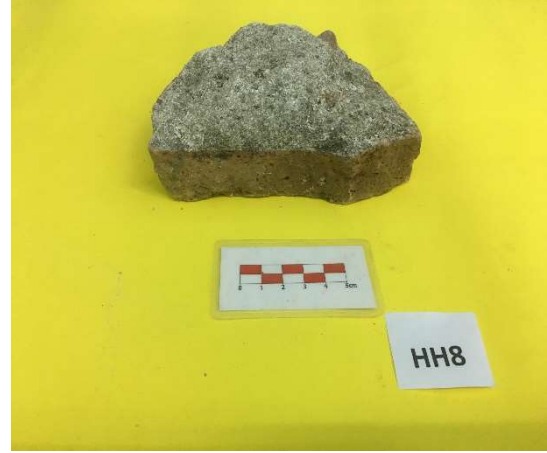
Şekil 3.26. HH5 kodlu harç numunesi



Şekil 3.27. HH6 kodlu harç numunesi



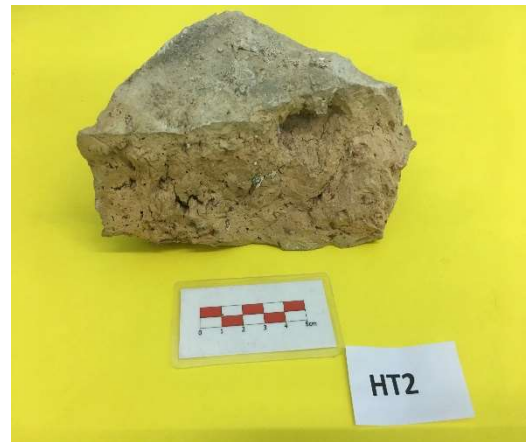
Şekil 3.28. HH7 kodlu harç numunesi



Şekil 3.29. HH8 kodlu harç numunesi



Şekil 3.30. HT1 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.31. HT2 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.32. HT3 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.33. HT4 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.34. HT5 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.35. HT6 kodlu tuğla numunesi



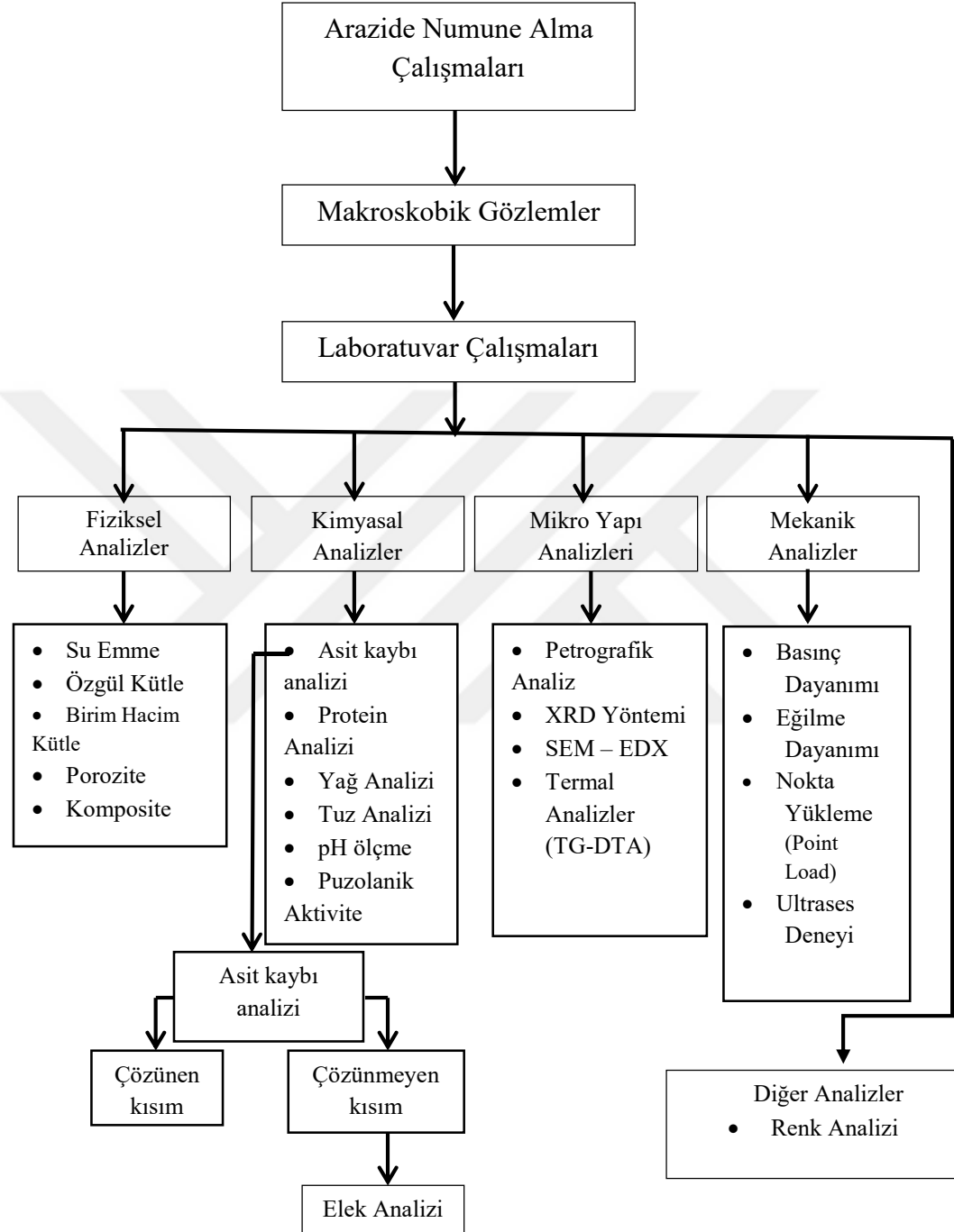
Şekil 3.36. HT7 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.37. HT8 kodlu tuğla numunesi

3.2. Metot

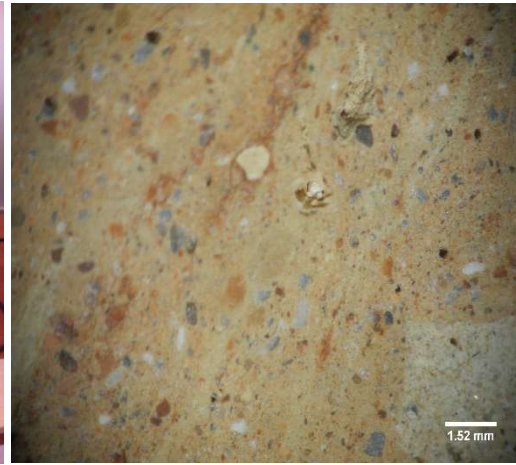
Tarihi yapılardan alınan harç ve tuğla numuneleri üzerinde yapılan çalışmalar aşağıdaki şemada gösterilmiştir.



Şekil 3. 38. Tarihi yapı malzemelerine uygulanan deneylerin akış şeması

3.2.1. Makroskobik gözlemler

Mikroskop çalışmaları için numunelerin yüzeyinin düzgün ve parlatılmış olması gerektiğinden, numuneler kesme cihazı yardımıyla düzgün bir biçimde kesilerek yüzeyleri dönen disk üzerinde zımpara tozu olan parlatma cihazları yardımıyla saf su ve özel solüsyonlar kullanılarak parlatılmalıdır. Yapılması düşünülen deneyler öncesinde, numunelerin genel yapısını anlamak için parlatılmış yüzeyler stereo mikroskop altında gözlemlenerek numuneler incelenmelidir. Mikroskop incelemeleri sonunda, malzemelerin genel yapısı, dokusu, şekli, rengi, bileşenleri, minerallerin cins ve boyutu, boşluk ve çatlakları gibi özellikleri belirlenebilir. Numuneyi mikroskop altında inceleyebilmek için numunede lam üzerine ince kesit alınmalı veya belli çapta seçilen numune yüzeyleri pürüzsüzleştirilerek mikroskop altında incelenmelidir. Harç numunelerinin ince kesit alma işlemi sırasında çabuk dağılabilecekleri göz önünde bulundurularak numune yüzeylerinin parlatılmasına karar verilmiştir. Parlatma işlemine her bir numuneden alınan düzgün parçaların Metacut-M250 serisi kesme cihazı altında sulu kesime tabi tutulmasıyla başlanmıştır. Bu işlem sonrasında numune parçalarının birer yüzeyleri düzgünleştirilmiş daha sonra bu yüzeyler Buehler- Metaserv Grinder Polisher marka cihazda üzerinde zımpara ve gümüş tozu bulunan disk yardımıyla parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler Nikon SMZ 745 T marka görüntüleme aparatlı trinoküler stereo-mikroskop yardımıyla incelenerek görüntüleri alınmıştır. Burada bulunan sonuçlar mikro yapı analizleri ile de karşılaştırılmıştır (Şekil 3.39).



Şekil 3. 39. Makroskobik çalışmalar

3.2.2. Fiziksel analizler

Tarihi yapılardan alınan harç ve tuğla numuneleri üzerinde kütlece ve hacimce su emme oranı, özgül kütle (gerçek yoğunluk), birim hacim kütle (görünür yoğunluk), kompasite, porozite gibi fiziksel analizler yapılmıştır. Fiziksel analizler malzemelerin karakterizasyonu ve konservasyon çalışmaları için önemli bilgiler verir (Şekil 3.40).

Su emme oranı

Boşluklu bir malzemenin, su içinde kalması ya da su ile temas halinde olması durumunda bir miktar su emer. Numunelerin kütlece ve hacimce su emme oranlarının belirlenebilmesi amacıyla su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Su emme oranının belirlenmesi malzemelerin mekanik özellikleri ve donma-çözölmeye karşı dayanıklılığı açısından bilgi verir.

Daha önce temizlenmiş, yüzeyleri düzgün olmayan numuneler bir etüv içerisinde 60 °C’de 48 saat süresince kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından 0,1 gr. hassasiyetli terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür (W_{silk}). Daha sonra numuneler ayrı ayrı kapların içine alınıp, numune yüzeyini 2 cm geçecek şekilde su ile doldurulup 48 saat bekletilmiştir. Bu işlemin ardından sudan çıkartılan numunelerin bir bez yardımıyla yüzeyleri kurulmuş ve ağırlıkları havada tekrar ölçülmüştür. Bu değer numunenin suya doymuş ağırlığıdır (W_{sd}). Suyu doymuş ağırlıkları ölçülen numuneler daha sonrasında Arşimet terazisi ile su içerisinde tekrar ağırlık ölçüm işlemine tabii tutulmuş ve bu işlem neticesinde de numunelerin su içerisindeki ağırlık değerleri (W_{si}) belirlenmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda bulunan değerler aşağıdaki formüllerde yerine konularak ağırlıkça su emme yüzdesi (S_k) ve hacimce su emme yüzdesi (S_h) değerleri hesaplanmıştır.

$$S_k = \frac{W_{sd} - W_{silk}}{W_{silk}} \times 100$$

$$S_h = \frac{W_{sd} - W_{silk}}{W_{sd} - W_{si}} \times 100$$

$$S_h = S_k \times \Delta$$

Bu bağıntılarda;

S_k = Ağırlıkça su emme yüzdesi,

S_h = Hacimce su emme yüzdesi,

W_{silk} = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numunenin ağırlığı,

W_{sd} = Suyu doymuş haldeki numunenin havadaki ağırlığı,

W_{si} = Suyu doymuş haldeki numunenin su içindeki ağırlığı,

Δ = Birim hacim kütle (görünür yoğunluk)’dir.



Şekil 3.40. Fiziksel Analizler

Birim hacim kütlesi

Birim hacim kütlesi, bir cismin kütlesinin, boşluklarla birlikte hesaplanan hacmine oranına denir. Cismin birim hacim kütlesinin değerin düşük olması o cismin gözenekli bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Birim hacim kütlesi fazla olan cisimlerin poroziteleri ve su emme değerleri de düşük, özgül kütleleri yüksektir.

Birim hacim kütle hesaplanırken su emme deneylerinden faydalanılmıştır. Malzemelerin birim hacim kütleleri, su emme deneyleri sırasında elde edilen kurutulmuş numunenin ağırlığı, suya doymuş haldeki numunenin havadaki ağırlığı, suya doymuş haldeki numunenin su içindeki ağırlığı değerleri kullanılarak TSEN 1936 standartlarına göre aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta = \frac{W_{silk}}{W_{sd} - W_{si}}$$

Bu bağıntıda:

Δ = Birim hacim kütle (görünür yoğunluk)

W_{silk} = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numunenin ağırlığı,

W_{sd} = Suyu doymuş haldeki numunenin havadaki ağırlığı,

W_{si} = Suyu doymuş haldeki numunenin su içindeki ağırlığı 'dır.

Özgül kütle (gerçek yoğunluk)

Bir cismin içerisinde boşluklarının olmadığı durumundaki birim hacim kütlesine o cismin özgül kütlesi denir. Malzemenin birim hacim kütlesi ile özgül kütlesi birbirine eşitse bu malzemenin boşluksuz olduğu anlamına gelmektedir.

Malzemelerin özgül kütlelerini hesaplamak amacıyla çalışma kapsamında piknometre yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak belirli bir miktar malzeme 100 µm elekten geçecek şekilde öğütülmüş ve tartılarak G_k değeri kaydedilmiştir. Piknometre su ile doldurulmuş ve ağzına hava aldırmadan yerleştirilen kapak ile birlikte tartılmıştır (G_{k1}). Sonra piknometre içerisinden bir miktar su dökülmüş, dökülen su yerine öğütülmüş malzeme eklenmiştir. Piknometre tekrar boşluk kalmayacak şekilde su ile doldurulup, kapak ile birlikte tartılmıştır (G_{k2}) (Şekil 3.41). Çıkan sonuçlardan yararlanılarak ilk önce numunelerin hacimleri bulunmuş, sonra da malzemelerin gerçek yoğunlukları hesaplanmıştır (Oğuz 2013).

$$G_k + G_{k1} = G_{k2} + V$$

V = Yaklaşık olarak hacmi vermektedir. Buna göre özgül kütle;

$$\delta = \frac{G_k}{V}$$

Bu bağıntılarda;

V = Hacim,

G_k = Kuru numune ağırlığı,

G_{k1} = Su dolu piknometre + kapak ağırlığı,

G_{k2} = Su dolu piknometre içerisinde numune + kapak ağırlığı,

δ = Özgül Kütle (Gerçek Yoğunluk)'dir (TS EN 1936).



Şekil 3.41. Özgöl Kütle Deneyi

Porozite

Porozite, bir malzemede bulunan tüm boşluk hacminin, bütün hacmine oranıdır. Bu değerin büyük olması malzemedeki boşluk oranının fazla olduğunu, küçük olması, malzemenin az boşluklu olduğunu gösterir. Porozite, malzemenin birçok fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkilidir.

Birim hacim kütle (görünür yoğunluk) ve özgül kütle (gerçek yoğunluk) yardımıyla numunelerin porozite değeri aşağıdaki bağıntısı yardımı ile hesaplanabilir.

$$p = 1 - \left(\frac{\Delta}{\delta} \times 100 \right)$$

Bu bağıntıda;

p = Numunenin boşluk oranı (porozite) (%)

Δ = Birim hacim kütle (Görünür yoğunluk)

δ = Özgül Kütle (Gerçek Yoğunluk)'dır.

Kompasite

Kompasite kavramı porozitenin tam tersi olarak ifade edilebilir. Bir malzemenin dolu kısmının hacminin tüm hacmine oranıdır. Cismin porozitesinin boşlukların hacminin tüm hacmine oranı olduğu düşünüldüğünde porozitesinin ve kompasitesinin toplamı tam hacmini vereceğinden bu toplam daima 1.0 değerini alır (Akbulut Ekşi 2006).

$$k+p=1.0$$

Bu bağıntıda ;

k = Numunenin doluluk oranı (kompasite) (%)

p = Numunenin boşluk oranı (porozite) (%)'dir.

3.2.3. Kimyasal analizler

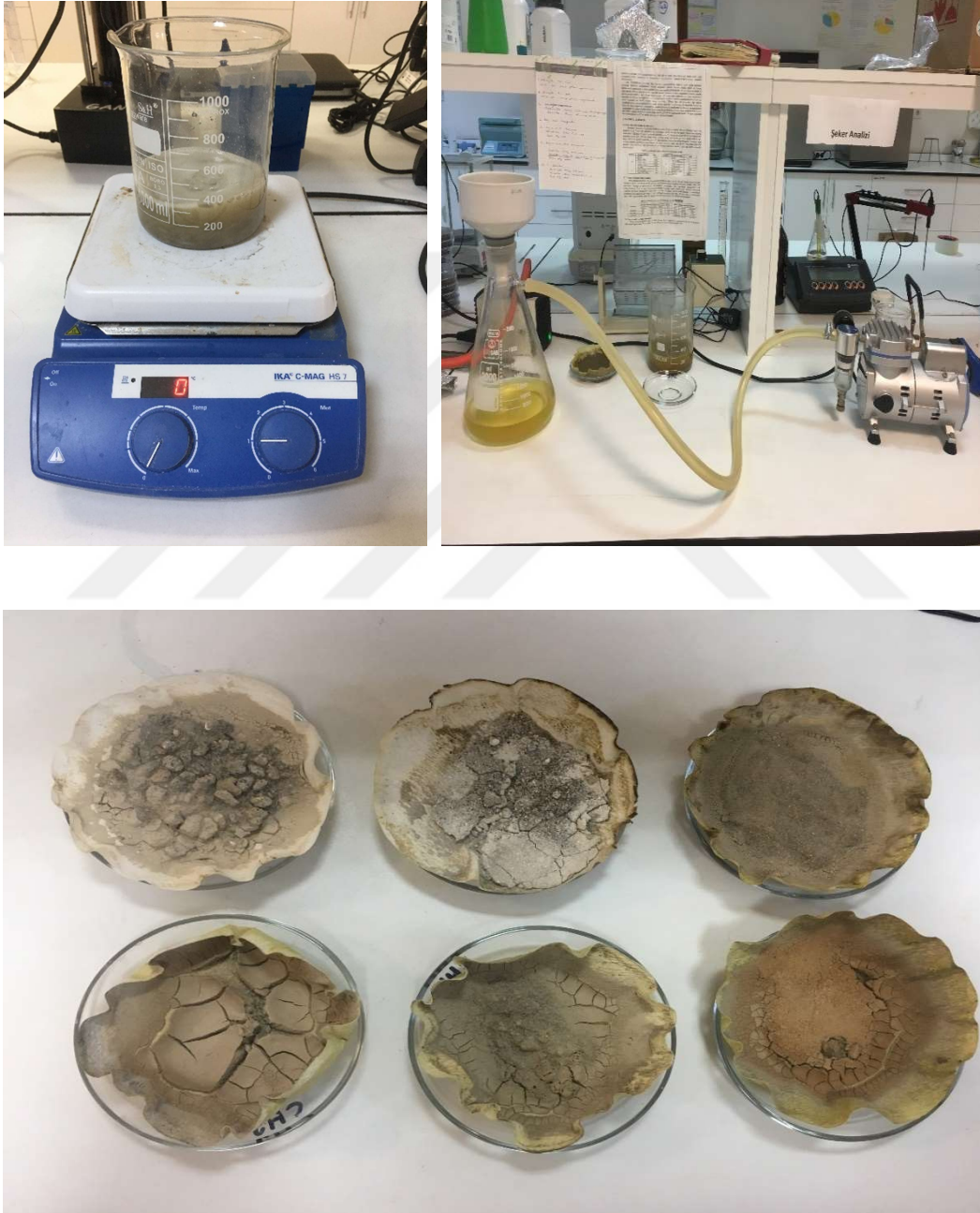
Tarihi yapılardan alınan harçlarda asit kaybı, tuz, ph, protein, iletkenlik, yağ analizleri yapılmıştır. Tuğla numunelerinde ise; iletkenlik ve ph analizi yapılmıştır.

Asit kaybı ve elek analizi

Asit kaybı analizinin amacı harç numunelerindeki bağlayıcı ve agregayı birbirinden ayırmaktır. İnce harç numunelerinden yaklaşık 50 gr tartılmıştır. İlk ağırlığı bilinen ince numune ile %10 seyreltilmiş hidroklorik asit (HCl) kullanılarak her numunede 1gr'a 5 ml HCl gelecek şekilde karışım hazırlanmıştır. Bu karışım manyetik balıklı karıştırıcı yardımıyla 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Harç numunesindeki bağlayıcının çözünmesi sağlanmıştır, çözünmeden kalan kısım agregadır. Daha sonra çözelti filtre kağıdından süzülürken kağıt üzerinde bağlayıcıdan ayrılmış agregalar kalmıştır. Asit ile tepkimeye girmediği için filtre

kağıdının üzerinde kalan numune etüvde kurutulmuş ve asitteki kayıp oranı hesaplanmıştır.

Süzme işleminden sonra agregalar 24 saat boyunca 105 °C'de etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan numuneler tekrar tartılmış ve çıkan sonuç ilk tartımla kıyaslanarak asitteki kayıp oranı bulunmuştur (Şekil 3.42).



Şekil 3. 42. Asit kaybı analizi

Asit kayıp hesaplandıktan sonra agregalar sırasıyla üst üste konulmuş göz açıklığı 8mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m olan eleklerden en üstteki eleğe dökülmüş her elek üzerindeki numune miktarı tartılmıştır (Şekil 3.43). Bu tartımlar sonucunda elekten geçen malzeme yüzdeleri hesaplanmış ve buna göre harç numunesinin tane boyutu dağılım eğrisi (granülometri eğrisi) çizilmiştir. Harç numunesinin tane boyutu dağılımı eğrisi harç agregasıyla ilgili bilgi vermektedir. Bu yüzden de onarım harçları hazırlanırken granülometri eğrisinden yararlanılır.



Şekil 3. 43. Elek analizi

Tuz Analizleri

Malzemedeki bozulma; malzemenin kendisi, su, atmosferin ya da suyun içerisindeki kirletici bileşikler ve mikroorganizmalardan kaynaklanmaktadır. Bozulma bu bileşenlerin arasındaki reaksiyonla ortaya çıkan suda çözünen tuzlardır. Harçlarda çözünen tuzların nitelik araştırması, iyon tipleri hakkında bilgi verir (sülfat, klorat, vs.) (Kahraman 2008).

Tuz analizlerine başlamadan önce stok çözelti hazırlanmalıdır. Stok çözelti, toz haline getirilmiş 1 gr numunenin üzerine 100 ml saf su eklenmesi ile oluşan çözeltidir. Numune içerisinde yer alan suda çözünebilir tuzların iyon haline gelmesi için hazırlanan bu karışım 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir (Şekil 3.44).

Bu çalışma kapsamında numuneler içerisinde var olan ve malzemelerde bozulmalara neden olabilecek çeşitli tuzların varlıklarının tespit edilebilmesi amacıyla numuneler üzerinde sırasıyla; klorür, nitrat, sülfat ve karbonat iyonları tespitlerini kapsayan tuz analizleri yapılmıştır. Tuz analizleri Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3. 44. Stok Çözelti

Klorür Analizi (Cl⁻)

Tuz analizleri için hazırlanmış stok çözeltiden 2 ml alınarak test tüpüne konulmuştur. Üzerine 1 damla nitrik asit (HNO_3) ve 1–2 damla gümüş nitrat (AgNO_3) damlatılmış, test tüpünde beyaz çökeltme olup olmadığı gözlemlenmiştir. Beyaz çökeltme, malzeme içerisindeki Cl^- varlığını göstermektedir (Borrelli 1999). (Şekil 3.45).



Şekil 3. 45. Klorür analizi

Sülfat SO_4^{2-} ve karbonat analizi CO_3^{2-}

En önemli sülfat kaynağı atmosferik kirliliktir. Bunun dışında yapıda tarımsal atıklar, deniz suyu, restorasyonlarda kullanılan alçı, portland çimentosu da sülfat varlığına sebep olmaktadır.

Malzemede sülfat ve karbonat iyonlarını belirlemede, tuz analizleri için hazırlanmış stok çözeltiden 2 ml alınır. Alınan stok çözeltinin üzerine 1-2 damla %10 seyreltik baryum klorür çözeltisi ($BaCl_2$) eklenmiştir. Baryum klorürün ($BaCl_2$) sülfat ile birleşmesiyle baryum sülfat ($BaSO_4$) oluşur. Beyaz çökelmenin olması sülfat ve/veya karbonatın varlığını göstermektedir. Beyaz çökelme oluşan numuneler santrifüje konulduktan sonra üzerindeki berrak çözelti atılmıştır. Üzerine 1-2 damla HCl asit damlatıldıktan sonra gaz çıkışı ve beyaz çökeleğin varlığı gözlenmiştir. Sadece beyaz çökelek olması sülfatın, beyaz çökeleğin tamamının kaybolması sadece karbonatın, hem çökelme hem gaz çıkışının olması sülfat yanında karbonatın varlığını göstermektedir (Borrelli 1999). (Şekil 3.46).

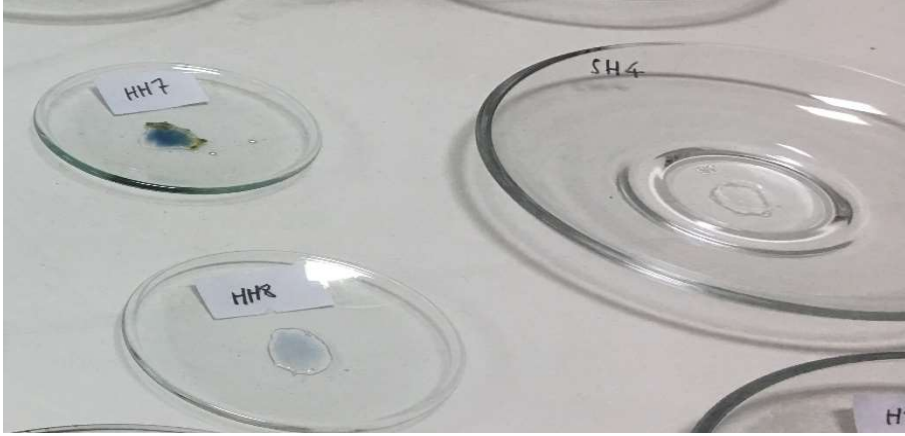


Şekil 3. 46. Sülfat ve karbonat analizi

Nitrat Analizi NO_3^-

Yapının içerisinde veya çevresinde yaşayan canlıların atıkları, eserin konumu ve çevresel faktörler gibi nedenler yapı malzemelerine nitrat tuzlarının girmesine sebep olur.

Cam plaka üzerine küçük bir difenilamin kristali ve bir iki damla örnek çözeltisi konur karıştırılır ve kuruması beklenir. Kuruyan örnek üzerine bir damla sülfürik asit (H_2SO_4 konsantre) ilavesiyle oluşan mavi-menekşe renk nitrat tuzunun varlığını göstermektedir (Acun-Özgünler 2007). (Şekil 3.47).



Şekil 3. 47. Nitrat analizi

pH Analizi

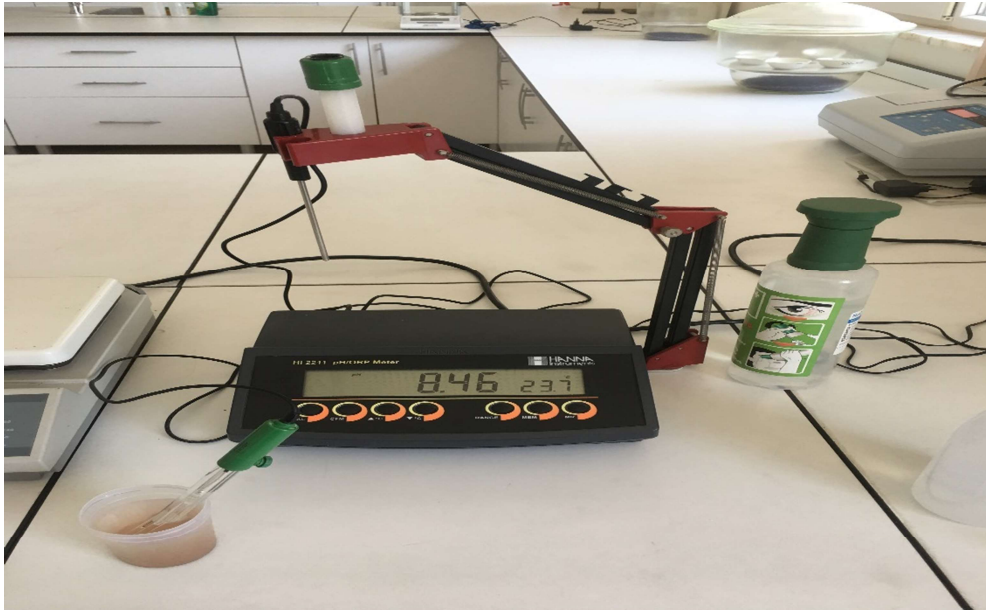
Malzemelerin asidik veya bazik olduğunun belirlenebilmesi amacıyla, toz haline getirilmiş malzeme ile hazırlanmış olan solüsyonun pH değeri belirlenmiştir. H^+ iyonunun ters logaritmasının alınmasıyla bulunur. $H^+ \times OH^- = 10^{-14}$ sabit değerdir. Hidrojen iyonlarının, hidroksit iyonlarından fazla olması Asit, hidroksit iyonlarının hidrojen iyonlarından fazla olması baz olduğunu gösterir.

Asit : $H^+ > OH^-$, asidik solüsyonun pH = 1'dir.

Nötr : $H^+ = OH^-$, nötr solüsyonun pH = 7'dir.

Baz : $H^+ < OH^-$, bazik solüsyonun pH = 14'tür (Oğuz 2013).

Hazırlanan stok çözeltilerin pH'ı HANNA Instruments HI2211 marka pH/ORP metre yardımıyla ölçülmüştür. Numunelerin asidik veya bazik olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.48).



Şekil 3. 48. pH analizi

Protein Analizi

Malzemelerdeki protein genellikle kan, yumurta, hayvan kılları, bitki lifleri gibi proteinli katkı maddelerinden kaynaklanmaktadır.

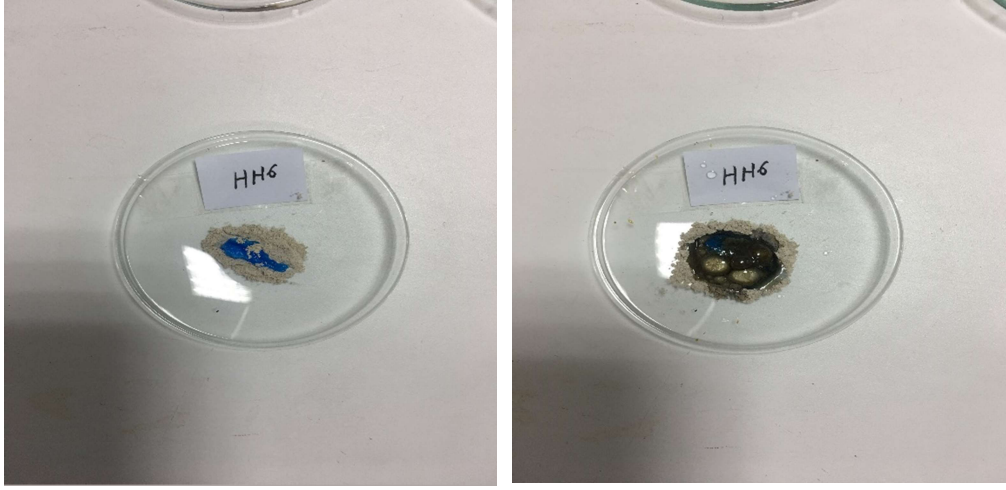
Protein analizi için numuneler toz haline getirilmiştir. Öncelikle 1 gram para dimetilamino benaldehit 100 ml % 33,5'luk hidroklorik asit (HCl) ile çözülerek reaktif hazırlanmıştır. Bir ucu ısıtılarak kapatılmış tüplere toz halindeki numuneden 3-5 mm yüksekliğinde doldurulmuştur. İnce kesilmiş süzgeç kağıdının tüpün içine gelecek yüzüne hazırlanan çözelti emdirerek yerleştirilmiştir ve tüp alt kısmından ısıtılmıştır. Süzgeç kağıdında gözlemlenen pembe renk, malzemede proteinin varlığını göstermektedir (Şekil 3.49).



Şekil 3. 49. Protein analizi

Yağ Analizi

Yağ analizi için daha önce hazırlanmış toz numuneden saat camı üzerine bir miktar konulur. Üzerine birkaç bakır sülfat (CuSO_4) kristali eklenip karıştırılır. Bir iki damla konsantre amonyak (NH_3) çözeltisi eklenir. Ardından hidrojen peroksit (H_2O_2) damlatılarak reaksiyonun tamamlanması beklenir. Yaklaşık yarım saat sonra numunede kalıcı sabun kabarcıkları gözlemlenir ise yağ vardır kabarcıklar geçici ise yağ yoktur (Şekil 3.50).



Şekil 3. 50. Yağ analizi

İletkenlik Ölçümü ve Pozolanik Aktivite Analizi

Daha önce hazırlanmış olan stok çözeltilerinde tuz testleri yapıldıktan sonra iletkenlikleri ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında numunelerin pozolanik aktiviteleri, iletkenlikten yararlanılarak ölçülmüştür. Bunun için HQ40d model multimetre cihazı kullanılmıştır. İlk olarak doygun sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) çözeltisi hazırlanmış ve iletkenliği ölçülmüştür. Daha sonra hazırlanan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çözeltisi ve önceden toz haline getirilmiş harç numunesi 1gr/50 ml oranında karıştırılarak oluşturulan karışımın iletkenlik değeri ölçülmüştür (Şekil 3.51). Ölçülen iki iletkenlik değeri arasındaki fark, harcın pozolanik özelliğini göstermektedir:

İletkenlikler arasındaki fark $>1,2 \text{ mS/cm}$ $\rightarrow$ harç iyi pozolan,

$0,4 \leq$ İletkenlikler arasındaki fark $\leq 1,2 \text{ mS/cm}$ $\rightarrow$ harç pozolan,

İletkenlikler arasındaki fark $< 0,4 \text{ mS/cm}$ $\rightarrow$ harç pozolan değil olarak yorumlanır. (Uğurlu ve Böke 2006).



Şekil 3. 51. Pozolanik Aktivite ve İletkenlik Analizi

3.2.4. Mikro Yapı Analizleri

Tuğla ve harç malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi yanında mikro yapısal özelliklerinin de belirlenmesi önem taşımaktadır. Onarımda kullanılacak malzeme ile özgün malzemelerin arasındaki uyumun sağlanması için mikro yapı analizleri gerekmektedir.

XRD, SEM-EDX, TG/DTA gibi cihaz gerektiren bu ileri teknik analizler; bağlayıcı, agrega, katkı maddelerinin varlığı, bunların mineralojik yapısı, bozulmadaki mineralojik evrelerin tespiti, silikatlaşmış bileşiklerin incelenmesi için uygulanır (Kahraman 2008).

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)- X-Işınları Spektroskopisi (EDX) Analizi

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) tekniği, kaynak olarak ışık yerine elektronların kullanıldığı bir görüntüleme tekniğidir. Taramalı elektron mikroskopu, görüntülemenin yanı sıra görüntü üzerinde kimyasal analiz yapma olanağı sağlayan bir tekniktir. Mikroskoba bağlı olan enerji dağılımlı X-ışınları spektroskopisi ve dalga boyu dağılımlı X-ışınları spektroskopisi yöntemleri yardımıyla yarı kalitatif ve kantitatif elementel analizler yapılabilmektedir (Arıkan 2009).

SEM’ de 100.000x’e varan büyütmelerle harç içeriği tespit edilir. EDAX (Elemental Dispersive Analyses X-Ray Diffraction), Elemental Dispersif Analizli X-Işınları Difraksiyonu ile örneğin bileşenlerinin içindeki kimyasal maddeler yarı nicel olarak belirlenir. EDAX ile harcın mikrosal bünyesi, şekli, kristal yapısı diyagramlar şeklinde görülür. EDAX ile harcın elementsel analizleri yapılır ve SEM’in tamamlayıcısıdır (Kahraman 2008).

Analiz yapılacak numuneler yaklaşık 10 mm kenarlı küp şeklinde en az bir yüzeyi düzgün olacak şekilde hazırlanmıştır. Numuneler 70°C ‘lik etüvde nemi uzaklaştırılmış ve altın kaplanmıştır. Numunenin altın kaplanması görüntü alınmasını kolaylaştırmak amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Yetem-Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır (Şekil 3.52). FEI Quanta 250 FEG marka elektron mikroskopu kullanılmıştır. EDAX (Elemental Dispersive Analyses X-Ray Diffraction), Elemental Dispersif Analizli X-Işınları Difraksiyonu ile numunelerin bileşenlerinin içindeki kimyasal maddeler yarı nicel olarak belirlenir. EDAX ile malzemelerin mikrosal bünyesi, şekli, kristal yapısı diyagramlar şeklinde görülür. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve EDX ünitesi ile harç numuneleri (bağlayıcı kısmından) ve tuğla numuneleri incelenmiştir.



Şekil 3. 52. SEM/EDX analizi

X-ışınları difraksiyonu (XRD)

Harç içindeki malzemelerin farklı kristal kırılma ve yansıma indekslerine sahip olması ile bağlayıcılar (kireç, alçı ve hidrolik bileşenler) ve agregalar (silis, kalker ve diğer agregalar), puzolanlar, X-Ray kırılma analizleri (XRD) ile belirlenir. XRD agrega içindeki karbonatla, bağlayıcı içindeki karbonatı ayırmaz. Sadece farklı kristal aşamaların piklerini verir. XRD analizi agreganın mineralojisiyle ilgili bilgi verirken, litolojisiyle ilgili bilgi vermez, bunu petrografik analiz verir. Bu analiz kristal yapıları olan malzemelerin tespit edilmesini sağlayan bir analizdir (Kahraman 2008).

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Yetem-Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır (Şekil 3.53). Numuneler öğütülerek tane boyutu $63\mu\text{m}$ 'nin altında olacak şekilde toz haline getirilmiştir. Tozlar üzerinde XRD analizi, Bruker D8 Advance Twin Twin marka cihazla Cu-K α radyasyonu ile 2θ 5-70 açı aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.53. XRD analizi

Termal Analizler

Termogravimetrik analiz (TGA) tekniğinde, uygulanan kontrollü sıcaklık programı altında malzemede hangi sıcaklık aralıklarında kütle değişimi gerçekleştiği belirlenebilir. Bu teknik yardımıyla malzemedeki kütle değişiminin sıcaklığa veya zamana bağlı grafiği elde edilir (Arıkan 2009). DTA tekniğinde ise düzgün olarak yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılan bir maddede meydana gelen termik reaksiyonların derecesi, böyle reaksiyonların büyüklüğü ve genel karakterini tayin edilir.

Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır (Şekil 3.54). Bu analiz PerkinElmer/STA 8000 cihazı ile 30 °C ile 1100 °C sıcaklık aralığında ve 10 °C/dk tarama hızı ile yapılmıştır.



Şekil 3.54. TG/DTA analizi

3.2.5. Mekanik Analizler

Malzemenin mekanik özelliklerini, dış kuvvetlerin etkisi ile malzemede oluşan şekil değişiklikleri ve malzemenin bu etkilere gösterdiği dayanma gücü belirler.

Tuğlalardan istenilen ebatlarda düzgün numune alınabilir fakat harçlar zayıflamış oldukları için düzgün numune alımı mümkün olmayabilir. Bu durum harçlarda düzgün numune gerektiren deneylerin yapılmamasına neden olur. Bu çalışmada harç numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için nokta yükleme deneyi, tuğla numunelerinin mekanik özellikleri için ise basınç dayanımı deneyi, çekme dayanımı deneyi, ultrases deneyi gibi deneyler yapılmıştır.

Nokta Yükleme Deneyi

Harç numunelerin tek eksenli basınç dayanımı deneyi için uygun boyutlarda olmaması nedeniyle nokta yükleme (point-load) deneyi yapılmıştır. Standart nokta yükleme aleti; konik başlıklar, yükleme sistemi, gövde, yük göstergesi, deney esnasında konik başlıklar arasındaki uzaklığı ölçen cetvelden oluşur. Örneğin boyutlarını ölçebilmek için kolları yeterli uzunlukta 0.1 mm yaklaşımla ölçüm yapabilen kumpas gereklidir (TS 699, 2009).

Numunenin kırılması için gerekli olan yük göstergeden okunmuştur daha sonra numunenin kırılma yükü, konik başlıkların temas noktalarından geçen numunenin en küçük kesit alanı, numunenin yükleme yönüne dik kalınlığı parametreleri kullanılarak düzeltilmemiş nokta yük indeksi hesaplanmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanım indeksi arasında bir oran vardır. Bu oran dayanım dönüşüm faktörü indeksi (K) ile tanımlanmaktadır. Tarihi yapı harçları üzerinde yapılmış çalışmalarda bu oranın 6-12 arasında değerler aldığı görülmüştür. K değeri için zayıf kayalarda 10,6471 değeri geçerlidir. Bu değerle, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi çarpılarak eşdeğer tek eksenli basınç dayanım değeri bulunmuştur (Oğuz 2013). Ulukaya yapmış olduğu çalışmada harçlar için K değerini 11 olarak önermiştir. K değerini 11 alıp elde edilen sonuçların gerçeğe yakın olduğunu ifade etmiştir (Ulukaya 2016). Bu çalışmada K değeri 11 alınmıştır.

Bu deney Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler MYO İnşaat laboratuvarında bulunan Baz Makina CAS CI-1580A Indicator model cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.55).

$$A = W.D$$

$$De^2 = 4A / \pi$$

$$Is = P / De^2$$

$$Is(50) = F \cdot Is$$

$$F = (De / 50)^{0.45}$$

Is: Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)

P: Kırılma yükü (kN)

De: Eşdeğer karot çapı (mm)

A: Konik başlıkların temas noktalarından geçen numunenin en küçük kesit alanı (mm²)

W: Örneğin yükleme yönüne dik kalınlığı (mm)

D: Yükleme başlıkları arasındaki uzaklık (mm)

Is(50) : Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)

F: Boyut düzeltme faktörü



Şekil 3. 55. Nokta Yükleme Deneyi

Basınç Dayanımı Deneyi

Numuneler deney presinin yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yük uygulanır. Yükleme sabit hızla numune kırılıncaya kadar devam edilir. Kırılmanın gerçekleştiği anda, deney presinin gösterdiği en büyük yük kırılma yükü (P) değerini vermektedir. P değeri aşağıdaki bağıntıda yerine yazılarak numunenin dayanabildiği maksimum basınç dayanımı hesaplanır. Bu deney Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında PCM304 marka cihaz kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.56).

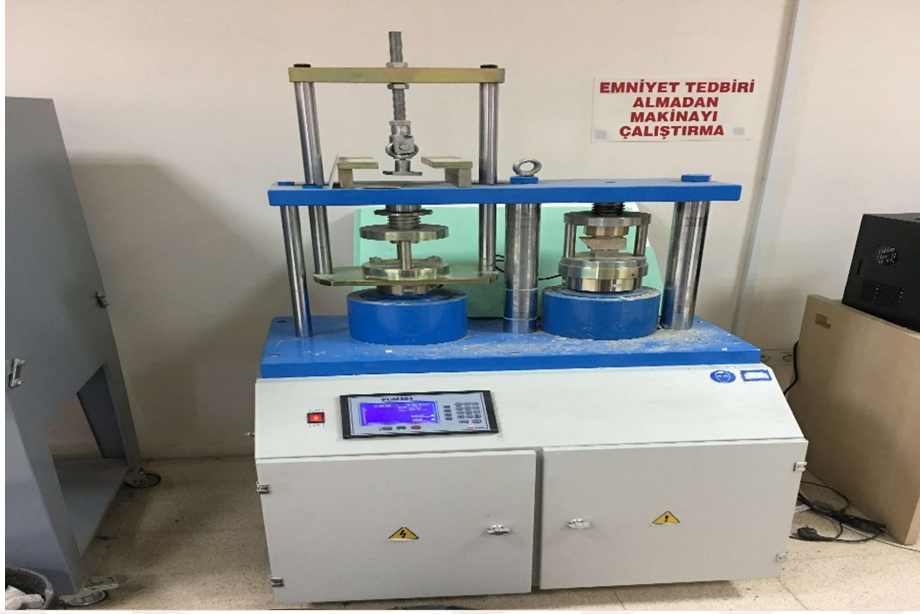
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Bu bağıntıda;

σ : Basınç dayanımı, (MPa)

P: Kırılma yükü, (kN)

A : Yükleme yapıldığı kesit alanı (mm²)'dir.



Şekil 3. 56. Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Malzemede çekme etkisi sonucu meydana gelecek kırılmalara ve şekil değiştirmelere karşı, malzemenin gösterebileceği direnme gücüne çekme dayanımı denilmektedir. Boyutları 40x40x160 mm olarak hazırlanmış tuğla numunelerinin eğilmede çekme dayanımlarını belirlemek için orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile deney yapılmıştır. Numuneler mesnetler arasında ortalanarak yerleştirilmiştir. Kırılmanın olduğu andaki F yükü göstergeden okunmuştur. P yükü, aşağıdaki bağıntıda yerine konularak eğilme dayanımları bulunmuştur. Deney Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında PCM304 marka cihaz kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.57).

$$f = 1,5 \times \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2}$$

Bu bağıntıda;

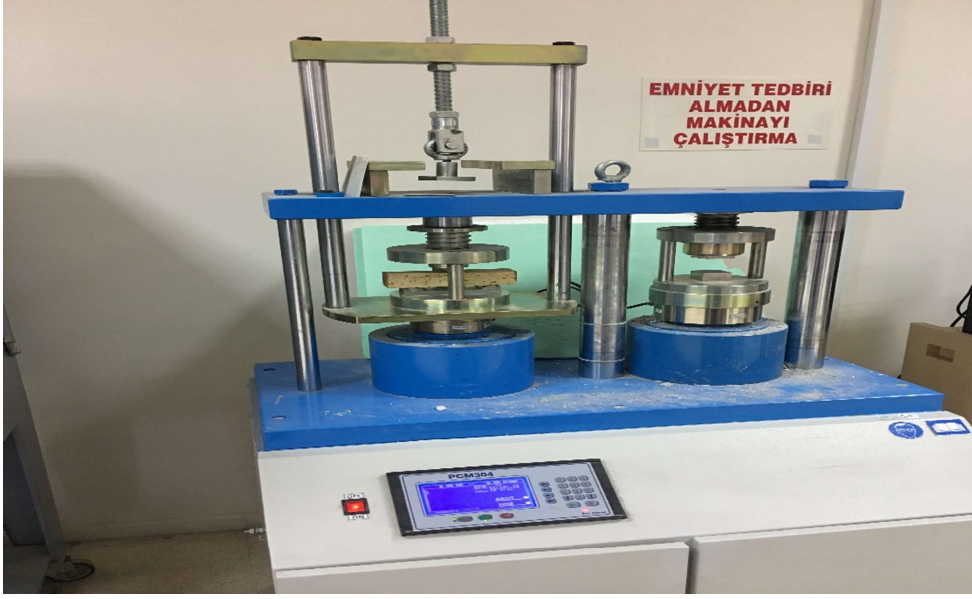
f : Eğilmede çekme dayanımı (MPa)

P : Numuneye uygulanan en büyük yük (kN)

L : Mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b : Numune genişliği (mm)

d : Numune yüksekliği (mm)'dir



Şekil 3. 57. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Ultrases Deneyi

Malzemenin yoğunluğu düşük ya da malzemenin bünyesinde çatlaklar mevcut ise ses geçiş hızı da düşük olur. Ses geçiş hızının yüksek olması, ses geçiş süresini azaltır dolayısıyla sürenin kısa olması malzemenin az boşluklu, yüksek dayanımlı ve kaliteli olduğunu gösterir.

Ultrases deneyi Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik Laboratuvarında yapılmıştır. Ultrases hızlarının belirlenmesi için Proceq Pundit Lab 54 kHz modeli ultrases cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile numunelerin iki ucuna cihazın alıcı ve verici propları yerleştirilerek doğrudan ses geçiş süresi ölçülmüştür (Şekil 3.58). Numunelerin uzunlukları dikkate alınarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla ses geçiş hızları hesaplanmıştır. Yüzeylerde boşluklu yapı istemediği için alıcı ve verici proplar ile malzemenin arasına ince bir katman halinde gres yağı sürülmüştür.

$$V_u = \frac{L}{T}$$

Bu bağıntıda;

V_u = Ultrases hızı (km/sn)

L = Numunenin uzunluğu (mm)

T = Zaman (μ sn)'dır.



Şekil 3. 58. Ultrases Deneyi

Dinamik Elastisite Modülü Tayini

Bir malzemenin dinamik elastisite modülü; birim hacim kütle ve ultrases hızının bilinmesiyle hesaplanır. Ultrases cihazı yardımı ile ölçülen tuğla numunelerinin ultrases hızları ve numunelerin birim hacim kütle değerleri kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla dinamik elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır.

$$E_d = (V_u^2 \times \Delta \times 10^4) / 9.806$$

$$V_u = \text{Ultrases hızı (km/sn)}$$

$$\Delta = \text{Birim hacim kütle (görünen yoğunluk) (gr/cm}^3\text{)}$$

$$E_d = \text{Dinamik elastisite modülü (MPa)}$$

3.2.6. Diğer Analizler

Renk Analizi

Renk analizi için numuneler görsel olarak incelenmiş ve renk ölçümü için birbirinden farklı özelliklere sahip numuneler seçilmiştir. Ölçüm yapılacak olan yüzeyleri yabancı maddelerden temizlenmiştir. Deney Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında MINOLTA CM2500d model spektrofotometre ile yapılmıştır (Şekil 3.59).

Ölçümler yapılırken TS EN 15886 dikkate alınmış, sonuçlar bu standartta belirtilen Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun (CIE) $L^*a^*b^*$ Renk Uzayında değerlendirilmiştir.

$L^*a^*b^*$ Renk Uzayı, CIE XYZ Uzayı' nın matematiksel olarak metrik uzaya dönüştürülmüş şekli olarak tanımlanabilir:

L^* : Açıklık Koordinatını [0 (siyah) – 100 (beyaz) arasında],

a^* : Kırmızı / Yeşil Koordinatını (+a kırmızılığı, -a yeşilliği gösterir),

b^* : Sarı / Mavi Koordinatını (+b* sarılığı, -b* maviliği gösterir) belirtmektedir.

Analizler yapılırken bir bölgeden yapılan ölçüm sonuçları referans kabul edilir. Farklı bölgelerden alınan ölçüm sonuçları ile referans bölge arasındaki fark (ΔE^*) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

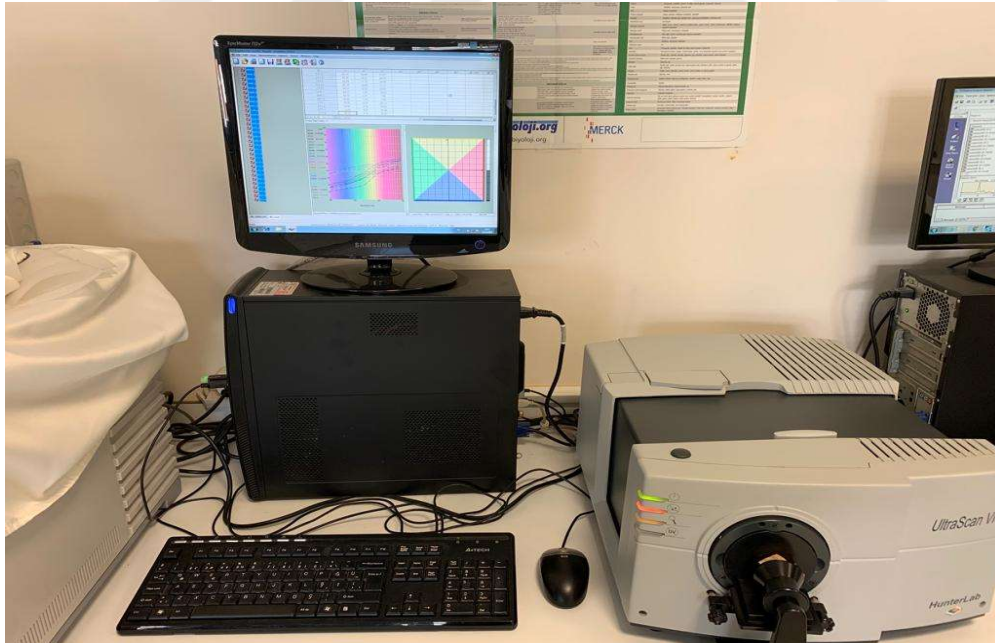
$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Denklemden:

ΔL^* : $L_2^* - L_1^*$, iki ölçüm arasındaki açıklık farkını,

Δa^* : $a_2^* - a_1^*$, iki ölçüm arasındaki kırmızı/yeşil farkını,

Δb^* : $b_2^* - b_1^*$, iki ölçüm arasındaki sarı/mavi farkını ifade etmektedir.



Şekil 3. 59. Renk Analizi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aspendos Antik Kentindeki; Çeşme, Su Kemerli ve Küçük Hamam olmak üzere 3 farklı yapıdan alınan 15 adet harç 15 adet tuğla olmak üzere toplam 30 tane numune üzerinde yapılan deneysel çalışma sonuçları ve benzer çalışmaların kıyaslanması bu bölümde yapılmıştır.

4.1. Makroskobik Gözlemler

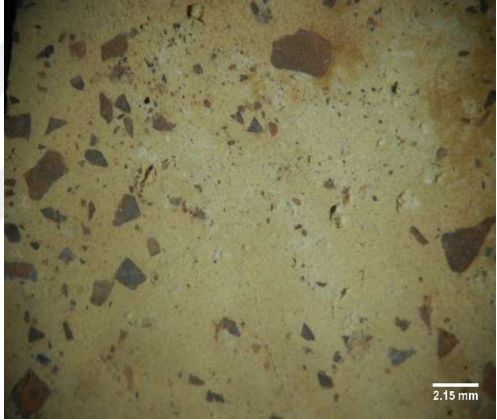
Numunelerin bir yüzeyleri parlatılmış ve mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Numunelerin değerlendirilmesi ve alınan ölçekli görüntüleri gösterilmiştir (Çizelge 4.1). SH3 kodlu harç numune miktarı az olduğu için sadece makroskobik gözlem yapılmış, diğer analizler yapılmamıştır.

Çizelge 4. 1. Tuğla ve harç numunelerinin makroskobik incelenmesi

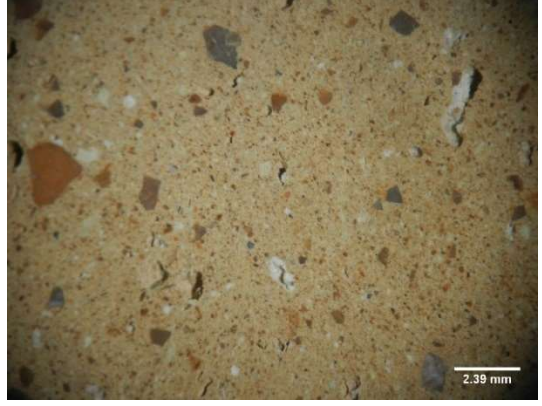
Çizelge 4.1	NUM.	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
	ADI		
	CT1	Açık kahverengi köşeli ve yarı köşeli parçalara sahiptir. Beyaz, siyah, açık kahve kiremit taneleri gözlemlenmiştir. Maksimum 4 mm çapında iri taneler vardır.	
	CH1	Genel görünümü grimsi beyazdır. Maksimum 4 mm çapında iri tane bulunmaktadır.	

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CT2	Genellikle koyu gri taneler içerir. İri tane oranı oldukça düşüktür. Gaz boşlukları azdır.	
CH2	Harç numunesinin içerisinde çoğunlukla gözlemlenen beyaz, gri, krem renkli taneler vardır. Gri renkli harç bileşeni daha baskındır.	
CT3	Açık kahve renklidir. Beyaz, krem, gri ve kırmızımsı kahve rengi taneler bulunmaktadır. Gaz boşlukları oldukça azdır. Bazı bileşenler köşeli, bazıları ise yuvarlaktır. Maksimum 3 mm çapında iri taneler bulunmaktadır.	

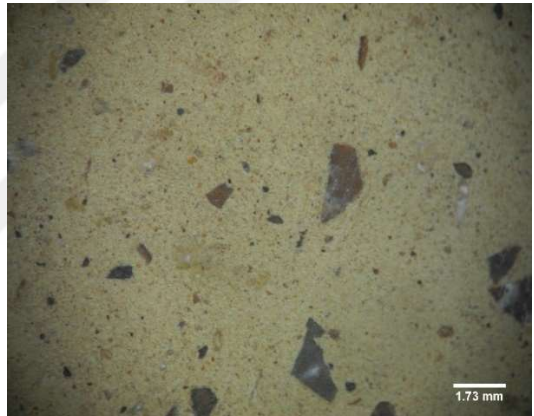
Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CH3	Tane bileşenlerindeki renkler fazladır. Beyaz, gri, koyu sarı, koyu kahve, kırmızımsı-kahverengi ve yeşil taneler mevcuttur.	
ST1	Açık kahve renklidir. Beyaz, gri ve kırmızımsı kahverengi renkli taneler bulunmaktadır. Düzensiz ve iri gaz boşluklarına sahiptir.	
SH1	Yuvarlanmış tanelere sahiptir. Beyaz, krem, yeşil, siyah ve gri tonları tanelerden oluşmaktadır.	

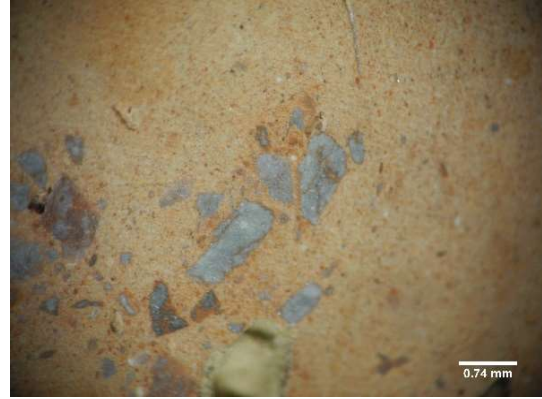
Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
ST2	Açık kahve renklidir. Beyaz, kahverengi ve gri renkli tanelerden oluşmaktadır. Düzensiz ve iri gaz boşlukları vardır.	
SH2	İri ve ince harç bileşenlerine sahiptir. İçerisinde siyah, gri, krem, beyaz ve sarımsı taneler vardır. Tanelerin bazıları köşeli bazıları ise yarı-yuvarlak olarak görünmektedir.	
ST3	Rengi açık kahvedir. Maksimum 1 mm çapında iri taneler bulunmaktadır. Gri ve beyaz bileşenler vardır. ST2 numunesinde olduğu gibi düzensiz ve iri gaz boşlukları vardır.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
SH3	Gri ve boşluklu bir yapıya sahiptir. Bileşenleri içinde siyah, beyaz ve kiremit renginden oluşmaktadır. Taneler belirgin köşeli yapıya sahiptir.	
ST4	Açık kahve renklidir. Gri, beyaz ve kırmızımsı kahverengi renkli taneler bulunmaktadır. Düzensiz gaz boşluklarına vardır.	
SH4	Genellikle ince taneli harç bileşenleri vardır. Taneler, krem, kırmızımsı kahverengi, gri, yeşil, siyah, renkli içeriğe sahiptir.	

Çizelge 4.1'in devamı

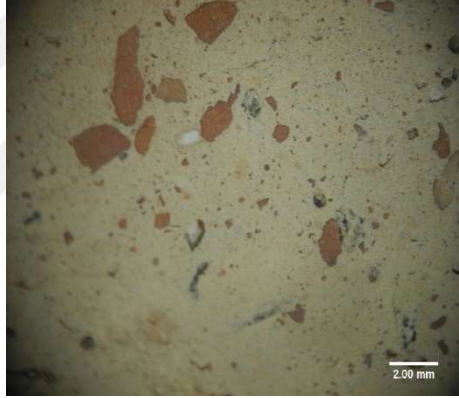
NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
HT1	Genel görünümü grimsi beyazdır. Koyu gri bileşenler içerir. İri tane oranı oldukça düşüktür. Gaz boşlukları fazladır. Maksimum 2 mm çapında iri taneler bulunmaktadır.	
HH1	Bileşenler arasında çok ince taneler gözlenmektedir. Krem rengi ve gri renkler ağırlıktadır. Yarı yuvarlaklaşmış taneler mevcuttur.	
HT2	Açık kahverengidir. Gri köşeli yapıda bileşenleri vardır. Bazı bileşenler köşeli ve uzundur. Gaz boşlukları oldukça azdır.	

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
HH2	Beyaz, koyu gri, bordo renkli taneler mevcuttur. Bu numune boşluklu bir yapıya sahiptir.	
HT3	Rengi açık kahvedir. Genel olarak kiremit rengi ve gri taneler mevcuttur. Bileşenler köşeli yapıya sahiptir. Gaz boşlukları vardır. Maksimum 2 mm çapında iri taneler bulunmaktadır.	
HH3	Beyaz, krem, gri, siyah ve yeşil tanelere sahiptir. Tanelerin belirgin yuvarlak yapısı vardır.	

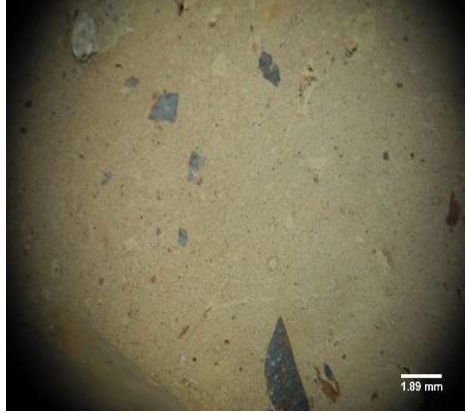
Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
HT4	Açık kahverengine sahip numunede köşeli ve yarı köşeli parçalar mevcuttur. Numunede beyaz, açık kahverengi ve gri renkler bulunmaktadır.	
HH4	İnce harç bileşenlerine sahiptir. Çok bileşenli tanelerden oluşmaktadır. Harcın içerisinde siyah, gri, kahverengi, krem, beyaz, yeşilimsi taneler mevcuttur. Taneler genelde köşeli bazı yerlerde de yarı yuvarlak olarak gözlemlenmiştir.	
HT5	HT3 ile aynı özelliklere sahiptir.	

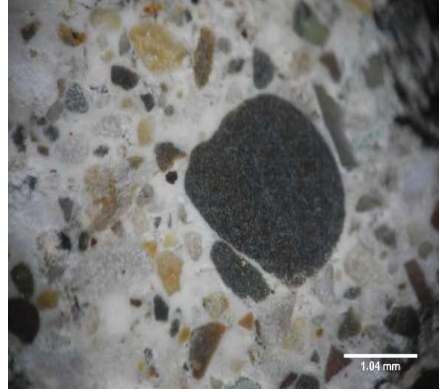
Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
HH5	HH4 numunesi ile benzerlik göstermektedir. Nispeten daha az boşluklara sahiptir. İnce taneli bileşenler daha azdır.	
HT6	Açık kahverengine sahip bu numunede kırmızımsı kahverengi bileşenler yarı yuvarlak ve köşelidir. Gaz boşlukları, gri ve beyaz renkli bileşenler de mevcuttur.	
HH6	Gri, krem ve beyaz taneler gözlemlenmektedir. Yapısındaki boşluklar oldukça azdır.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
HT7	Açık kahverengine sahip bu numune boşluklu bir yapıya sahiptir. Taneler köşeli durumdadır. Gri ve az miktarda beyaz bileşenler mevcuttur.	
HH7	Numunenin genel rengi gridir. Çok bileşenli tanelerden oluşmaktadır. Taneler genel olarak köşeli ve yarı yuvarlak olarak gözlemlenmiştir. Bileşenlerde gri, beyaz, siyah ve nadiren yeşil renkler bulunmaktadır.	
HT8	HT serisine göre daha kırmızımsı kahverengine sahiptir. Gaz boşlukları nadir de olsa mevcuttur.	

Çizelge 4.1'in devamı

HH8	Genel rengi grimsi beyazdır. Numunedeki siyah taneler çok belirgin durumdadır. Beyaz, krem, sarımsı ve yeşil taneler de vardır. Yarı yuvarlaklaşmış ve köşeli tanelerden oluşmaktadır.	
-----	--	--

4.2. Fiziksel Analizler

Tarihi yapılardan alınan harç ve tuğla numuneleri üzerinde; birim hacim kütle (Δ), kütlece su emme oranı (Sk), hacimce su emme oranı (Sh), özgül kütle (δ), porozite (p), kompasite (k) gibi fiziksel deneyler Bölüm 3.2.2'deki yöntemlere göre yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Harç numunelerinin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUMUNE ADI	Δ (gr/cm ³)	Sk (%)	Sh (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	CH1	1,42	27	38	2,78	36	64
2	CH2	1,61	19	31	2,83	43	56
3	CH3	1,59	18	28	2,76	42	58
4	SH1	1,53	21	32	2,53	39	61
5	SH2	1,79	13	23	2,68	33	67
6	SH4	1,76	13	22	2,79	37	63
7	HH1	1,42	22	31	2,64	46	54
8	HH2	1,59	19	30	2,78	43	57
9	HH3	1,8	13	24	2,71	33	67
10	HH4	1,83	13	23	2,64	31	69
11	HH5	1,58	19	30	2,4	34	66

Çizelge 4.2'nin devamı

12	HH6	1,63	16	27	2,65	38	62
13	HH7	1,83	12	23	2,54	28	72
14	HH8	1,81	14	25	2,83	36	63

Harç numunelerinin fiziksel özellikleri incelendiğinde, Çeşme yapısından alınan örneklerin (CH kodlu) birim hacim kütlesi 1,42-1,61 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 18-27, hacimce su emme yüzdesinin % 28-38, özgül kütlesinin 2,76-2,83 gr/cm³ porozitesinin % 36-43, kompasitesinin % 56-64 aralığında olduğu belirlenmiştir.

Su Kemerlerinden alınan numunelerin (SH kodlu) birim hacim kütlesi 1,53-1,69 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 13-21, hacimce su emme yüzdesinin % 22-32, özgül kütlesinin 2,53-2,79 gr/cm³ porozitesinin % 33-39, kompasitesinin % 61-67 aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

Küçük Hamamdan alınan harç örnekleri incelendiğinde (HH kodlu) birim hacim kütlesi 1,42-1,83 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 12-22, hacimce su emme yüzdesinin % 23-31, özgül kütlesinin 2,4-2,83 gr/cm³ porozitesinin % 28-46, kompasitesinin % 54-72 aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

Andriake Limanı'nda bulunan bazı tarihi yapılardan alınan harçların analizlerinde Roma Dönemi harçlarının birim hacim kütlesinin 1,54 - 1,86 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2,50 - 2,63 gr/cm³, kütlece ve hacimce su emme değerlerinin sırasıyla % 14,60- 23,59 ve % 27,11 - 37,77, porozite ve kompasite değerlerinin ise sırasıyla % 29 - 40 ve % 60 - 71 aralığında olduğu ifade edilmiştir. (Oğuz vd. 2015). İstanbul'da yer alan Roma Dönemi saray yapılarında kullanılan tarihi harçların üzerinde yapılan fiziksel deneylere göre harçların porozite değerleri %37-48 arasında, kütlece su emme yüzdesi % 23-33 arasında ve birim hacim kütlesi 1,32-1,61 g/cm³ arasında çıkmıştır (Kahraman Altaş vd 2012). Aspendos Antik Kentindeki Domus, Çeşme Yapısı ve Roma Bazikası'ndan alınan harç numunelerinin fiziksel özellikleri incelendiğinde; birim hacim kütlesinin 1.15-1.83 gr/cm³, porozitesinin % 21-51, kompasitesinin % 49-79 aralığında olduğu bulunmuştur (Işık 2019). Apsidal yapı kalıntısına ait harç örneklerinde özgül kütle ortalamasının 2.5 gr/cm³, Divriği Ulu Cami'ye ait harç örneklerinden alınan numunelerin özgül kütlelerinin ortalamalarının ise 2.6 gr/cm³ olduğu gözlemlenmiştir (Ulukaya 2016). Bu sonuçlar çizelge 4.2'deki sonuçlara benzerlik taşımaktadır.

Çizelge 4. 3. Tuğla numunelerinin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUMUNE ADI	Δ (gr/cm ³)	Sk (%)	Sh (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	CT1	1,72	14	23	2,69	36	64
2	CT2	1,64	17	28	2,72	40	60
3	CT3	1,8	12	21	2,65	32	68

Çizelge 4.3.'ün devamı

4	ST1	1,53	24	36	2,82	46	54
5	ST2	1,58	19	30	2,56	38	62
6	ST3	1,8	7	13	2,78	35	65
7	ST4	1,57	25	40	2,75	43	57
8	HT1	1,73	20	35	2,5	31	69
9	HT2	1,64	16	26	2,71	39	61
10	HT3	1,6	22	36	2,94	46	54
11	HT4	1,84	14	26	2,61	29	71
12	HT5	1,71	16	28	2,75	38	62
13	HT6	1,56	21	33	2,81	44	56
14	HT7	1,58	19	30	2,45	35	65
15	HT8	1,52	22	33	2,6	42	58

Tuğla numunelerinin fiziksel özellikleri ise; Çeşmeden alınan (CT kodlu) örneklerde birim hacim kütlesi 1,64-1,8 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 12-17, hacimce su emme yüzdesinin % 21-28, özgül kütlesinin 2,65-2,72 gr/cm³ porozitesinin % 32-40, kompasitesinin % 60-68 aralığındadır.

Su Kemerlerinden alınan numunelerin (ST kodlu) birim hacim kütlesi 1,53-1,8 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 7-25, hacimce su emme yüzdesinin % 13-40, özgül kütlesinin 2,56-2,82 gr/cm³ porozitesinin % 35-46, kompasitesinin % 54-65 aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

Küçük Hamamdan alınan tuğla örnekleri incelendiğinde (HT Kodlu) birim hacim kütlesi 1,52-1,84 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 14-22, hacimce su emme yüzdesinin % 26-36, özgül kütlesinin 2,45-2,94 gr/cm³ porozitesinin % 31-46, kompasitesinin % 54-71 aralığında olduğu belirlenmiştir.

Radivojevic (2005), yapmış olduğu çalışmasında 4. ve 6. yüzyıl tuğlalarının birim hacim kütleleri 1,78 ile 1,3 gr/cm³ şeklinde saptanmıştır. Andriake Limanından alınan tuğla numunelerinin fiziksel özellikleri göz önüne alındığında birim hacim kütlesinin 1,58-1,86 gr/cm³, özgül kütlesinin 2,45-2,79 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 13,26-21,60, hacimce su emme yüzdesinin % 24,59-34,20, porozitesinin % 26-40, kompasitesinin % 60-74 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Oğuz 2013). Tarihi Kütahya Kalesinden alınan tuğlalarının birim hacim kütlelerinin 1,34-1,51 gr/cm³ arasında değiştiğini, porozite oranlarının % 35,9 – 45,5 arasında olduğu belirlenmiştir (Kurugöl 2010). Divriği Ulu Cami'ye ait tuğla numunelerinin özgül kütleleri ortalama 2.7 gr/cm³, birim hacim kütle ortalama 1.5 gr/cm³, porozitesinin ortalama %45 olduğu gözlemlenmiştir (Ulukaya 2016). Bu sonuçlar çizelge 4.3'teki sonuçlara benzerlik taşımaktadır.

4.3. Kimyasal Analizler

4.3.1. Asit kaybı ve elek analizleri

Harç numuneleri üzerinde asit kaybı analizleri Bölüm 3.2.3’de anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Harç numunelerinde bağlayıcı ve agreganın asit yardımıyla ayrışması neticesinde kalan agrega miktarı göz önünde bulundurularak harçlarda bağlayıcı oranı tespit edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4. Harç numunelerde asit kaybı analizi sonuçları

No	Numune Adı	Asitteki Kayıp Oranı (%)	Bağlayıcı/Agrega (1/x)
1	HH1	65,4	1
2	HH2	56,0	1
3	HH3	24,0	3
4	HH4	58,4	1
5	HH5	47,4	1
6	HH6	63,3	1
7	HH7	54,9	1
8	HH8	58,1	1
9	CH1	54,2	1
10	CH2	54,4	1
11	CH3	46,7	1
12	SH1	56,9	1
13	SH2	55,7	1
14	SH4	55,0	1

Harç numunelerinin büyük bir çoğunluğunda numune yüzdesinin yarısını bağlayıcı oluşturmaktadır. Asitteki kayıp oranı % 46,7 ile %65,4 arasında değişmiştir. Bağlayıcının agregaya oranı genel olarak 1/1 şeklindedir.

Küçük hamamdan alınan numunelerde asitteki kayıp oranı % 47,4-65,4 arasındadır. Bağlayıcı/agrega oranı ise 1/1 ‘dir. İstisna olarak HH3 numunesinde asitteki kayıp %24, bağlayıcı/agrega oranı ise 1/3 olarak hesaplanmıştır.

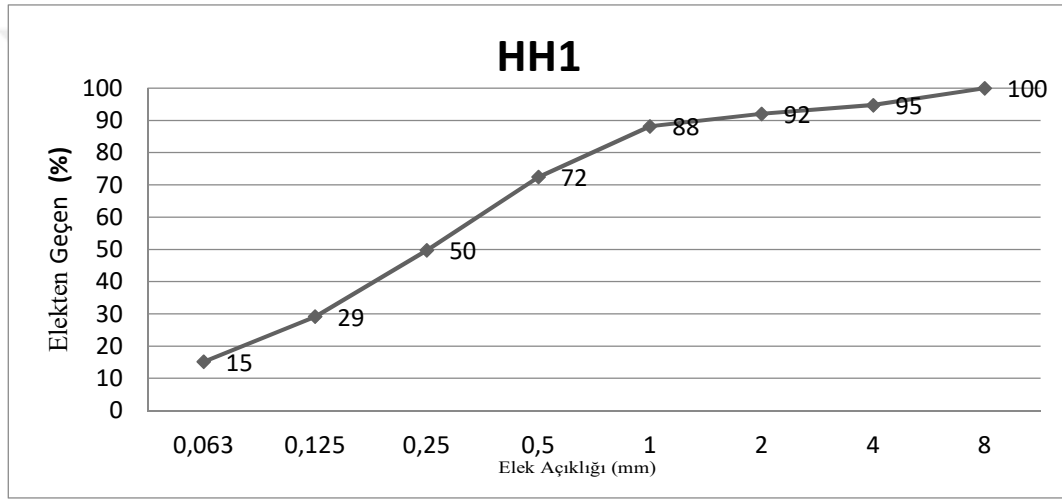
Çeşmeden alınan numunelerde ise asit kaybı oranı % 46,7-54,4 arasında olup bağlayıcı agrega oranı 1/1 olarak bulunmuştur.

Su kemerlerinden alınan numunelerde bağlayıcı yüzdesi % 55-56,9 aralığındadır. Bu numunelerde bağlayıcı/agrega oranının 1/1 olduğu görülmüştür.

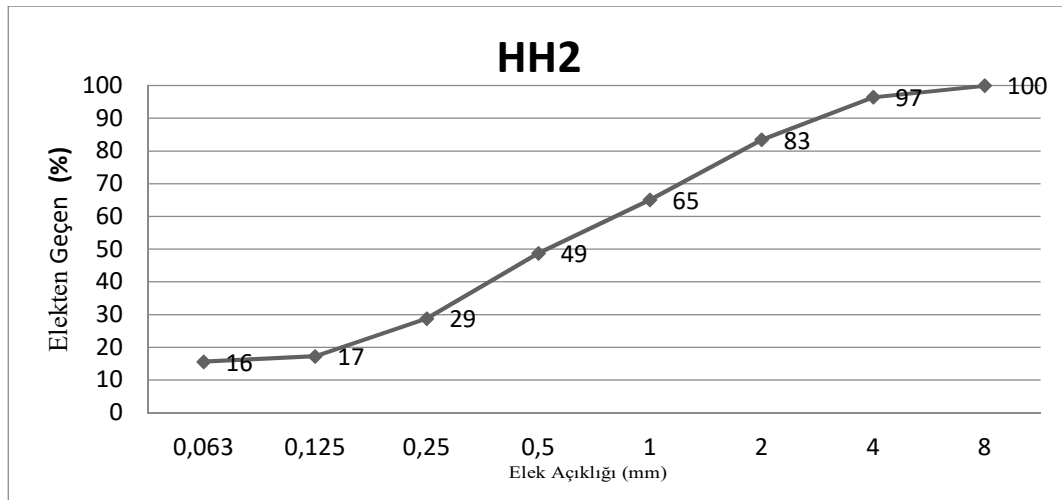
Roma ve erken Bizans Dönemi harçları üzerine yapılan çalışmalar, bu harçlarda kullanılan bağlayıcı/agrega oranının genelde 1/3 olduğunu göstermektedir

(Kahraman 2008). Yunanistan’da bulunan Olynthos antik kentinde kullanılan harç ve taş örneklerini incelemiştir. Çalışmada alınan örneklerde bağlayıcı/agrega oranı 1/2,5 ile 1/3 aralığında tespit edilmiştir (Papayianni and Stefanidou 2007). Aspendos Antik Kentindeki Domus, Çeşme Yapısı ve Roma Bazikası’ndan alınan harç numunelerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda bağlayıcının agregaya oranının genel olarak 1/1 şeklinde olduğu gözlemlenmiştir (Işık 2019).

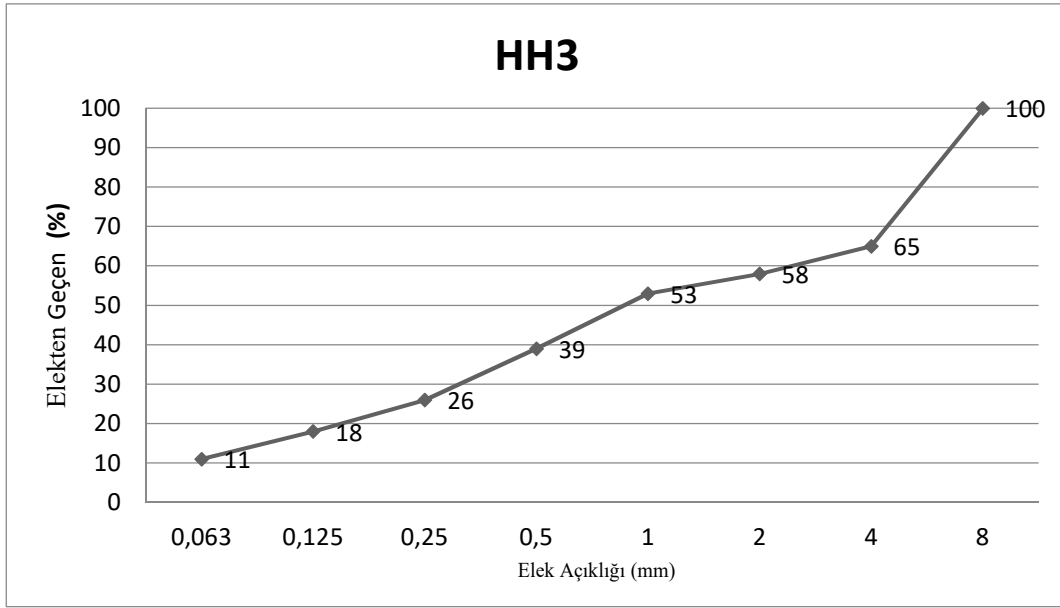
Asittteki kayıp yüzdesi ve bağlayıcı/agrega oranı belirlendikten sonra bölüm 3.2.3’ te belirtildiği şekilde elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde HH4, SH4 numuneleri en büyük agrega boyutu 4 mm, HH6’da 2 mm, CH1, CH2, CH3, SH1, SH2, HH1, HH2, HH3, HH5, HH7, HH8’de 8 mm olduğu gözlemlenmiştir. Elek analizi sonuçları grafik olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil4.1- Şekil4.14).



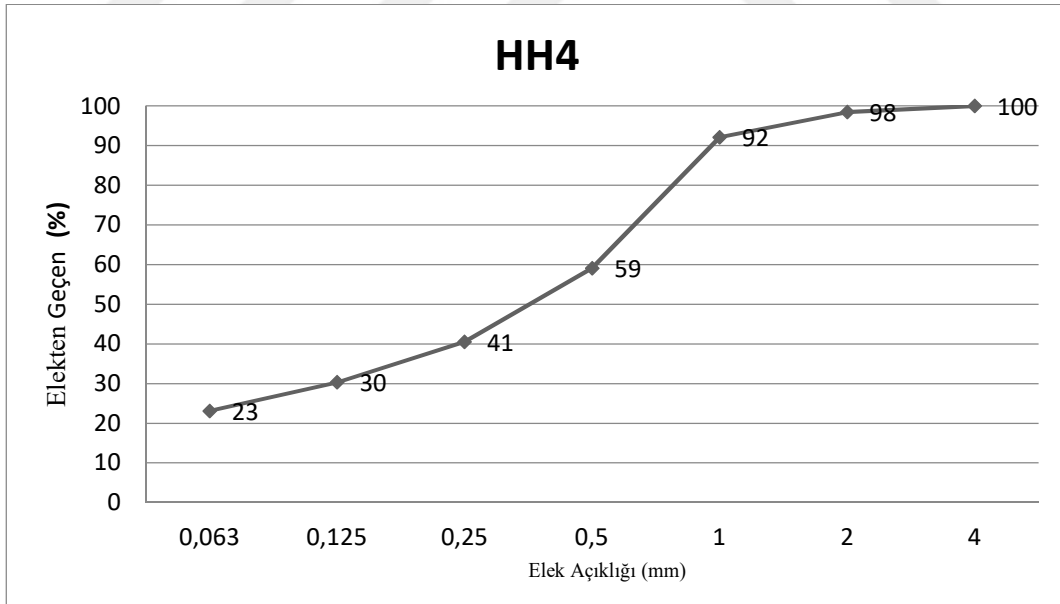
Şekil 4. 1. HH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



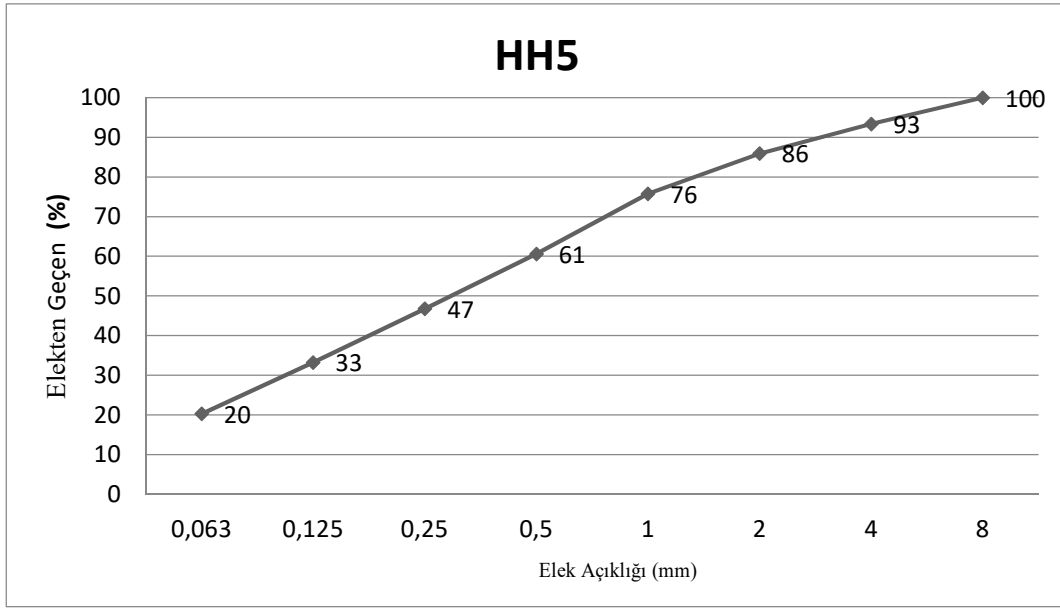
Şekil 4. 2. HH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



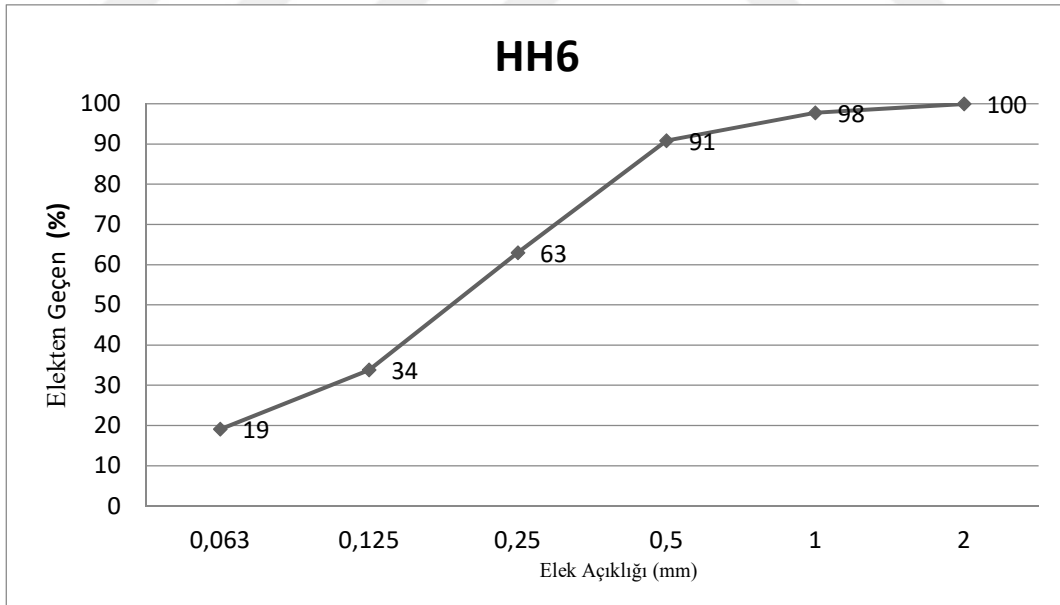
Şekil 4. 3. HH3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



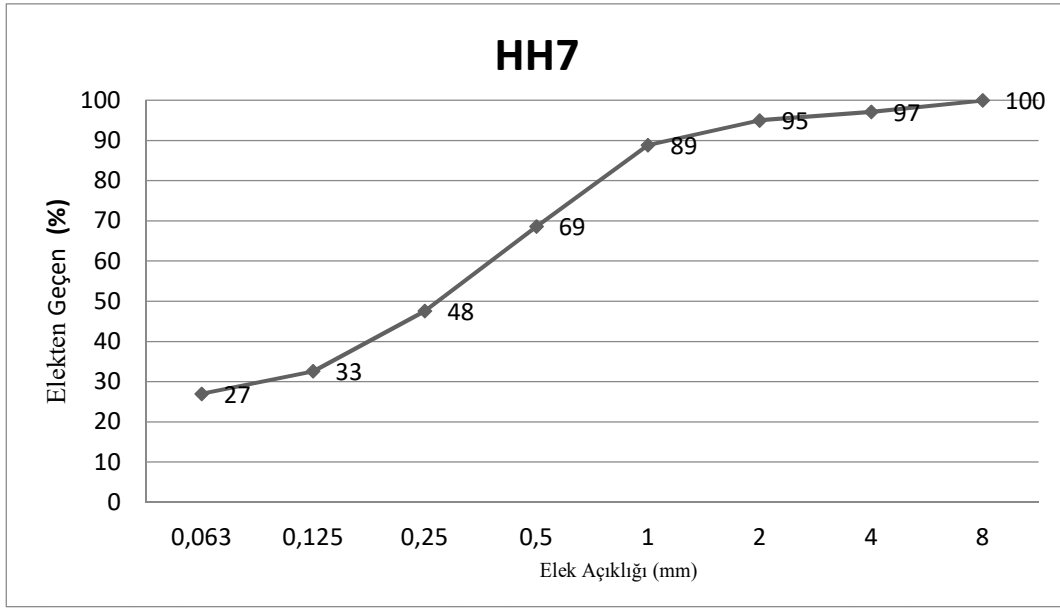
Şekil 4. 4. HH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



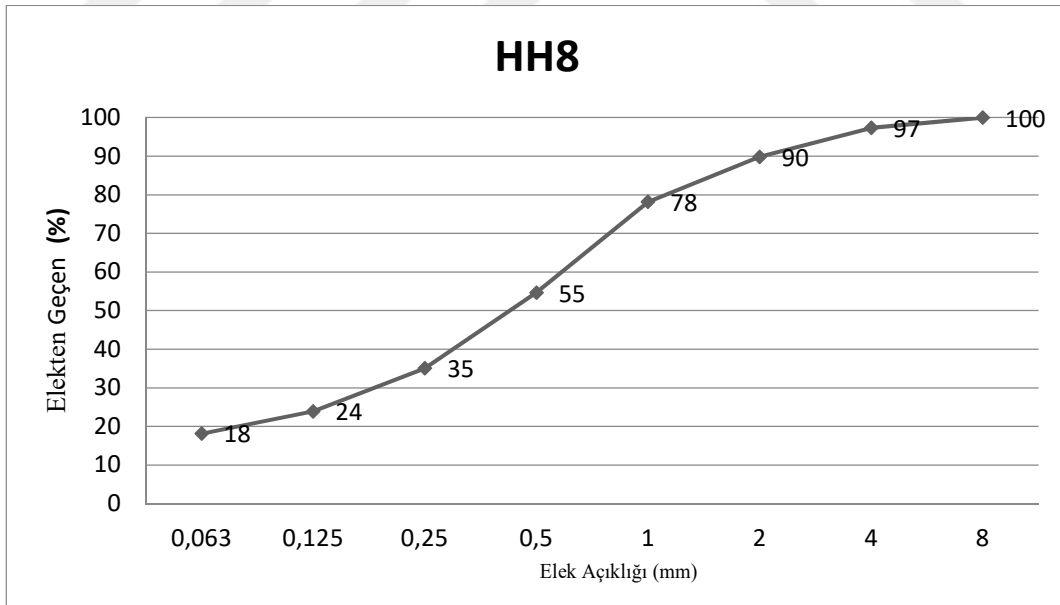
Şekil 4. 5. HH5 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



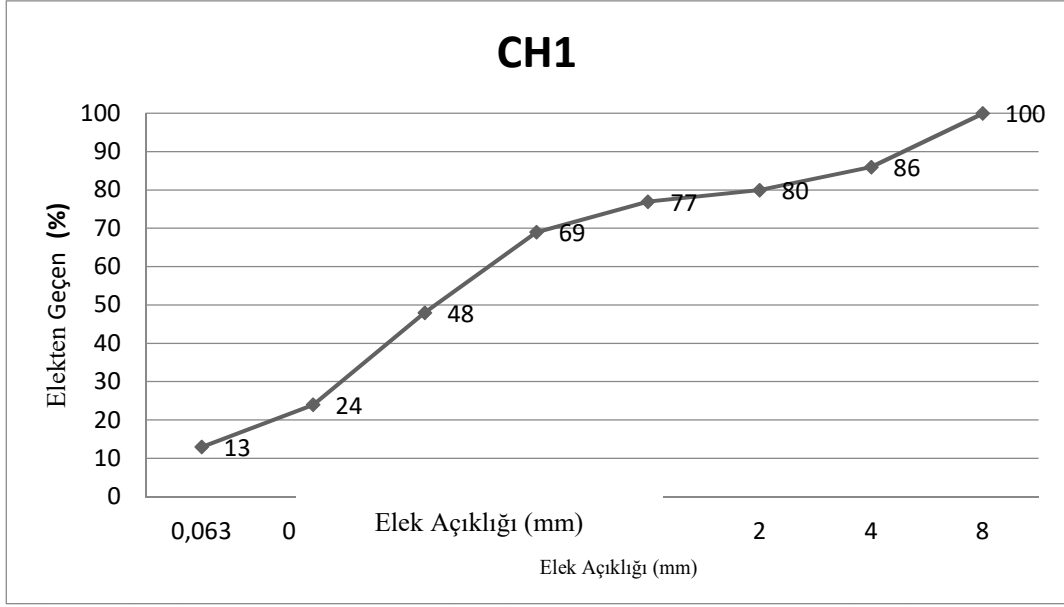
Şekil 4. 6. HH6 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



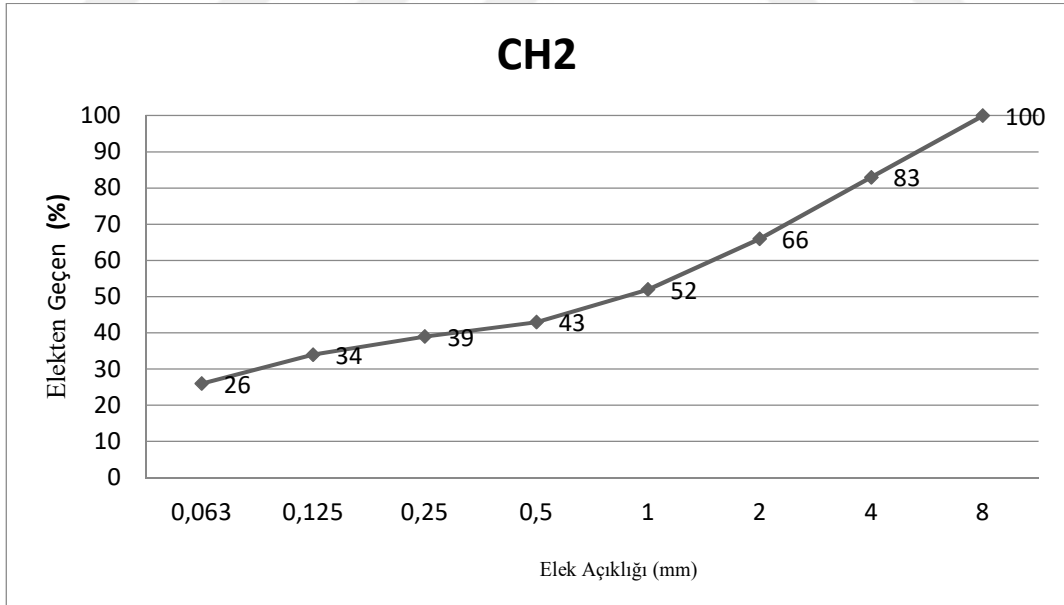
Şekil 4. 7. HH7 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



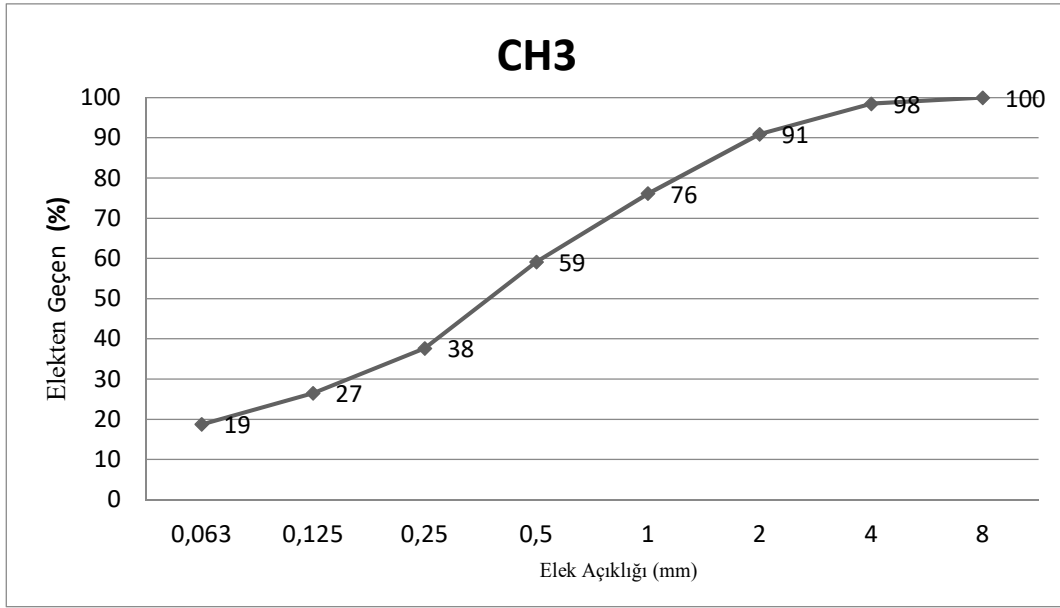
Şekil 4. 8. HH8 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



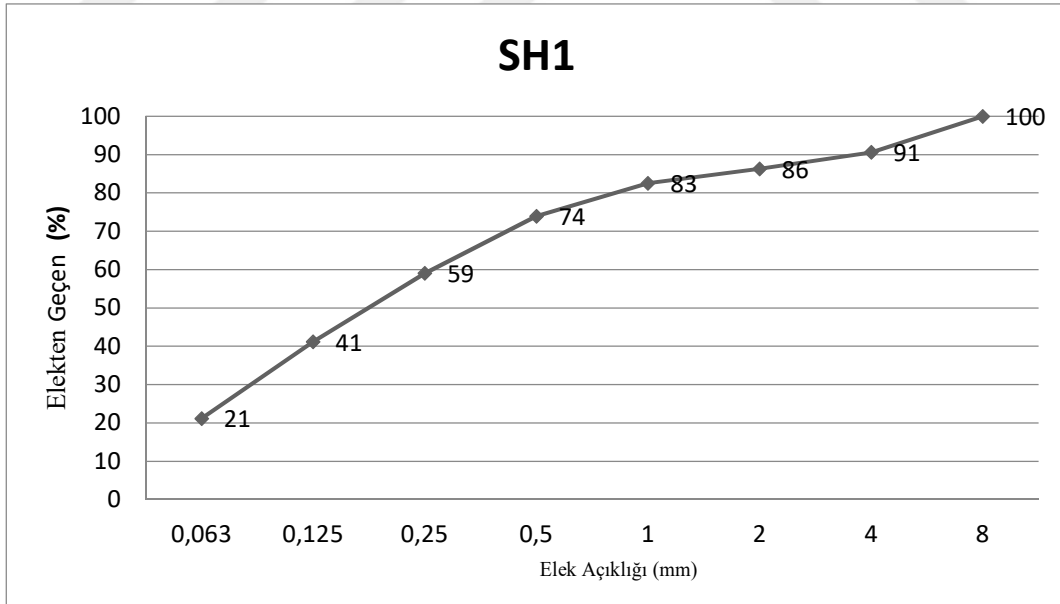
Şekil 4. 9. CH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



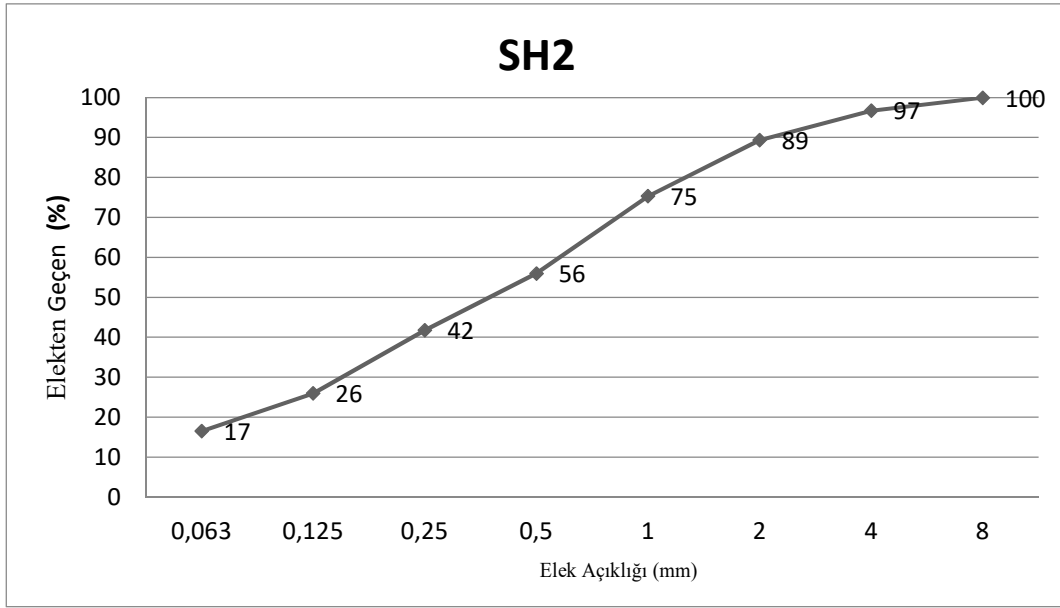
Şekil 4. 10. CH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



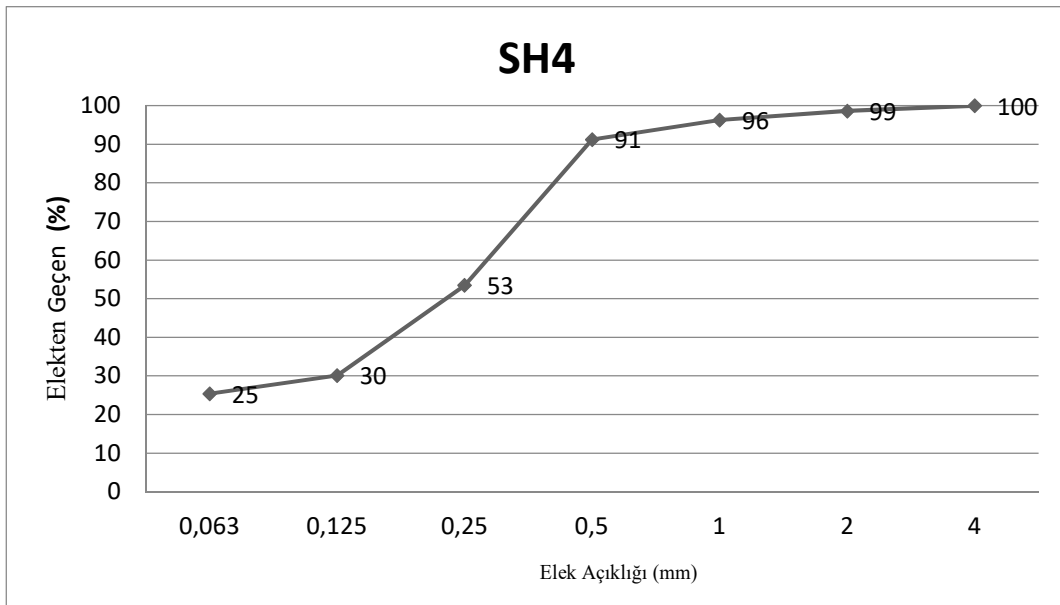
Şekil 4. 11. CH3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



Şekil 4. 12. SH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



Şekil 4. 13. SH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



Şekil 4. 14. SH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları

4.3.2. Tuz analizleri

Malzemelerde bozulmalara sebep olan tuzların numuneler içerisindeki varlıklarının belirlenebilmesi için klorür, nitrat, sülfat ve karbonat iyonları tespitlerini kapsayan tuz analizleri yapılmıştır. Tuz analizi Bölüm 3.2.3.'de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Harç numunelerinde yapılan analiz sonuçları numune içerisinde var olan tuzun miktarı hakkında da bilgi vermesi amacıyla göreceli bir şekilde değerlendirilmiştir. Sonuçlar “+” ve “-” olarak Çizelge 4.5’de verilmiştir. “+” sayısının fazlalığı numune içerisindeki tuz miktarının diğerlerinden daha fazla olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4. 5. Harç numunelerinin tuz analizleri sonuçları

NUMUNE ADI	NUMUNE TİPİ	Klorür Cl ⁻	Sülfat SO ₄ ⁻²	Karbonat CO ₃ ⁻²	Nitrat NO ₃ ⁻
CH1	Harç	+	-	-	-
CH2	Harç	+	+	+	-
CH3	Harç	+++	-	+	-
SH1	Harç	+++	+	+	++
SH2	Harç	+++	+	+	-
SH4	Harç	++	-	+	-
HH1	Harç	+++	-	-	-
HH2	Harç	-	-	-	-
HH3	Harç	++	-	-	+
HH4	Harç	-	-	-	-
HH5	Harç	+	-	-	-
HH6	Harç	-	-	-	-
HH7	Harç	+	-	-	+++
HH8	Harç	++	-	-	+++

Dış etkilere maruz kalabilecek konumda bulunan harç örneklerinde tuz iyonları varlığına rastlandığı gözlemlenmiştir. Harç numunelerinde yapılan tuz analizlerinin sonuçları incelendiğinde SH1 numunesinde tüm tuzların varlığı tespit edilmiştir. Klor, sülfat ve karbonat tuzlarının varlığı CH2 ve SH2 kodlu numunelerde gözlemlenmiştir. CH3 ve SH4 kodlu numunelerde klor ve karbonat varlığı, HH1’de daha fazla olmak üzere CH1 ve HH5’te klorür tuzu tespit edilmiştir. Nitrat ve klorür tuzları ise HH3 ve HH8 kodlu numunede klorür miktarı daha fazla, HH7 ve HH8 numunelerinde ise nitrat tuzunun miktarı diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. HH2, HH4, HH6 numunelerinde ise tuz varlığına rastlanmamıştır.

Klor varlığı numunelerin yapılarıdaki konumları dikkate alındığında yağmur sularından ve kentin döneminde liman kenti olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aktif tarımın varlığıyla oluşan tarımsal atıklardan ve atmosferik kirlilikten dolayı sülfat ve karbonat varlığı gözlemlendiği düşünülmektedir. Nitrat varlığının ise bölgede tarımsal atıklar nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir.

4.3.3. İletkenlik, pH, protein ve yağ analizleri:

Harç numunelerinde puzolanik aktivite deneyi elektriksel iletkenliklerinin ölçülmesiyle bulunmuştur. İletkenlikler arasındaki fark 1,2 mS/cm'den büyük ise harç iyi puzolan, 0,4-1,2 mS/cm arasında ise puzolan, 0,4 mS/cm'den küçük ise puzolan olmadığını göstermektedir. Protein ve yağ analizleri yardımıyla numunelerin içerisinde var olan organik maddeler tespit edilebilmektedirler. Protein ve yağ analizi tuz analizinde olduğu gibi gözleme dayalı yapılmıştır.

Çizelge 4. 6. Harç numunelerin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri sonuçları

NUMUNE ADI	Numune Tipi	iletken lik (mS/c m)	PH	Protein	Yağ
CH1	Harç	0,21	8,63	-	-
CH2	Harç	0,27	8,62	+++	-
CH3	Harç	0,30	8,50	-	-
SH1	Harç	0,46	8,37	-	+++
SH2	Harç	0,53	8,37	+++	+
SH4	Harç	0,38	8,44	+++	+++
HH1	Harç	0,42	8,45	-	-
HH2	Harç	0,18	8,30	+++	+++
HH3	Harç	0,19	8,29	-	-
HH4	Harç	0,74	8,42	+++	-
HH5	Harç	0,74	7,73	+++	-
HH6	Harç	0,45	8,40	+++	+++
HH7	Harç	0,52	8,13	-	+++
HH8	Harç	0,35	8,52	-	-

Çeşme yapısından alınan 3 adet harç numunesinden sadece CH2 kodlu numunede protein varlığı gözlemlenmiştir. Su kemerlerinden alınan 3 adet numuneden, 2 numunede (%66) protein, 3 numunede (%100) yağ tespit edilmiştir. Küçük hamamdan alınan 8 numuneden ise 4 numunede(%50) protein, 3 numunede (%37) yağ varlığı gözlemlenmiştir.

Malzemelerin asidik veya bazik olduğunu belirlemek için pH değeri ölçülmüştür. Kirecin kuvvetli baz olması sebebiyle harç numunelerinin zayıf baz özelliği taşıması beklenmektedir. Yukarıdaki çizelgeye göre harç numunelerinin pH değerleri 7.73-8.63 arasında olduğu belirlenmiştir. Alınan 14 harç numunesinde 7 tanesi (%50) puzolan özellik taşımaktadır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7. Tuğla numunelerinin iletkenlik, pH analiz sonuçları

NUMUNE ADI	Numune Tipi	iletkenlik (mS/cm)	PH
CT1	Tuğla	0,36	8,25
CT2	Tuğla	0,17	8,55
CT3	Tuğla	0,62	8,64
ST1	Tuğla	0,30	8,20
ST2	Tuğla	0,75	8,55
ST3	Tuğla	0,80	8,56
ST4	Tuğla	0,46	8,42
HT1	Tuğla	0,36	8,50
HT2	Tuğla	0,41	8,51
HT3	Tuğla	0,23	8,65
HT4	Tuğla	1,19	8,46
HT5	Tuğla	0,91	8,53
HT6	Tuğla	0,47	8,55
HT7	Tuğla	0,17	8,38
HT8	Tuğla	0,66	8,39

Tuğla numunelerinden alınan 15 örnekte 9 numunede ölçülen iletkenlik değerleri arasındaki fark 0.4-1.2 mS/cm arasında çıkmıştır. Bu da 9 numunenin (%60) puzolanik özellik taşıdığını gösterir. Diğer 6 numunede (%40) ise iletkenlik değeri arasındaki fark 0.4 mS/cm'den küçük olduğu için puzolan özellik taşımadıkları gözlemlenmiştir. Tuğla numunelerinde Ph değerleri 8,20-8,65 arasında ölçülmüştür (Çizelge 4.7).

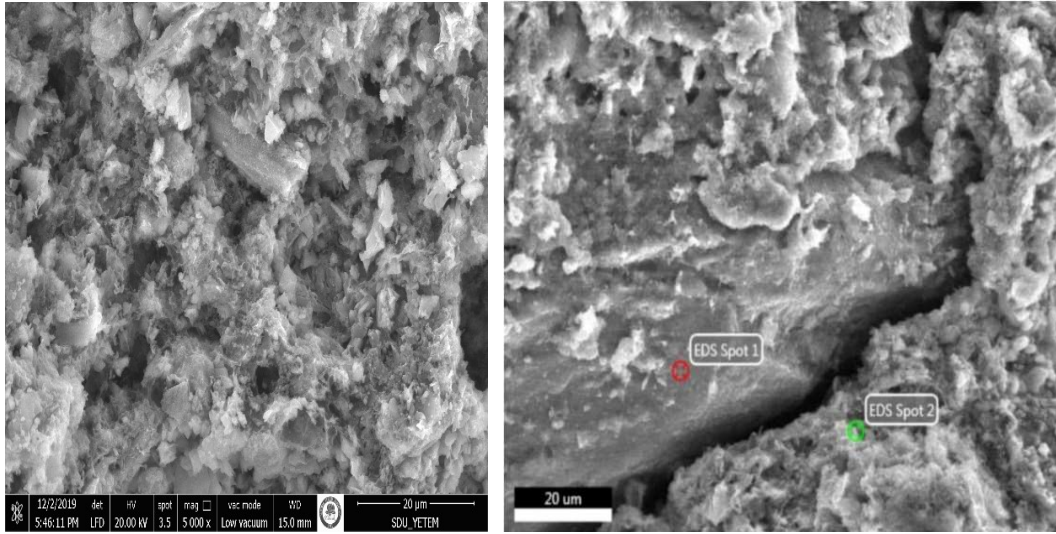
4.4. Mikro Yapı Analizleri

Numunelerin morfolojisi, boşluk yapıları, agrega-bağlayıcı durumları, mineralojisi ve kristal yapısı gibi özelliklerini belirlemek için SEM/EDX ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. TG/DTA analizleri sayesinde, harçların hidrolik özellikleri, kristalleşme ve camsılaşma durumları hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

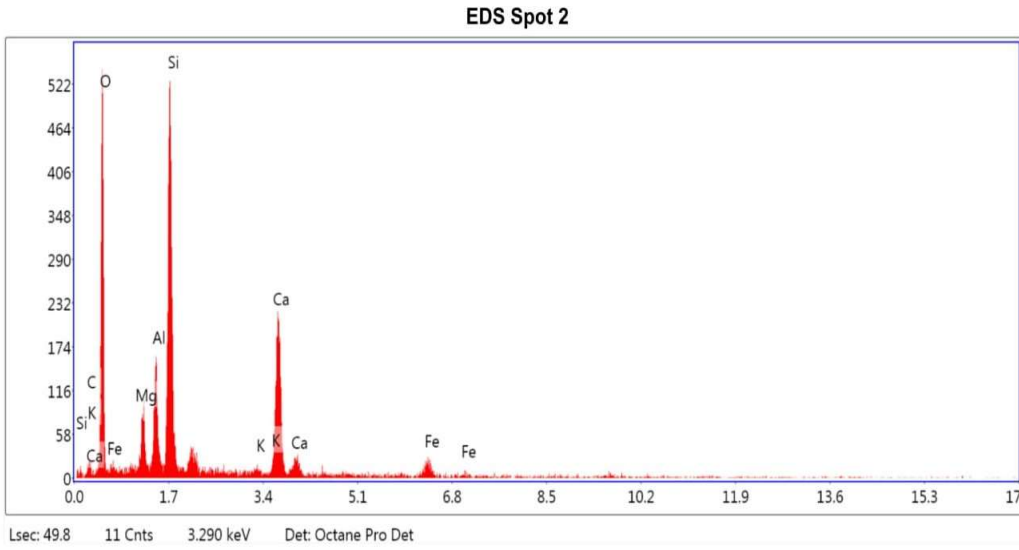
4.4.1. SEM/EDX analizi

Harç ve tuğladan oluşan toplam 30 adet numuneden fiziksel ve kimyasal özellikleri ele alınarak bu 30 numuneyi temsil edecek 12 adet numune seçilmiştir. SEM/EDX analizleri Bölüm 3.2.4'de anlatıldığı şekliyle yapılmıştır. Deney yapılırken tuğladan ve harç numunelerinde bağlayıcı kısım ele alınarak değerlendirilmiş sonuçlar Ek-2'de sunulmuştur. Bu bölümde ise tuğla ve harç sonuçlarından birer örnek alınarak gösterilmiştir (Şekil 4.15-Şekil 4.17).

CT1 Tuğla Numunesi :



Şekil 4. 15. CT1 tuğla SEM görüntüleri



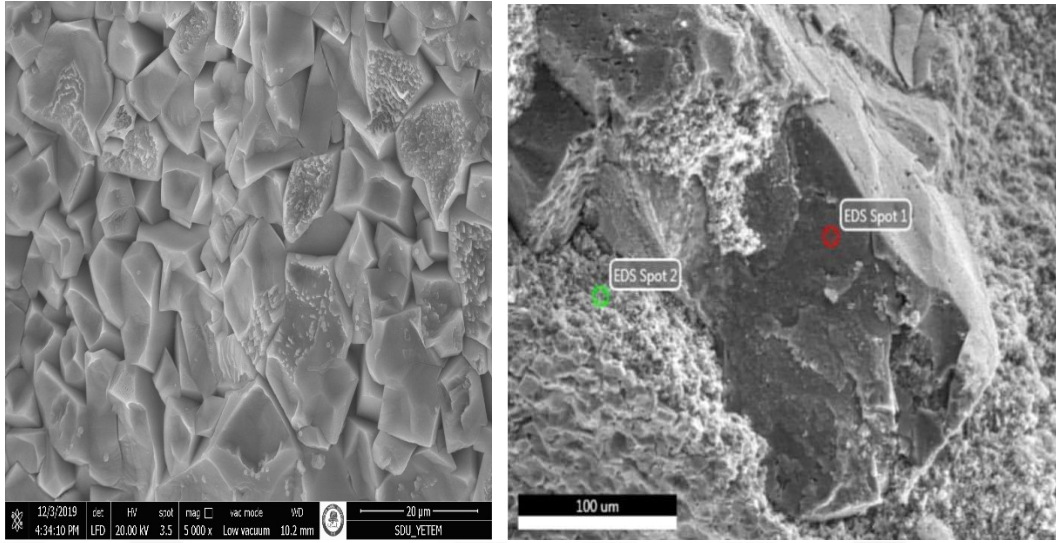
Şekil 4. 16. CT1 tuğla EDX analizi sonuçları

Çizelge 4.8. CT1 tuğla EDX analizi sonuçları

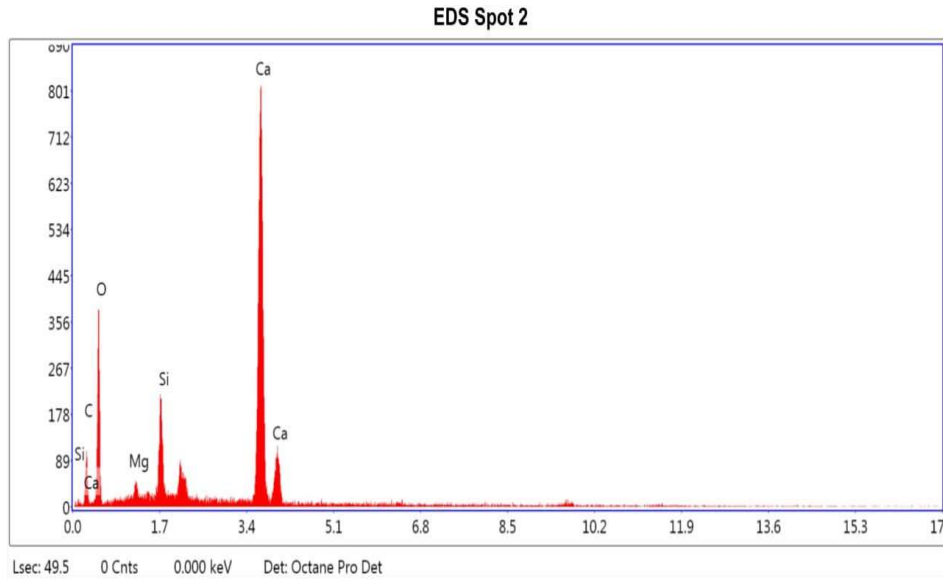
Element	C	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	O
Wt %	5.00	3.98	5.90	19.99	0.46	16.53	4.45	43.69

Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	6.61	11.16	42.86	0.56	23.18	6.38

HH4 Harç Numunesi :



Şekil 4. 17. HH4 harcı SEM görüntüleri



Şekil 4. 18. HH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Çizelge 4.9. HH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Element	C	O	Mg	Si	Ca
Wt %	7.82	50.20	1.41	4.55	36.01

CT1 tuğla numunesinin SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, alüminyum, kalsiyum, demir; düşük oranlarda magnezyum ve potasyum içerdiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.16, Çizelge 4.8). Tuğlalardan alınan numunelerin yapılan EDX analizinde; alınan numunelerde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum,

alüminyum, demir; düşük oranlarda sodyum, magnezyum, potasyum içerdiği tespit edilmiştir. Tuğlaların yüksek oranda demir içerdiği belirlenmiştir. Tuğlaların üretiminde kullanılan düşük miktarda demir oksit içeren kilin, daha fazla kullanılarak üretildiği ile açıklanabilir. Küçük Hamamdan alınan HT4 numunesinde kalsiyum oranı çok yüksek kil kullanıldığı tespit edilmiştir. HT4, ST4, CT3 numunelerinin yüksek oranda demir içerdiği görülmektedir.

HH4 harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda kalsiyum; düşük silisyum ve magnezyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.18, Çizelge 4.9). SEM/EDX analizlerinde numunelerin kalsiyum oranlarının yüksek olması harçların içeriğinde saf kirecin kullanıldığını göstermektedir. Yüksek oranda kalsiyum varlığı CH3, SH1, SH4, HH1, HH8 numunelerinde de görülmektedir.

SEM/EDX analizlerinde karbon elementlerinin gözlemlenmesi, numunelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için harca katılan organik katkıların kullanıldığının göstermektedir (Genestar ve Pons 2003). Birçok numunede protein ve yağ varlığı da bunu ispat etmektedir.

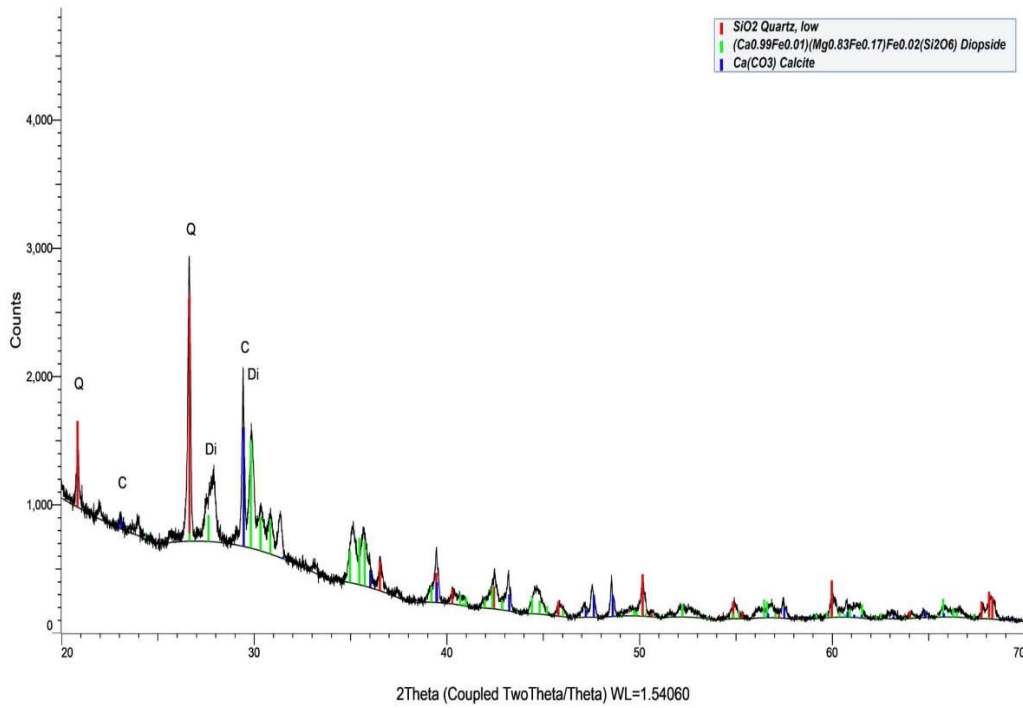
4.4.2. XRD analizi

Bu bölümde seçilmiş 12 numune üzerinde XRD analizleri Bölüm 3.2.4’de anlatıldığı şekilde yapılmıştır. Ayrıntılı deney sonuçları Ek-3’de verilmiştir. Bu bölümde tuğla ve harç numune sonuçlarından birer örnek alınarak yorumlanmıştır (Şekil 4.19-Şekil 4.20).

XRD analiz sonuçlarında bütün tuğla numunelerinde kuvars, çeşitli feldispatlar ve kalsit mineralleri gözlemlenmektedir. Kalsit (CaCO_3) piklerinin hemen hemen her numunede tespit edilmiş olması, tuğlaların 750-900 °C’ler arasındaki sıcaklıklarda pişirildiklerini düşünmemize yardımcı olmaktadır (Lopez-Arce ve Garcia-Guinea 2005).

CH4, SH1, SH4, HH1, HH4, HH8 kodlu harç numunelerinin kalsit ve kuvars içerdikleri belirlenmiştir. Kuvars minerali kullanılan agregalarının genellikle silisyum mineralini içerdiğini, kalsit minerali bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Tuğla numunelerinde mullit ve kristobalit gibi minerallerine rastlanmamış tuğlaların pişirilme sıcaklıklarının 900°C’yi geçmediğini göstermektedir. Hematitin varlığı ise tuğlaların 850°C civarında pişirildiklerini işaret etmektedir. Ortamda hematit mineralinin varlığı ve kalsiyumca zengin fazların (anortit, gehlenit, diopsit) bulunmayışı, tuğla numunenin yine 850°C’nin altında pişirildiğini gösterir (Lopez-Arce ve Garcia-Guinea 2005). Kalsiyumca zengin fazların bulunmayışı HT8, HT4, ST1, CT1 kodlu tuğla numunelerinin 850°C’nin altında pişirildiğini göstermektedir. CT3 kodlu numunede gehlenit varlığı gözlemlenmektedir bu da pişirilme sıcaklığının diğer tuğla numunelerine göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

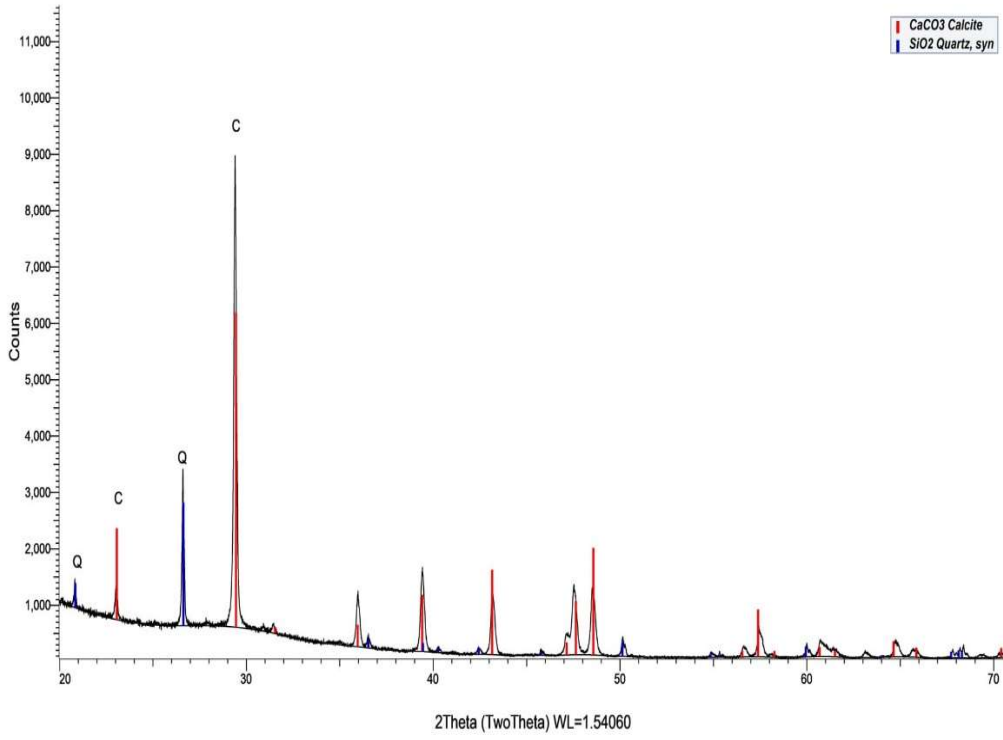
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
Red	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.91300	4.91300	5.40500	3
Blue	01-085-1108	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98030	4.98030	17.01870	6
Green	01-077-5197	Diopside	(Ca _{0.99} Fe _{0.01})(Mg _{0.83} Fe _{0.17})Fe _{0.02} (Si ₂ O ₆)	Monoclinic	9.74470	8.90620	5.26730	4

Şekil 4. 19. ST4 tuğla XRD analizi sonuçları

Commander Sample ID (TwoTheta)

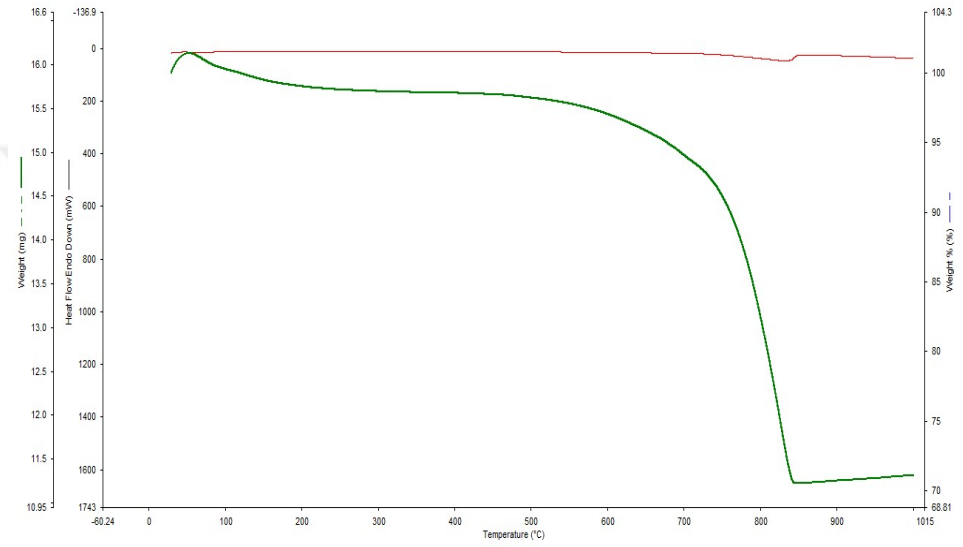


Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	00-024-0027	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H .axes	4.99000	4.99000	17.00200	6
	01-079-1910	Quartz, syn	SiO ₂	Hexagonal	4.91400	4.91400	5.40600	3

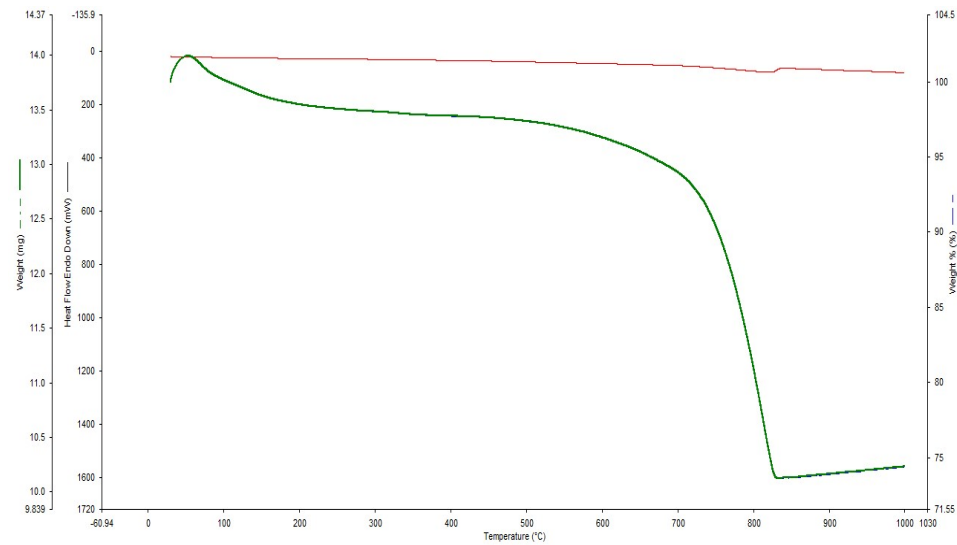
Şekil 4. 20. CH3 harcı XRD analizi sonuçları

4.4.3. Termal analizler

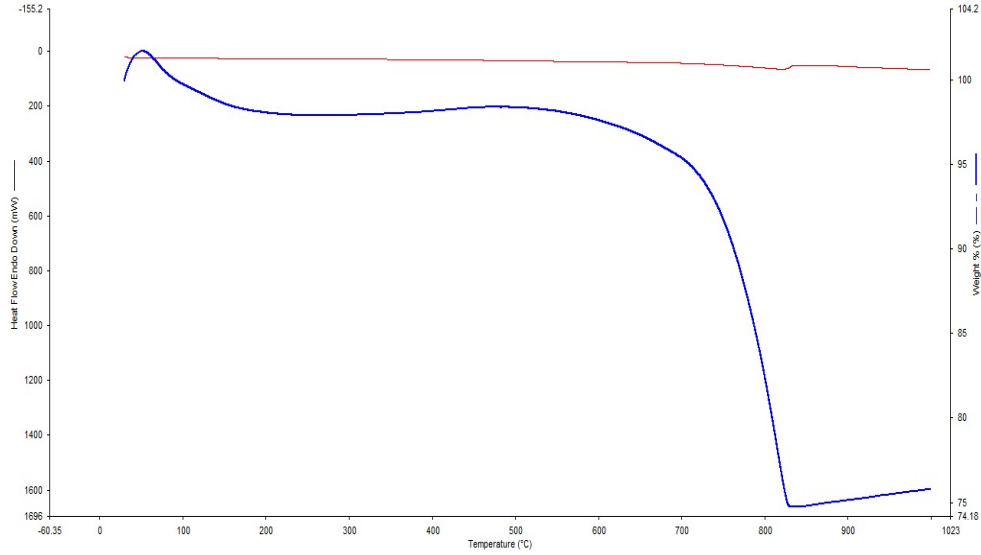
6 adet numune üzerinde yapılan TG/DTA analizleri sonucunda belirli sıcaklık aralıklarında gerçekleşen kütle kayıpları Çizelge 4.10’da belirlenmiştir. Numuneler 1100°C ‘ye kadar ısıtılarak oluşan termik reaksiyonlar endotermik (dışarıdan ısı alan) ve ekzotermik (dışarıya ısı veren) pikleri birlikte değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23). Bu bölümde Çeşme, Su Kemerı ve Küçük Hamamdan alınan numunelerinden birer örnekle değerlendirme yapılmıştır. Ayrıntılı analiz sonuçları Ek-4’de verilmiştir.



Şekil 4. 21. CH3 numunesi TG/DTA sonuçları



Şekil 4. 22. HH1 numunesi TG/DTA sonuçları



Şekil 4. 23. SH4 numunesi TG/DTA sonuçları

Çizelge 4. 10. Numunelerin TGA/DTA analiz sonuçları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE AĞIRLIĞI (W ₀)	200 °C (A)	600 °C (B)	900 °C (C)	H ₂ O (A-B)/W ₀ %	CO ₂ (B-C)/W ₀ %	CO ₂ /H ₂ O %
1	CH3	15,908	15,751	15,435	11,2508	1,99	26,30	13
2	HH1	13,759	13,5488	13,2468	10,164	2,19	22,41	10
3	HH4	11,249	11,2119	11,1596	8,0983	0,46	27,21	59
4	HH8	12,810	12,6351	12,3342	8,8815	2,35	26,95	11
5	SH1	13,475	13,0901	12,7824	10,1163	2,28	19,79	9
6	SH4	11,579	11,3516	11,2999	8,6995	0,45	22,46	50

Harçların hidrolik özellikleri TG/DTA analizi ile belirlenmiştir. Sıcaklık değişimleri karşısındaki kütle kayıplarının incelendiği bu analiz neticesinde, 200-600°C ve 600-900°C aralıklarındaki kütle kayıpları (%) cinsinden tespit edilmiştir. 200-600°C aralığındaki kütle kaybı, kimyasal bağlı suyun (H₂O) çıkışını; 600-900°C aralığındaki kütle kaybı ise karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu sonucu karbondioksit (CO₂) çıkışını ifade etmektedir. Harçların hidrolik özellikleri, kayıp karbondioksit ve su yüzdelerinin birbirine oranlanması (CO₂/ H₂O) ile değerlendirilir.

Tipik kireç harçlarında kimyasal su oranı %3'ten az, CO₂ oranı %32'den fazla, CO₂/H₂O oranı %10'dan fazladır. Bu oranlar hidrolik kireç harçları için; kimyasal su oranı %3.5-6.5, CO₂ %24-34 ve CO₂/H₂O oranı %6.5-9.5 şeklindedir. Tuğla kırıklı

harçlarda kimyasal su %3.5-8.5 arası, CO₂ %22-29 arası ve CO₂/H₂O oranı %3-6 arasındadır. Puzolanik harçlarda ise kimyasal su %5-14 arası, CO₂ oranı %12-20 arasında ve CO₂/H₂O oranı da %3'ün altındadır (Moropoulou vd. 2005).

(CO₂/H₂O) ile harçların hidrolik özellikleri değerlendirilebilir. Eğer oran 1-10 arasında ise harcın hidrolik özellik gösterdiği, 10-35 arasında ise de hidrolik özellik göstermediği kabul edilir (Sağın Uğurlu ve Böke 2010).

Çizelge 4.10 incelendiğinde; Sadece SH1 ve HH1 kodlu harç numunelerinin hidrolik özellik gösterdiği, CH3, HH4, HH8, SH4 harçlarının tipik kireç harçları olduğu görülmüştür.

4.5. Mekanik Analizler

Bu bölümde harçlarda nokta yükleme deneyi, tuğla numunelerinde eğilmede çekme dayanımı deneyi, basınç dayanımı deneyi, elastisite modülü tayini deneyi, ultrases deneyi yapılmıştır. Mekanik analizler Bölüm 3.2.5'de anlatıldığı şekilde yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Harç numuneleri üzerinde yapılan nokta yükleme deneyi sonuçları

SN	NUMUNE ADI	$I_s=P/De^2$	$De^2=4A/\pi$	$F=(De/50)^{0.45}$	$I_s(50)=F.I_s$	Basınç Dayanımı = $I_s(50)*11$ (MPa)
1	CH1	1,45	16,8883	0,3248	0,47	5
2	CH2	2,00	17,2894	0,3266	0,65	7
3	CH3	3,34	12,1609	0,3004	1,03	11
4	SH1	6,30	22,4509	0,3463	2,18	24
5	SH2	2,10	26,4600	0,3463	0,75	8
6	SH4	7,15	13,1409	0,3070	2,20	24
7	HH1	3,12	12,0336	0,3010	0,94	10
8	HH2	6,87	10,6909	0,2931	2,01	22
9	HH3	4,16	19,7273	0,3364	1,40	15
10	HH4	12,59	13,6564	0,3097	3,90	43
11	HH5	1,36	32,7600	0,3771	0,51	6
12	HH6	2,34	20,6850	0,3386	0,77	8
13	HH7	1,87	24,8436	0,3543	0,66	7
14	HH8	5,13	13,8409	0,3106	1,59	18

Nokta yükleme deneyine göre Çeşme yapısından alınan harç örneklerinden en düşük basınç dayanımı 5 Mpa, en yüksek 11 Mpa ölçülmüştür. Su Kemerlerinde en düşük 8 Mpa, en yüksek 24 Mpa hesaplanmıştır. Hamam yapısında en düşük basınç

dayanımı 6 Mpa, en yüksek basınç dayanımı 43 Mpa hesaplanmıştır. Küçük Hamam'da basınç dayanımının yüksek çıkmasının nedeni hidrasyon için gerekli olan sıcaklık, buhar gibi parametrelerin hamamın yapısında bulunmasından kaynaklıdır.

Myra ve Andriake Limanından alınan harç numunelerinde nokta yükleme deney sonuçlarına göre ortalama basınç dayanımları; Plakoma'da (2. yüzyıl) 5.5 MPa, Granarium'da duvarlarda (2. yüzyıl) 6.0 MPa, Tiyatro'da (2. yüzyıl) 8.9 MPa, Hamam'da (3. yüzyıl) 17.4 MPa olduğu bilinmektedir (Oğuz 2013).

Aspendos Antik Kentinden alınan numunelerde nokta yükleme deneyi sonuçlarına göre basınç dayanımlarının Çeşme yapısında 5-25 MPa, Bazilika için; 3-17 MPa, Domus için 2-11 MPa arasında olduğu tespit edilmiştir (Işık 2019). Bu sonuçlar Çizelge 4.11'deki veriler ile benzerlik göstermektedir.

10 adet tuğla numunesinde eğilme çekme dayanımı deneyi yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.12' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Tuğla numunelerinde eğilme çekme ve basınç dayanımı sonuçları

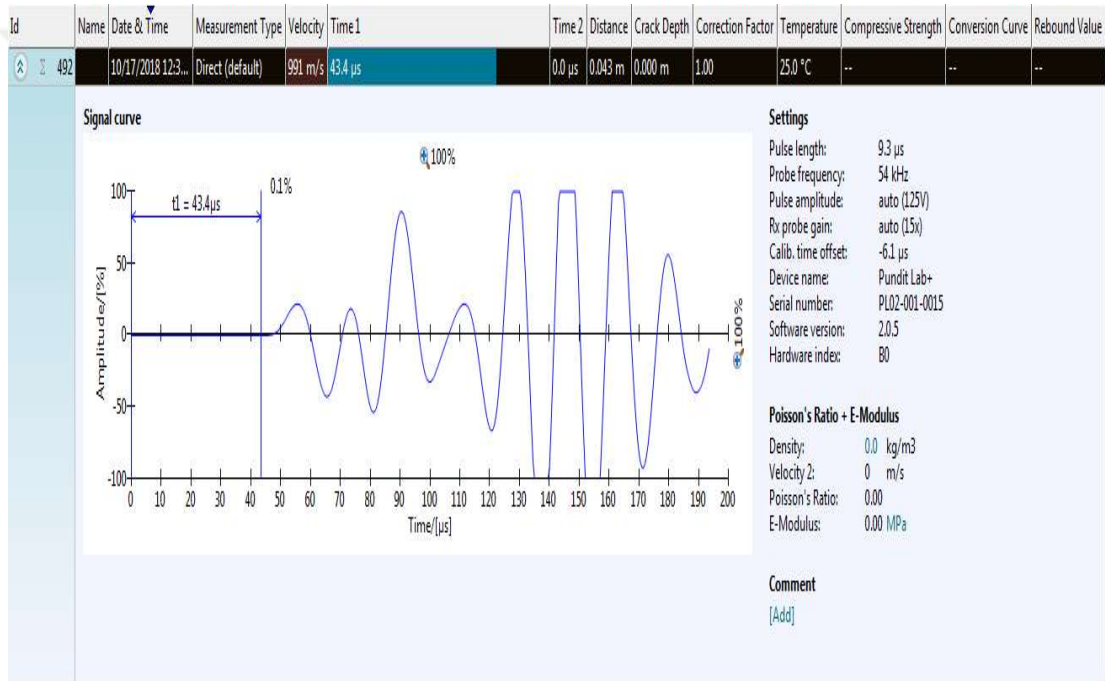
SN	NUMUNE ADI	EĞİLME ÇEKME DAYANIMI (MPa)	BASINÇ DAYANIMI (Mpa)
1	CT1	6	-
2	CT2	6	18
3	CT3	-	21
4	ST1	-	24
5	ST2	-	25
6	ST3	-	52
7	ST4	6	23
8	HT1	4	26
9	HT3	5	25
10	HT4	7	40
11	HT5	6	33
12	HT6	5	12
13	HT7	3	13
14	HT8	2	24

Eğilme çekme deneyi sonucunda Çizelge 4.12 incelendiğinde Çeşme yapısındaki numunelerin ortalaması 6 Mpa, ST4 kodlu Su Kemerinden alınan numunenin dayanımı 6 Mpa ve Hamam tuğlalarından alınan numunelerin ortalama eğilme çekme dayanımı 5 Mpa bulunmuştur.

Çizelge 4.12'deki sonuçlar incelendiğinde Çeşme yapısından alınan tuğlalardaki basınç dayanımı ortalama 20 Mpa, Su Kemerlerinden alınan numunelerin ortalaması 31 Mpa, Küçük Hamamdan alınan tarihi tuğla numunelerinin ortalaması ise 25 Mpa olarak hesaplanmıştır.

Myra ve Andriake Limanında tuğla numunelerin eğilmede çekme dayanımı deney sonuçlarına göre; Plakoma'da 12.7 MPa, Sinagog'ta 2.9 MPa, Liman yapılarında ortalama 5.9 MPa, Tiyatro'da 6.3 MPa, Hamam'da ortalama 4.9 MPa olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımları ise Plakoma'da 36.0 MPa, Sinagog'ta 12.0 MPa, Liman yapılarında ortalama 21.4 MPa, Tiyatro'da 40.4 MPa, Hamam'da ortalama 33.5 MPa olduğu tespit edilmiştir (Oğuz 2013). Sonuçlar Çizelge 4.12'deki sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Tuğla numunelerinin ultrases geçiş süreleri ölçülerek, buradan ultrases hızları ile dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır. Burada tuğla numunesinden bir tane örnek ultrases grafiği verilmiştir (Şekil 4.24). Diğer deney yapılan tuğla numunelerin ultrases grafikleri Ek-5'de verilmiştir.



Şekil 4. 24. CT1 tuğla numune ultrases grafiği

Çizelge 4.13. Tuğla numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları

SN	NUMUNE NO	BİRİM AĞIRLIK (gr/cm ³)	ULTRASES HIZI (km/sn)	DİNAMİK ELASTİSİTE MODULU (Mpa)	BASINÇ DAYANIMI (Mpa)
1	CT1	1,72	3,687	23844	-
2	CT2	1,64	3,729	23256	18
3	CT3	1,8	3,493	22396	21
4	ST1	1,53	2,872	12870	24
5	ST2	1,58	3,437	19034	25
6	ST3	1,8	2,069	7858	52
7	ST4	1,57	3,179	16180	23
8	HT1	1,73	3,448	20974	26
9	HT2	1,64	3,143	16521	-
10	HT3	1,6	3,354	18355	25
11	HT4	1,84	3,579	24035	40
12	HT5	1,71	3,361	19699	33
13	HT6	1,56	3,232	16618	12
14	HT7	1,58	3,604	20928	13
15	HT8	1,52	2,978	13747	24

Çeşme yapısından alınan numuneler incelendiğinde ultrases hızları ortalama 3,636 km/sn, Su Kemerlerinde ortalama 2,889 km/sn, Küçük Hamamda ise ortalama 3,337 km/sn olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Malzemenin yükleme altında dayanabildiği “gerilme/deformasyon” oranı dinamik elastisite modülü olarak tanımlanmaktadır. Dinamik elastisite modülü değerleri bölüm 3.2.5.’de anlatıldığı gibi hesaplanmıştır. Elastisite modülü Çeşmede ortalama 23165 MPa, Su Kemerlerinde ortalama 13985 MPa, Küçük Hamamda ortalama 18860 MPa olarak bulunmuştur (Çizelge 4.13).

Myra ve Andriake Limanından alınan tuğla numunelerin ultrases hızları Plakoma’da 3.628 km/sn, Sinagog’ta 2.649 km/sn, Liman yapılarında ortalama 3.339 km/sn, Tiyatro’da 3.448 km/sn, Hamam’da ortalama 3.410 km/sn, elastisite modülü Plakoma’da, 22819 MPa, Granarium’da tabanda ortalama 18096 MPa, Sinagog’ta 11317 MPa, Liman yapılarında ortalama 19723 MPa, Tiyatro’da 20126 MPa, Hamam’da ortalama 21892 MPa, olarak hesaplanmıştır (Oğuz 2013). Bu çalışmanın sonuçları ile Çizelge 4.13’deki sonuçlar benzerlik göstermektedir.

4.6. Diğer Analizler

4.6.1. Renk analizi

Fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulan numunelerden 10 tanesi seçilmiş ve bu numuneler üzerinde renk analizleri Bölüm 3.2.6'da belirtildiği şekilde yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Numuneler üzerinde yapılan renk analizi sonuçları

Numune	L*	a*	b*
ST1	69,64	8,69	22,35
CT1	66,25	10,6	21,16
CT3	64,09	11,12	24,01
HT4	62,21	11,89	21,26
HT8	58,06	15,86	22,06
HH1	73,73	1,69	6,49
HH4	75,50	2,08	9,43
HH8	66,56	1,00	7,70
SH1	68,17	1,69	8,30
CH3	74,09	1,54	6,45

Tuğla numunelerinin L* ortalama 64, a* ortalama 12, b* ortalama 22, harç numunelerinde ise sırasıyla 72, 2, 8 olduğu hesaplanmıştır. Çizelge 4.14'deki renk analizi sonuçları incelendiğinde tuğla numunelerinin kırmızımsı turuncu renkli olduğu gözlemlenmiştir. HT8 numunesinin kırmızılığı diğer numunelere oranla daha belirgindir. Harç numunelerinin genel olarak açık sarı renkte olduğu tespit edilmiştir.

İstanbul Apsidal Yapı Kalıntısından alınan tuğla örneklerinde renk analizi yapılmıştır. Tuğla üzerinde yapılan ölçümler neticesinde L* ortalama 56, a* değeri ortalama 17, b* değerini ise ortalama 22, Koca Ragıp Paşa Kütüphanesinden alınan tuğlalarda ise L* ortalama 59, b* ortalama 24, Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi'ne ait harçların L* ortalama 76 olarak belirtilmiştir. (Ulukaya 2016). Aspendos Antik Kentten alınan harçlarda yapılan renk analizinde Çeşme numunelerinin ortalama L* değeri 66 Bazilika 78, Domus için ise 65 şeklinde olduğunu belirtmiştir (Işık 2019).

Çizelge 4.14'deki değerler, daha önce yapılmış olan bu çalışmalar ile kıyaslanırsa bulunan sonuçların bunlara yakın sonuçlar olduğu görülecektir.

5. SONUÇLAR

Aspendos Antik Kentinin Çeşme, Su Kemer ve Küçük Hamam yapılarından alınan tuğla ve harç numuneleri ile bu malzemelerin fiziksel, kimyasal, mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Malzemelerin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak malzemelerin doğru seçilebilmesi için, özgün malzeme özelliklerinin iyi bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesi için Aspendos Antik Kentinde bulunan üç yapıdan alınan numuneler üzerinde yapılan deney ve analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

1. Harç numunelerinin fiziksel özellikleri incelendiğinde; Çeşme yapısından alınan numunelerin birim hacim kütlesi $1.42-1.61 \text{ gr/cm}^3$, kütlece su emme yüzdesinin % 18-27, hacimce su emme yüzdesinin % 28-38, özgül kütlesinin $2.76-2.83 \text{ gr/cm}^3$ porozitesinin % 36-43, kompasitesinin % 56-64 aralığında, Su Kemerlerinden alınan numunelerin birim hacim kütlesi $1.53-1.69 \text{ gr/cm}^3$, kütlece su emme yüzdesinin % 13-21, hacimce su emme yüzdesinin % 22-32, özgül kütlesinin $2.53-2.79 \text{ gr/cm}^3$ porozitesinin % 33-39, kompasitesinin % 61-67 aralığında, Küçük Hamamdan alınan harç örneklerinde ise birim hacim kütlesi $1.42-1.83 \text{ gr/cm}^3$, kütlece su emme yüzdesinin % 12-22, hacimce su emme yüzdesinin % 23-31, özgül kütlesinin $2.4-2.83 \text{ gr/cm}^3$ porozitesinin % 28-46, kompasitesinin % 54-72 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Fiziksel analizler harçların hafif, boşluklu bir yapıya sahip olduklarını göstermektedir. Tuğla numunelerinin fiziksel özellikleri ise; Çeşmeden alınan örneklerde birim hacim kütlesi $1.64-1.8 \text{ gr/cm}^3$, kütlece su emme yüzdesinin % 12-17, hacimce su emme yüzdesinin % 21-28, özgül kütlesinin $2.65-2.72 \text{ gr/cm}^3$ porozitesinin % 32-40, kompasitesinin % 60-68 aralığındadır. Su Kemerlerinden alınan numunelerin birim hacim kütlesi $1.53-1.8 \text{ gr/cm}^3$, kütlece su emme yüzdesinin % 7-25, hacimce su emme yüzdesinin % 13-40, özgül kütlesinin $2.56-2.82 \text{ gr/cm}^3$ porozitesinin % 35-46, kompasitesinin % 54-65 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Küçük Hamamdan alınan tuğla örnekleri incelendiğinde birim hacim kütlesi $1.52-1.84 \text{ gr/cm}^3$, kütlece su emme yüzdesinin % 14-22, hacimce su emme yüzdesinin % 26-36, özgül kütlesinin $2.45-2.94 \text{ gr/cm}^3$ porozitesinin % 31-46, kompasitesinin % 54-71 aralığında olduğu belirlenmiştir.
2. Kimyasal analizler sonucunda; Numunelerin çoğunda numune yüzdesinin yarısını bağlayıcının oluşturduğu ve bağlayıcının agregaya oranının genel olarak 1/1 şeklinde olduğu belirlenmiştir. 14 adet harç numunesinin %78'inde klorür (Cl^-), %21'inde sülfat (SO_4^{2-}), %36'sında karbonat (CO_3^{2-}) ve %28'inde nitrat (NO_3^{2-}) iyonları gözlemlenmiştir. Kimyasal analizler sonucunda; Klorür varlığının fazla olması, deniz suyundan kaynaklandığı, Aspendos Antik Kenti'nin döneminde liman kenti özelliği taşıdığı ile ilgili olduğu

düşünülmektedir. Aktif tarımın varlığıyla oluşan tarımsal atıklardan ve atmosferik kirlilikten dolayı sülfat ve karbonat varlığı gözlemlendiği, nitrat varlığının ise bölgede tarımsal atıklar nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir.

3. Çeşme yapısından alınan 3 adet harç numunesinden sadece CH2 kodlu numunede protein varlığı gözlemlenmiştir. Su kemerlerinden alınan numunelerde %66 protein, %100'ünde yağ tespit edilmiştir. Küçük hamamdan alınan numunelerde ise %50 protein, %37'sinde yağ varlığı gözlemlenmiştir. Harç yapımında kullanılan organik katkı malzemeleri (yumurta, kan, kazein, kıtık, bit-ki lifleri, hayvan kılları vb.) sebebiyle tarihi yapı harçlarında yağ ve protein varlığına rastlanmaktadır. Alınan harç numunesinde %50'si, tuğla numunenin %60'ında puzolanik özellik gözlemlenmiştir. Bu da tuğlaların üretiminde kullanılan kil minerallerinin miktarının yüksek oranda puzolanik amorf malzeme üretmeye yeterli olduğunu gösterir. Harç numunelerinin pH değerleri 7,73-8,63 arasında tuğla numunelerinde ise 8,20-8,65 arasında ölçülmüştür. Tuğla ve harç numuneleri pH analizleri sonucu bazik özellik taşıdıkları belirlenmiştir.
4. Nokta yükleme deneyi sonuçlarına göre alınan harç numunelerinde basınç dayanımları, Çeşme yapısında basınç dayanımı ortalama 8 Mpa ölçülmüştür. Su Kemerlerinde ortalama 19 Mpa hesaplanmıştır. Hamam yapısında ortalamaları 16 Mpa hesaplanmıştır. Küçük Hamam'da basınç dayanımının çok yüksek olduğu numunelerin olmasının nedeni hidrasyon için gerekli olan sıcaklık, buhar gibi parametrelerin hamam yapısında bulunmasından kaynaklıdır.
5. Eğilmede çekme deneyi sonucunda Çeşme yapısından alınan tuğla numunelerin ortalaması 6 Mpa, ST4 kodlu Su Kemerinden alınan numunenin dayanımı 6 Mpa ve Hamam tuğlalarından alınan numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 5 Mpa bulunmuştur. Çeşme yapısından alınan tuğlalardaki basınç dayanımı ortalama 20 Mpa, Su Kemerlerinden alınan numunelerin ortalaması 31 Mpa, Küçük Hamamdan alınan tarihi tuğla numunelerinin ortalaması ise 25 Mpa olarak hesaplanmıştır. Çeşme yapısından alınan tuğlalar incelendiğinde ultrases hızları ortalama 3,636 km/sn, Su Kemerlerinde ortalama 2,889 km/sn, Küçük Hamamda ise ortalama 3,337 km/sn olarak belirlenmiştir.
6. Mikro yapı analizlerinde harç numunelerinin kalsit ve kuvars içerdikleri belirlenmiştir. Kuvars minerali kullanılan agregalarının genellikle silisyum mineralini içerdiğini, kalsit minerali bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kalsit piklerinin hemen hemen her numunede tespit edilmiş olması, tuğlaların 750-900 °C'ler arasındaki sıcaklıklarda pişirildiklerini düşünmemize yardımcı olmaktadır. Tuğla numunelerinde mullit ve kristobalit

gibi minerallerine rastlanmamış tuğlaların pişirilme sıcaklıklarının 900°C'yi geçmediğini göstermektedir. Kalsiyumca fakir olan killerde, ana ürünler (anortit, gehlenit, diopsit) oluşmaz. Ortamda hematit mineralinin varlığı ve kalsiyumca zengin fazların (anortit, gehlenit, diopsit) bulunmaması, tuğla numunenin 850°C'nin altında pişirildiğini göstermektedir. CT3 kodlu numunede gehlenit varlığı gözlemlenmektedir bu da diğer tuğla numunelerine göre pişirilme sıcaklığının daha fazla olduğunu göstermektedir.

7. Termal analiz sonuçlarında sadece SH1 ve HH1 kodlu harç numunelerinin hidrolik özellik gösterdiği, Çeşme yapısından CH3 kodlu, Hamamda HH4, HH8 kodlu, Su Kemerinde ise SH4 kodlu harçların tipik kireç harçları olduğu görülmüştür.
8. Renk analizlerinde çeşmeden alınan tuğla numunelerinde ortalama L* değeri (siyah/beyaz koordinatı) 65.17 ortalama a* değeri (kırmızı/yeşil koordinatı) 10.86, ortalama b* değeri (sarı/mavi koordinatı) 22.58 olarak bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla Hamam tuğlaları için ortalama 60.13, 13.87, 21.66, Hamam harçları için 71.93, 1.59, 7.87 şeklindedir. ST1 için 69.64, 8.69, 22.35, SH1 için 68.17, 1.69, 8.30, CH3 için 74.09, 1.54, 6.45 şeklindedir. Tuğla numunelerinin kırmızımsı turuncu renkli olduğu gözlemlenmiştir. HT8 numunesinin kırmızılığı diğer numunelere oranla daha belirgindir. Harç numunelerinin genel olarak açık sarı renkte olduğu tanımlanmaktadır.

Sonuç olarak; yukarıda belirtilen maddeler göz önünde bulundurularak koruma, onarım ve güçlendirme çalışmalarında kullanılacak onarım harç ve tuğlaları için tez kapsamında belirlenen malzeme özellikleri dikkate alınarak, restorasyon çalışmalarının aslına uygun üretilcek malzemeler ile gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akıncı, F.N. 2000. “Geleneksel Sivil Mimarının Sosyo-Kültürel Ve İşlevsellik Bağlamında Tarihsel Sürekliliği İçin Planlama/Finans Modeli” Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Acun-Özgünler, S. 2007. Tarihi Yapılarda Kullanılan Volkanik Tüflerin Konservasyonu Üzerine Bir Araştırma: Od Taşı Örneği. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 165 s.
- Akbulut Ekşi, D. 2006. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri. Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 178 s.
- Akman, M. S., Güner, A. ve Aksoy, İ. H. 1986. Horasan harcı ve betonun tarihi ve teknik özellikleri. 2. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, Cilt 1, ss. 101-112, 28 Nisan - 2 Mayıs, İstanbul.
- Akman, M. S. 1990. Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları ikinci baskı, Ders Kitabı, İstanbul, 162s.
- Aköz, F., Yüzer, N. ve Koral, S. 1996. Silis Dumanı Katkılı Harçlara Sodyum Klorür ve Magnezyum Klorür Etkileri. 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
- Aköz, F., Yüzer, N., Çakır, Ö. and Kabay, N. 2001. Investigation of Materials Properties of Dolmabahçe Palace Reception (Muayede) Hall's Dome and Vaults. Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures, İstanbul, 659-668.
- Aköz, F. ve Yüzer, N. 2005. Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Cilt 2, ss. 225-235, 22-24 Eylül, T.M.M.O.B. Antalya Şubesi, Antalya.
- Akyol, A.A., Yıldırım, E.E., Erten, E. ve Kadioğlu, Y.K. (2013). “Olba Kazı Kiremit Örnekleri Arkeometrik Çalışmaları”, Seleucia ad Calycadnum, Olba Kazısı Yayınları, Sayı: III-2013. s. 251-269
- Alvarez, J.I., Navarro, I. and Garsia Casado, P.J. 2000. Thermal, Mineralogical and Chemical Studies of the Mortars Used in the Cathedral of Pamplona (Spain). *Thermochimica Acta*, 365: 177-187.

- Ashurst, J. 1984. Mortars, Plaster and Renders in Conservation, Ecclesiastical Architects and Surveyors Association, London.
- Arıkan B. 2009. Patara Hurmalık Hamamı Antik Yapı Malzemelerinin Mikroanaliz Teknikleri ve Spektroskopik Yöntemlerle Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 117 s.
- Bakırer, Ö. (1981). Selçuklu Öncesi ve Selçuklu Dönemi Anadolu Mimarisinde Tuğla Kullanımı. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Baronio, G., Binda, L. and Tedeschi, C. 1997. Thick Mortar Joints in Byzantine Buildings: Study of Their Composition and Mechanical Behaviour. International Conference on Studies in Ancient Structures. İstanbul,235-244.
- Bayraktar, A. 2006. Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metotları. Beta Yayınları, İstanbul.
- Bonora, V., Fabbri, B., Negrotti, R. and Proni, A. 2001. Preliminary Investigations on Construction Materials and Conservation State of A Historical Building in Rural Area Near Faenza (Italy). Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. İstanbul,637-647.
- Borrelli, E. 1999. Binders: ARC Laboratory Handbooks. Vol. 3 ICCROM. S.p.A. Pres, Roma, 8 p.
- Boynton, R.S. 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd Edition, John Willey & Sons, New York.
- Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B. 2004. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269: 90-95.
- Cardiano, P., Ioppolo, S., De Stefano, C., Pettignano, A., Sergi, S. and Piraino, P., 2004. Study and characterization of the ancient bricks of monastery of ‘San Filippo di Fragala in Frazzano (Sicily). *Analytica Chimica Acta*, 519: 103–111.
- Cardiano, P., Sergi, S., Concetta, D. S., Ioppolo, S. and Piraino, P. 2008. Investigations on ancients mortar from The Basilian monastery of Fragala. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91(2):477-485.
- Ciach, T. D. and Penkale, B. 1984. Methods of Investigation For Mortars From The Ancient and Early-Medieval Buildings. 7th Triennial Meeting, pp. 68-73, 10-14 September, ICOM Committee For Conservation, Copenhagen.

- Cowper,A. 1998. Lime and Lime Mortars ,Donhead Publishing Ltd,Dorset (first published in 1927 for the Building Research Station by HM Stationary Office,London).
- Eriç, M.2002.Yapı Fiziği ve Malzemesi 2. Literatür Yayınları, İstanbul.
- Ersen, A., Karagüler, M. and Güleç, A., 1995. Possible Substitutes For Khorasan Mortar In Byzantine and Otoman Monuments In Methods of Evaluating Products For The Conservation of Porous Building Materials In Monuments. International Colloquieum, pp. 15-27, 19-21 June, Rome, Italy.
- Franzini, M., Leoni, L. and Lezzerrini, M. 2000. A procedure for determining the chemical composition of binder and aggregate in ancient mortars: its application to mortars from some medieval buildings in Pisa.Journal of Cultural Heritage,1:365–373.
- Genestar, C. And Pons, C. 2003. Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain) analytical characterisation.Journal of Cultural Heritage. 291-298
- Güleç, A. 1992. Bazı tarihi anıt harç ve sıvalarının incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 135 s
- Güleç, A. and Tulun, T. 1997. Physico Chemical And Petrographical Studies of Old Mortars And Plasters Of Anatolia. *Cement and Concrete Research*. 27 (2): 227-234.
- Gülmez, S. 2005. Antik Yapılarda Kullanılan İnşaat Malzemeleri ve Bu Malzemelerin Özelliklerinin Mineralojik, Petrografik, Kimyasal, Fiziksel, Mekanik ve Tahribatsız Deney Yöntemleri Kullanılarak Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 132 s.
- Işık, N. 2019. Aspendos'ta Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Özellikleri. Yüksek Lisan Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 170 s.
- Kahraman, G. 2008. Erken Bizans dönemi horasan harçlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 156 s.
- Kahraman Altaş, G., Acun Özgünler, S. ve Güldal, E. 2012. İstanbul'daki Roma dönemi saray yapılarındaki horasan harçlarının incelenmesi. *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 4:41-49
- Karaveziroğlu, M., Barboutis, C. and Kranas, V. 1997. Behaviour of Masonry with Full Bricks and Lime Mortars. International Conference on Studies in Ancient Structures,İstanbul,225-233.

- Kapur, S. ve Binici, H. 2016. The Physical, Chemical, And Microscopic Properties Of Masonry Mortars From Alhambra Palace (Spain) In Reference To Their Earthquake Resistance. *Frontiers of Architectural Research*: 5: 101–110.
- Koçu, N. 1997. Konya çevresindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kozlu, H. H. 2010. Kayseri yöresindeki tarihi harçların karakterizasyonu ve onarım harçlarının özellikleri. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 335 s.
- Köse, V. 2009. Aspendos Yüzey Araştırması Projesi 2008 Yılı Birinci Sezon Çalışmaları. 27. Araştırma Sonuçları Toplantısı, ss. 373-394, 25-29 Mayıs, Denizli.
- Kurugöl, S. Ve Tekin, Ç. 2010. Anadolu’da Bizans Dönemi Kale Yapılarında Kullanılan Tuğlaların Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 25 (4): 767-777.
- Kurugöl, S. 2010. Tarihi Kütahya Kalesi Tuğlalarının Mekanik Özelliklerinin ve Puzolanik Aktivitelerinin İncelenmesi. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1): 13-26.
- Labiadh, M. R., Ouezdou, M. B., Hajjem, B. T. and Mensi, R. 2009. Characterization of waterproof-covering mortars on Otoman monuments of “Ghar el Melh” (Tunisia). *Construction and Building Materials*, 23: 423-433.
- Lea, F.M. 1940. Investigations on Puzzolanas. *Building Research, Technical Papers*, 27: 1-63.
- Lopez-Arce, P., Garcia-Guinea, J., Garcia, M., Obis, J. 2003. Bricks in historical buildings of Toledo City: characterisation and restoration. *Materials Characterization*, 50, 59-68.
- Lopez-Arce, P. And Garcia-Guinea, J. 2005. Weathering traces in ancient bricks from historic buildings. *Building and Environment*, 40: 929–941.
- Massazza, F., 1989. Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları (Seminer). Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 55 s.
- McClellan, G.H. Eades, J.L. 1970. “The Texture Evolution of Limestone Calclines”, ASTM Special Technical Publication 472, American Society for Testing and Materials, s. 209-227, Philadelphia.
- Mistakidou, E., Markopoulos, T. H. and Alevizos, G. 2001. Synthesis of Mortars for

- Use in the Repair and Maintenance of Historic Buildings and Monuments in the Island of Crete, Greece. Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures, ss. 531-539, 9-13 July, Y.T.Ü., İstanbul.
- Moropoulou, A., Bakolas, A. and Bısbıkou. K., 2000. Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1:45-58.
- Moropoulou, A., Bakolas, A. and Anagnostopoulou, S. 2005. Composite Materials in Ancient Structures. *Cement&Concrete Composites*. 27: 295-300.
- Oates, J.H. 1998. "Lime and Limestone Chemistry and Technology", Production and Uses, WileyVCH Publishers, Weinheim.
- Oğuz, C. 2013. Myra ve Limanı Andriake'de Kullanılan Özgün Malzeme Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 410 s.
- Oğuz, C., Türker, F., Koçkal, N. U. 2015. Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri. *İMO Teknik Dergisi*, 26(1): 6993-7013.
- Özkaya Aslan, Ö. 2005. Properties of Roman Bricks and Mortars Used in Serapis Temple in Bergama. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 121 s.
- Özkaya Aslan, Ö. and Böke, H. 2009. Properties of Roman Bricks and Mortars Used in Serapis Temple in The City of Pergamon. *Materials Characterization*. 60:995-1000.
- Papayianni, I. and Stefanidou, M. 2007. Durability aspects of ancient mortars of the archeological site of Olynthos. *Journal of Cultural Heritage*, 8:193-196.
- Pavia, S. and Caro, S. 2007. An Investigation of Roman Mortars Technology Though the Petrographic Analysis of Archaeological Material. *Construction and Building Materials*, 22:1807-1811.
- Peter, N. 1850. *Encyclopedia of Architecture*. 2 Vol., Fry & Co., New York.
- Polat Pekmezci, I. 2012. Çukurova Bölgesindeki (Kilikya) Bazı Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Karakterizasyonu Ve Onarım Harçları İçin Öneriler. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 226 s.
- Postacıoğlu, B. 1986. Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul. 175s.
- Radivojević, A. 2005. Investigation of late Antique Bricks from Archaeological Sites of Contemporary Serbia as a Basis of Conservation Works. *Architecture and Civil Engineering*, 3(2): 185-193.

- Rodriquez-Navarro, C.; Hansen, E.; Ginell, W.S. 1998. Calcium Hydroxide Crystal Evolution upon Ageing of Lime Putty, *Journal of the American Ceramic Society*, 81, s.3032-3034.
- Riccardi, M. P., Duminuco, P., Tomasi, C. and Ferloni, P. 1998. Thermal Microscopic And X-Ray Diffraction Studies On Some Ancient Mortars. *Thermochimica Acta*, 321: 207-214.
- Rizzo, G., Ercoli, L., Megna, B. and Parlapiano, M. 2008. Characterization of mortars from ancient and traditional water supply systems in Sicily. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92(1):323-330.
- Sağın Uğurlu, E. ve Böke, H. 2010. Koruma Amaçlı Üretilcek Horasan Harç ve Sıvalarda Kullanılacak Kirecin ve Tuğlaların Özellikleri. 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, ss. 385-396, 3-5 Kasım, İTÜ Taşkılla, İstanbul.
- Saraylı, A. 1987. Yapı Malzemeleri Bilimi. YTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Şahin E. 2018. Aspendos'un Aphrodite Kastnietis Kültü. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 199 s.
- Sömer S, 2014. Antik Yapılarda Kullanılan Tuğla Malzemelerin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Saptanması. Yüksek Lisan Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 203 s.
- T.C. Resmi Gazete, "Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ile Çeşitli Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun", Sayı:25535, 27 Temmuz 2004.
- Tekin, Ç. ve Kurugöl, S. 2012. Çeşitli Organik Katkıların Kirecin Karbonizasyonu Üzerindeki Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4: 717-728.
- TS 699. 2009. Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 42 s.
- TS EN 15886. 2011. Kültürel Varlıkların Korunması-Deney Metotları Yüzeylerin Renk Ölçümü, TSE, Ankara.
- TS EN 1936. 2001. Doğal Taşlar Deney Metotları: Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10 s.
- Uğurlu, E. ve Böke, H. 2006. Osmanlı Dönemi Hamam Yapılarında Kullanılan

- Horasan Sıvalarının Özellikleri. 3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, ss. 585 596, 15-17 Kasım, İstanbul.
- Ulukaya, S. 2016. Tarihi Kireç Harcı Özelliklerine Uygun Yeni Malzemelerin Üretimi ve Sayısal Analiz İçin Malzeme Parametrelerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ünay, A. İ. 2002. Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Velosa, A.L. and Veiga, R. 2002. Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation adapted testing methods.9DBMC-2002, 174:1-7.
- Vitruvius, 1998. Mimarlık Üzerine On Kitap, YEM Yayınevi, İstanbul, 240 s.
- Yeğinoğlu, A. ve Ertün, T. 2004. Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar.TÇMB Yayınları, Ankara.
- Yüzer, N., Ulukaya, S. ve Hazar Yoruç, A. B. 2011. Tarihi Yapılarda Özgün Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi Üsküdar'da Aspidal Yapı Örneği. Tarihi Yapıları Koruma ve Onarım Sempozyumu (TAYKON), ss. 500-509, 26-29 Ekim, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zamba, I.C., Stamatakis, M.G., Cooper, F.A., Themelis, P.G. and Zambas, C.G. 2007. Characterization of mortars used for the construction of Saithidai Heroon Podium (1 st century AD) in ancient Messene, Peloponnesus, Greece. Materials Characterization.58:1229-123

7. EKLER

Ek-1. T.C. Antalya Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Antalya Müzesi Müdürlüğü'nden Alınan İzin Yazıları

T.C.
ANTALYA VALİLİĞİ
İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü
Antalya Müzesi Müdürlüğü



SAYI : 77492378/10.01.2017/1972
KONU: Aspendos Kazısı Amorf tuğla
parçası örnekleri.

22.../08/2017

Doç. Dr. Veli KÖSE
Aspendos Kazı Başkanı
ANTALYA

İLGİ: Aspendos Kazı Başkanı Doç. Dr. Veli KÖSE'nin 22.08.2017 tarihli başvuru yazısı.

Antalya İli, Serik İlçesi, Belkıs Mahallesi sınırlarında yer alan Aspendos Antik Kentinde Doç. Dr. Veli KÖSE başkanlığında yapılan 2017 yılı kazı çalışmalarında Su Kemerlerinden 3, Agoranın kuzeyindeki çeşme yapısından 1 ve küçük Hamam yapısından 5 adet poşet içerisinde olmak üzere toplam 9 poşet amorf pişmiş toprak tuğla parçalarının 2018 yılı kazı sezonunda geri getirilmek üzere Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümüne gerekli inceleme ve analizlerinin yapılması için götürülmesine ilişkin İlgi yazı gereği konu Müdürlüğümüzce oluşturulan komisyonca incelenmiş olup hazırlanan belgeler ektedir.

Bilgilerinizi ve konunun Bakanlığımız, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğüne iletilmesini arz ederim.

Mustafa SAMUR
Müdür V.

EK:

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1-Komisyon Raporu | (1 adet, 1 sayfa) |
| 2-Dilekçe örneği | (1 adet, 1 sayfa) |
| 3-Teslim tutanağı | (1 adet) |
| 4-Müze Komisyon Raporu | |
| Formu (Ek-6) | (1 adet) |
| 5-Analiz örneği | (1 kutu, 9 poşet) |

DAĞITIM**Gereği:**

- Doç. Dr. Veli KÖSE
Aspendos Kazı Başkanı-ANTALYA
(Ek 1, 3, 4, 5)

Bilgi:

-İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü-ANTALYA
(Ek 1, 2, 3, 4)

Türkiye

Ek-1

RAPOR

MÜZE MÜDÜRLÜĞÜNE
ANTALYA

İLGİ: Aspendos Kazı Başkanı Doç. Dr. Veli KÖSE'nin 22.08.2017 tarihli başvuru yazısı.

Antalya İli, Serik İlçesi, Belkıs Mahallesi sınırlarında yer alan Aspendos Antik Kentinde Doç. Dr. Veli KÖSE başkanlığında yapılan 2017 yılı kazı çalışmalarında Su Kemerlerinden 3, Agoranın kuzeyindeki çeşme yapısından 1 ve küçük Hamam yapısından 5 adet poşet içerisinde olmak üzere toplam 9 poşet amorf pişmiş toprak tuğla parçalarının 2018 yılı kazı sezonunda geri getirilmek üzere Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümüne gerekli inceleme ve analizlerinin yapılması için götürülmesi ilgi yazı ile talep edilmektedir.

2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu kapsamında bulunan **Kültür ve Tabiat Varlıklarıyla İlgili Yapılacak Yüzey Araştırması, Sondaj ve Kazı Çalışmalarının Yürütülmesi Hakkında Yönerge**'nin 9. ve 13. Maddesinin (e) ve (f) fıkrası kapsamında 1 kapaklı plastik saklama kabı (58x40x35 cm.) içinde bulunan 9 kilitli poşet amorf pişmiş toprak tuğla parçalarının çalışma yapıldıktan sonra 2018 yılı kazı sezonunda geri getirilmek koşuluyla yurtiçinde çalışılmak üzere Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümüne'ne götürülmesinde herhangi bir sakınca bulunmadığı görüşündeyiz.

Bilgilerinize arz ederiz. 22.08.2017

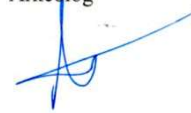
Komisyon Başkanı:


Dr. Ahmet ÇELİK
Müdür Yrd. V.

Üye:


Süleyman ATALAY
Arkeolog

Üye:


Benay ÖZCAN ÖZLÜ
Arkeolog

EK:

- 1-Dilekçe örneği (1 sayfa)
- 2-Analiz örneği (1 kutu, 9 poşet)

Ek-1

EK-6

MÜZE KOMİSYON RAPORU FORMU			
Kazı/Araştırma Adı	Aspendos Antik Kenti		
Kazı/Araştırma Başkanı	Doç. Dr. Veli KÖSE		
Kazı/Araştırma Başkan Vekili-Yardımcısı	Doç. Dr. Dinçer Lenger		
Kazı/Araştırma İli/İlçesi/Köyü/Mahallesi	Antalya İli, Serik İlçesi, Belkıs Mahallesi		
Rapor Tarihi	22.08.2017		
İlgili Müze Müdürlüğü	Antalya Müzesi Müdürlüğü		
Örneklerin Götürüleceği Yer (Üniversite/Laboratuvar vb.)	Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü (9 poşet amorf pişmiş toprak tuğla parçası)		
Cinsi	Pişmiş Toprak	Miktarı	9 poşet
İade Edileceği Tarih	2018 Yılı Kazı Sezonu		
Müze Komisyon Üyesi	Görev Yeri	Unvanı	İmzası
Dr. Ahmet ÇELİK	Antalya Müzesi	Müd. Yrd. V.	
Süleyman ATALAY	Antalya Müzesi	Arkeolog	
Benay ÖZCAN ÖZLÜ	Antalya Müzesi	Arkeolog	

Ek-1

TUTANAK

Antalya İli, Serik İlçesi, Belkıs Mahallesi sınırlarında yer alan Aspendos Antik Kentinde 2018 yılı kazı çalışmaları sonucu ortaya çıkartılan **1 kapaklı plastik saklama kabı** (58x40x35 cm) **içindeki 9 poşet** amorf pişmiş toprak tuğla parçalarının gerekli inceleme ve analizleri yapılmak üzere Aspendos Kazı Başkanı Doç. Dr. Veli KÖSE'ye teslim edilmiştir.

İş bu tutanak tarafımızca düzenlenmiştir. **22.08.2012**

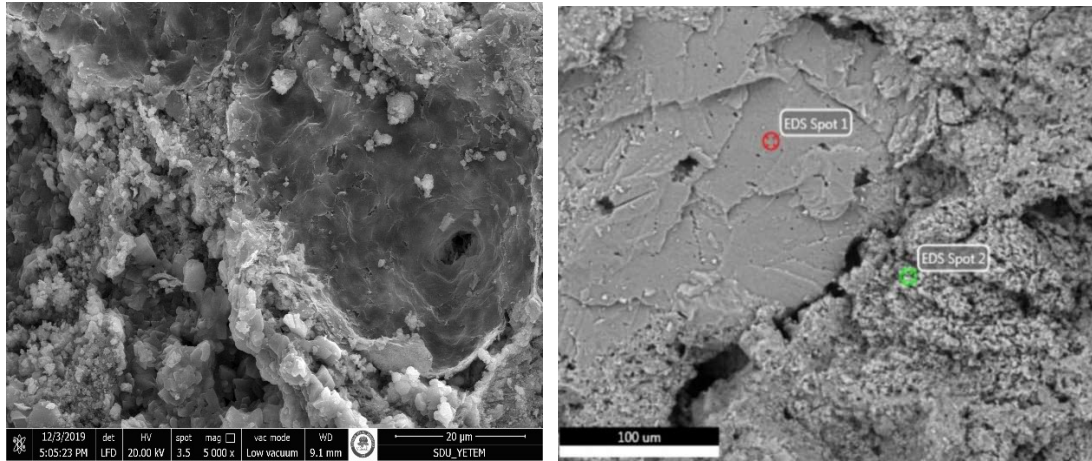
Teslim Eden


Dr. Ahmet ÇELİK
Müdür Yrd. V.

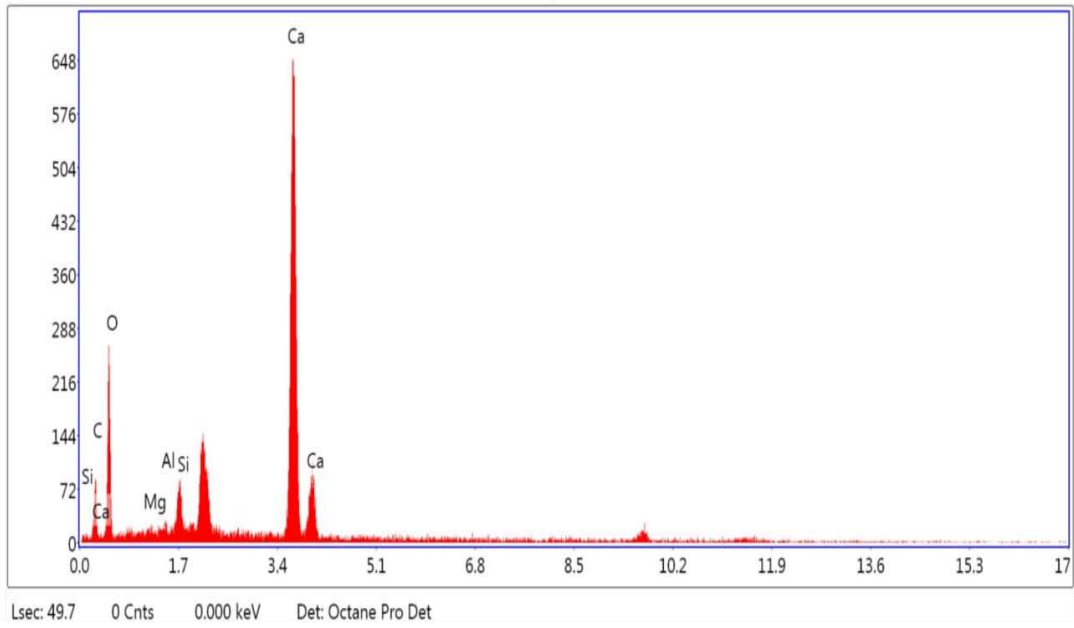
Teslim Alan


Doç. Dr. Veli KÖSE
Aspendos Kazı Başkanı

Ek-2 Harç ve Tuğla Numunelerinin SEM-EDX Sonuçları



Şekil Ek-2. 1. CH3 harcı SEM görüntüleri

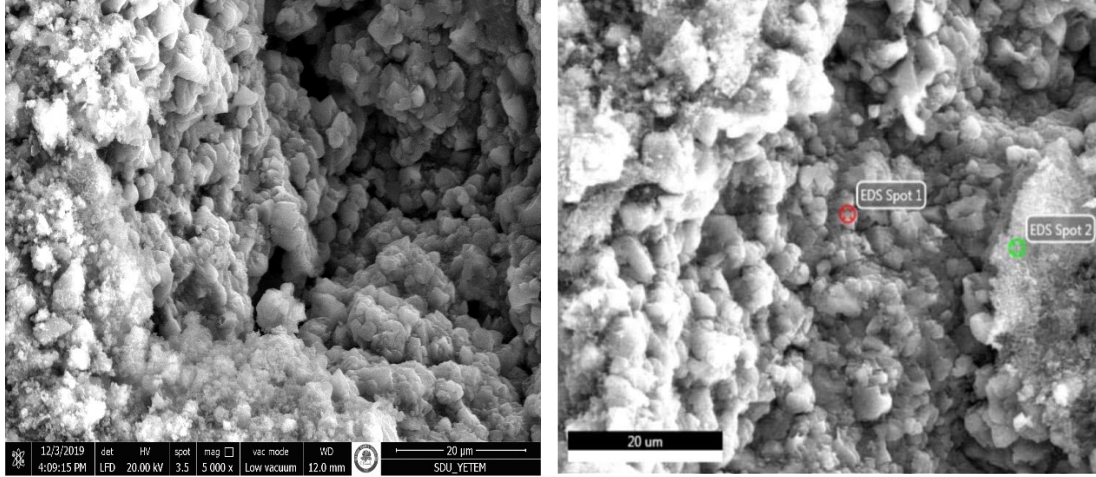


Şekil Ek-2. 2. CH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

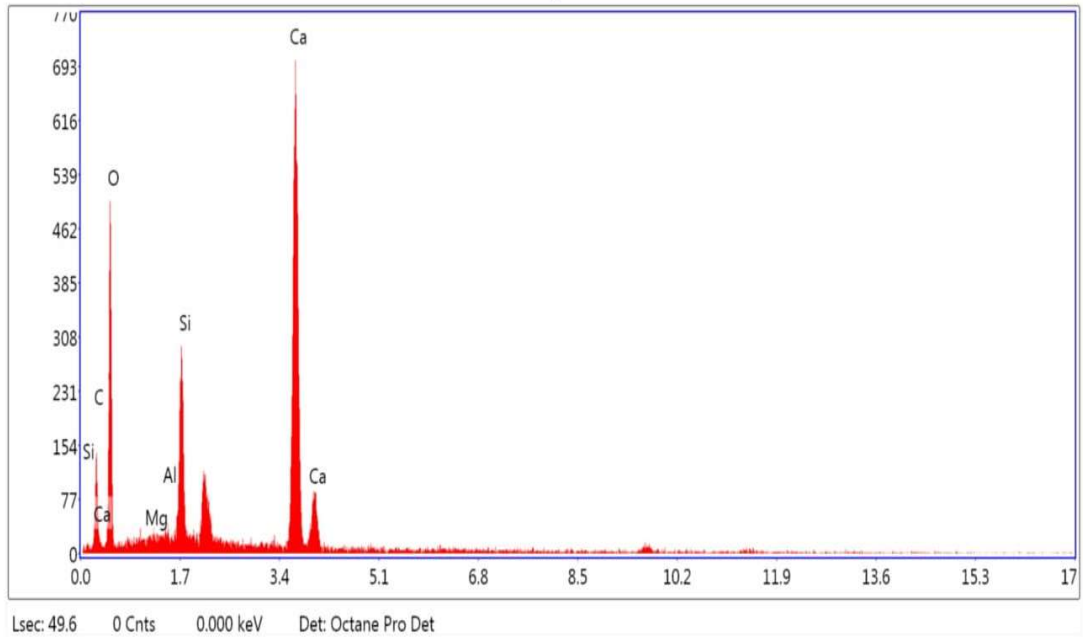
Çizelge Ek-2.1. CH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	49,63	0,40	0,36	2,17	39,09

Ek-2



Şekil Ek-2. 3. SH1 harcı SEM görüntüleri

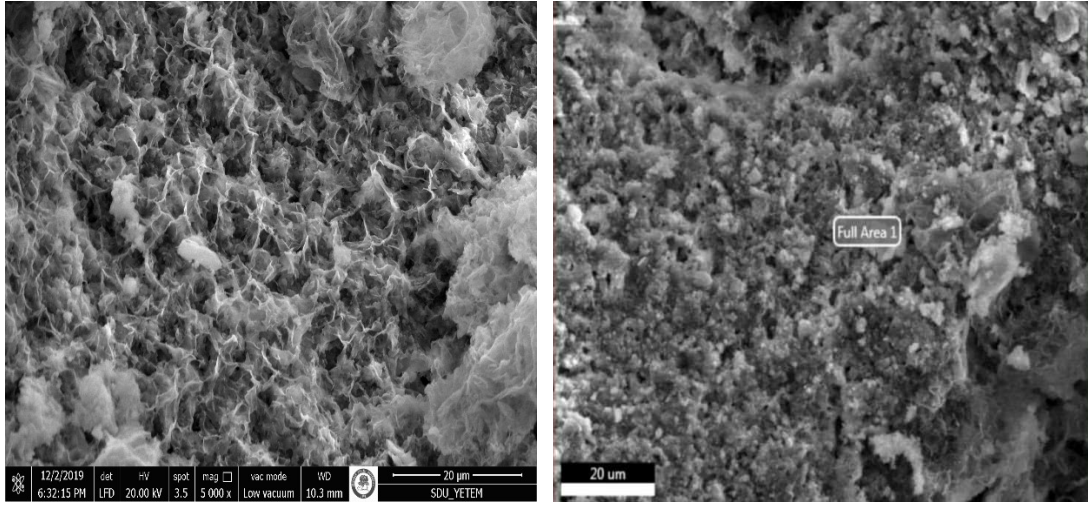


Şekil Ek-2. 4. SH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

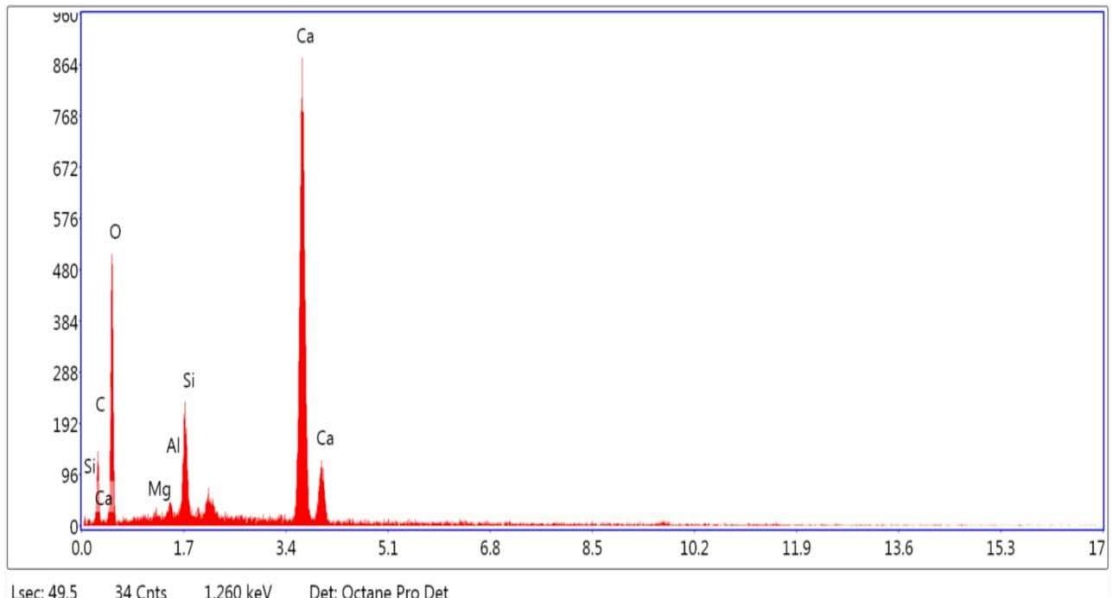
Çizelge Ek-2.2. SH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	52,45	0,82	0,65	6,04	29,30

Ek-2



Şekil Ek-2. 5. SH4 harcı SEM görüntüleri

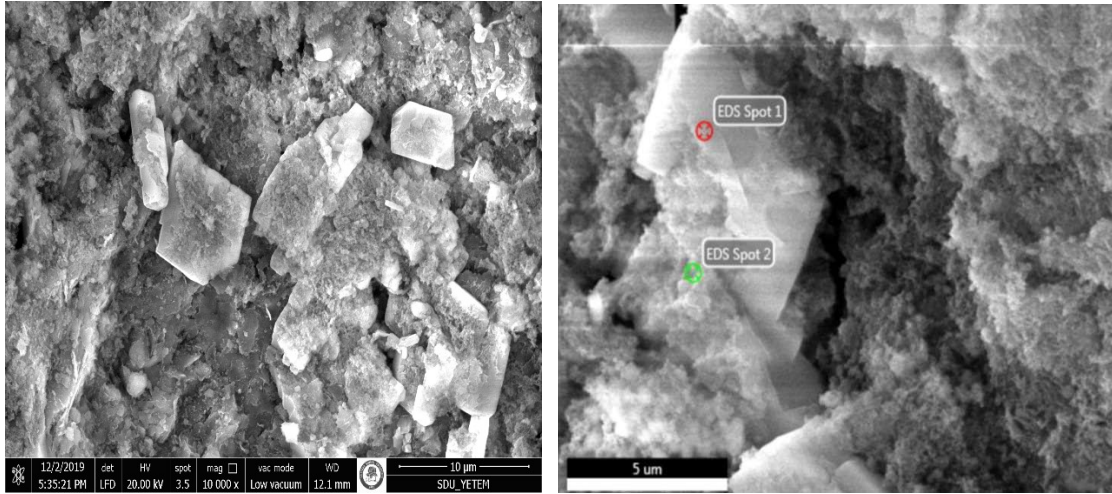


Şekil Ek-2. 6. SH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

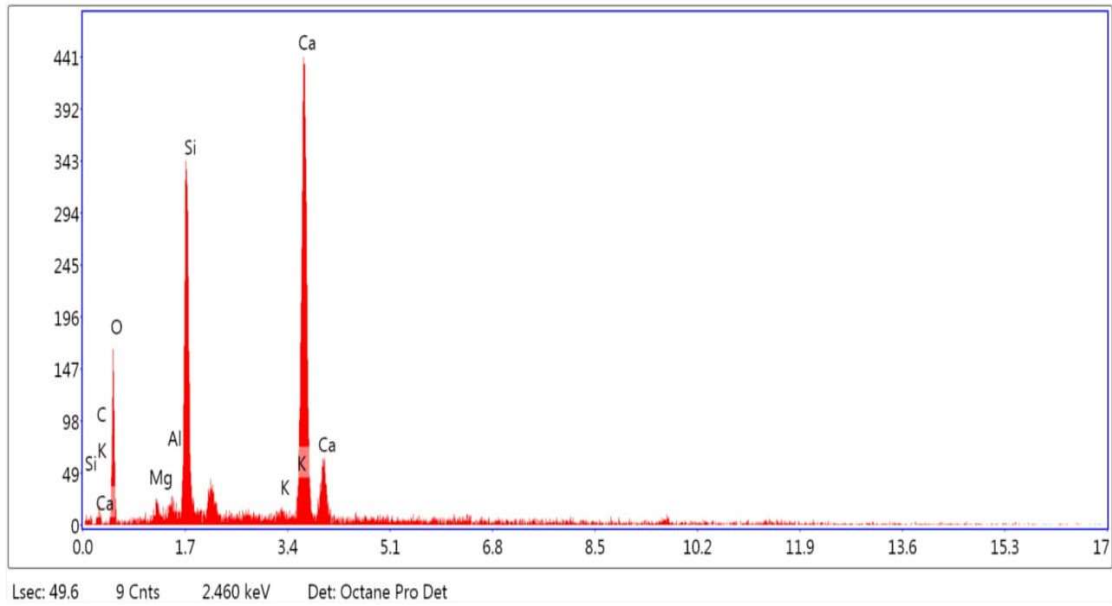
Çizelge Ek-2.3. SH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca	C
Wt %	35,91	0,37	0,76	5,47	45,61	11,88

Ek-2



Şekil Ek-2. 7. HH1 harcı SEM görüntüleri

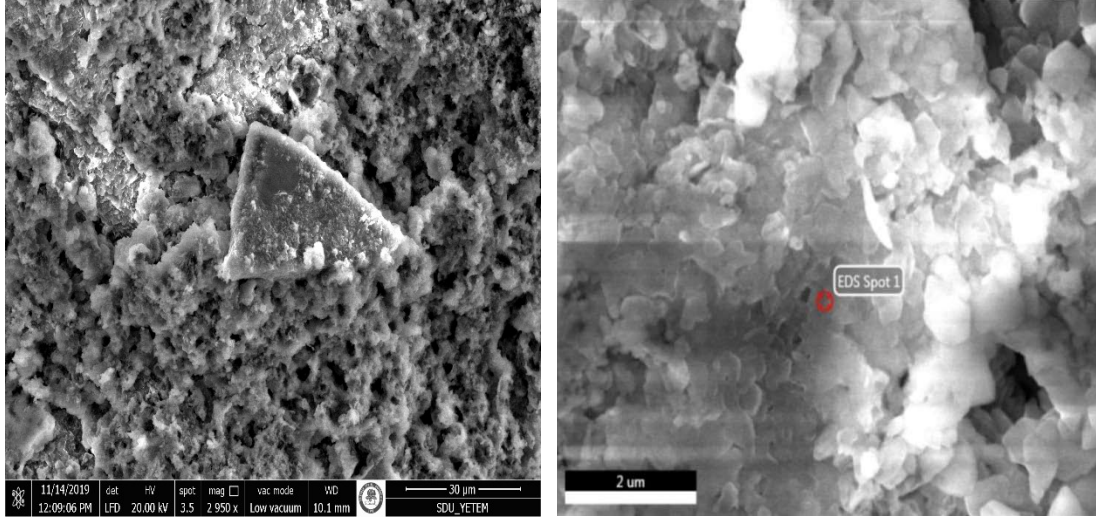


Şekil Ek-2. 8. HH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

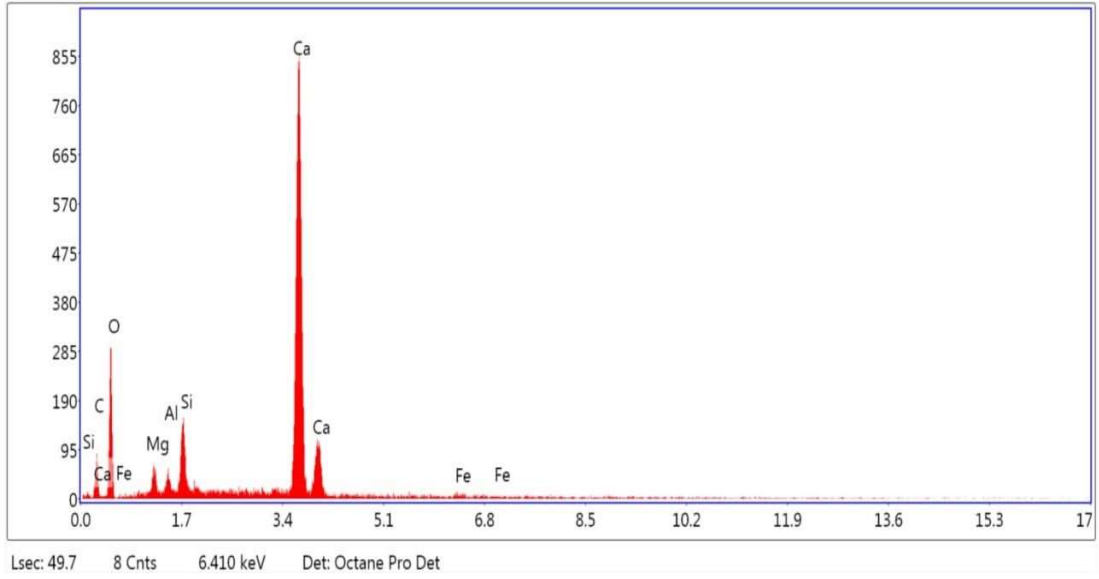
Çizelge Ek-2.4. HH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca	C	K
Wt %	40,71	0,35	0,29	14,63	40,08	3,68	0,26

Ek-2



Şekil Ek-2. 9. HH8 harcı SEM görüntüleri

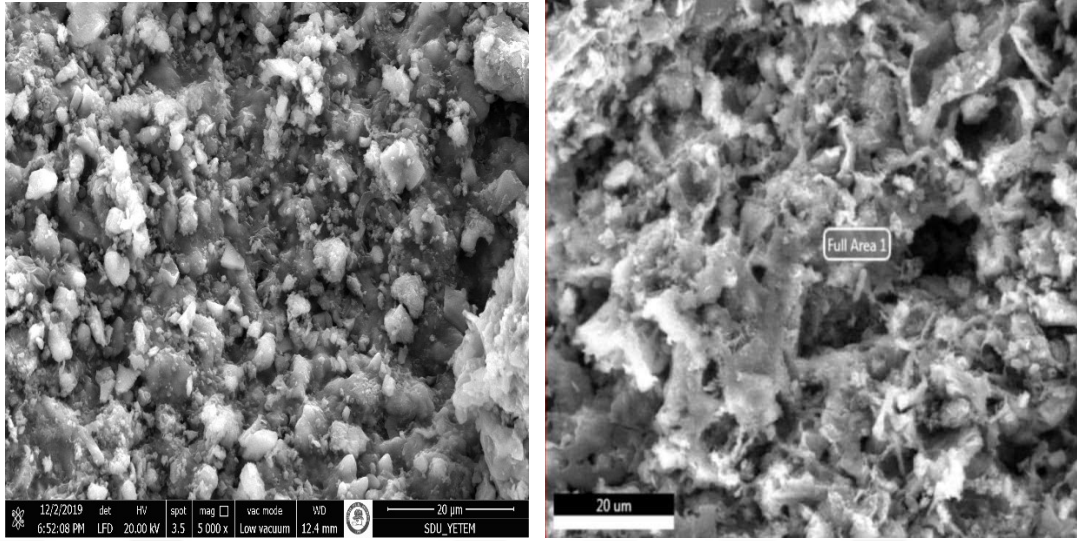


Şekil Ek-2. 10. HH8 harcı bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

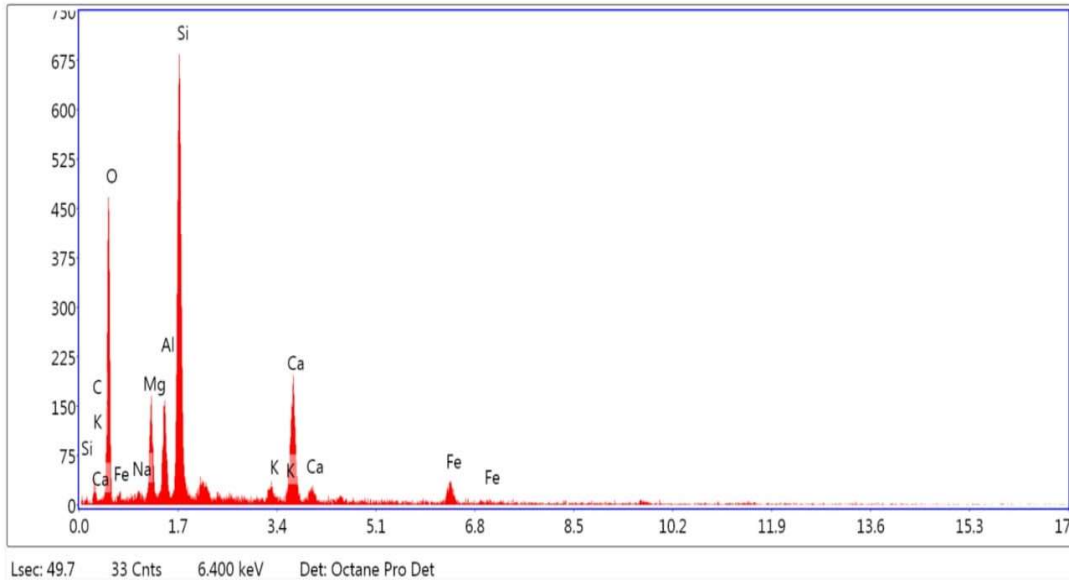
Çizelge Ek-2. 5. HH8 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	3,02	1,86	8,69	69,54	1,48

Ek-2



Şekil Ek-2. 11. CT3 tuğla SEM görüntüleri

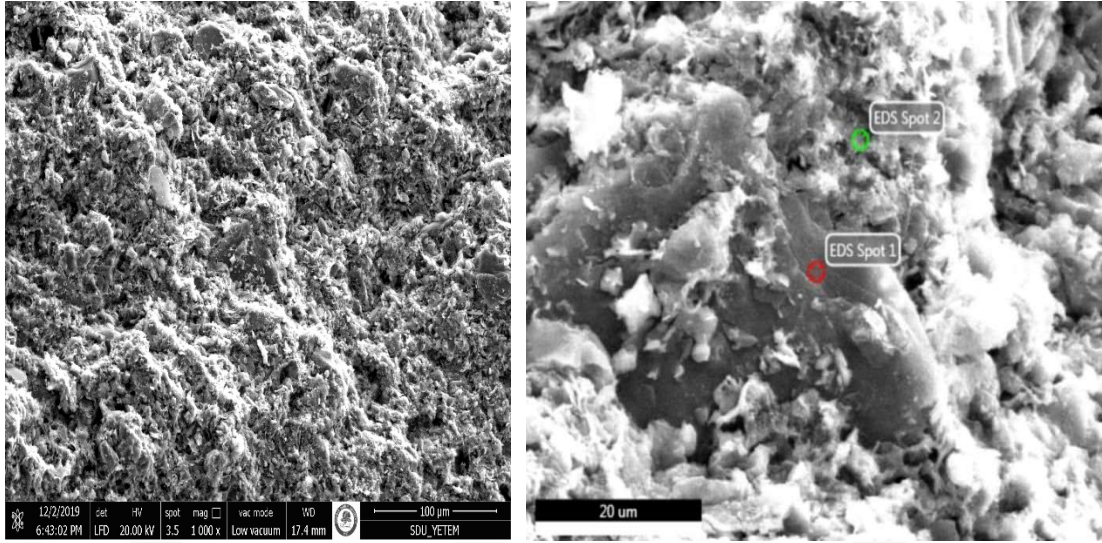


Şekil Ek-2. 12. CT3 tuğla EDX diyagramı

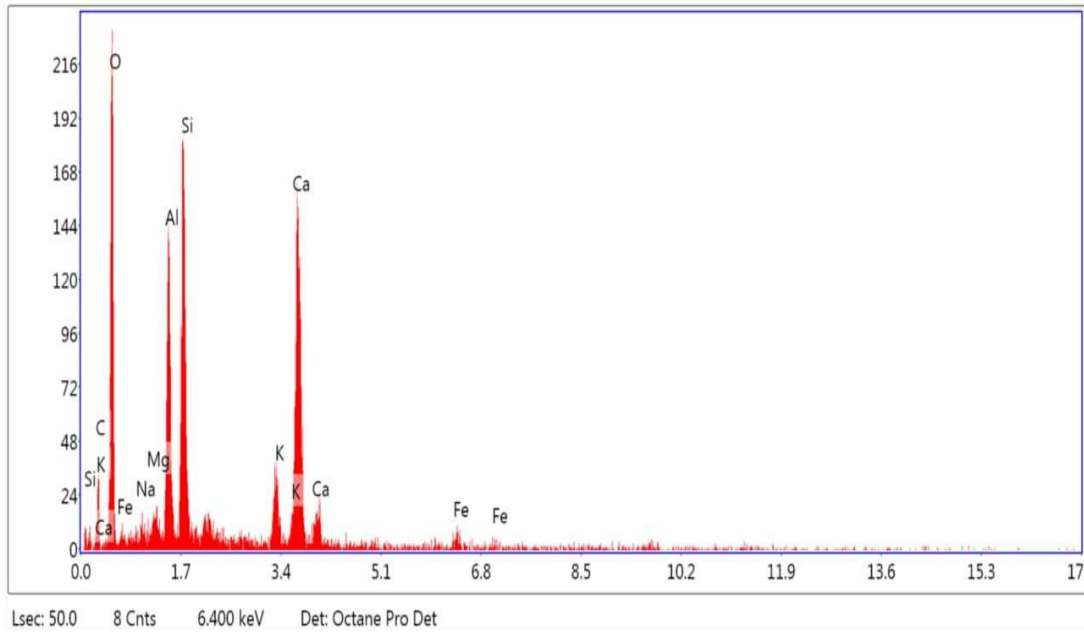
Çizelge Ek-2. 6. CT3 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Wt %	8,49	9,02	45,91	15,31	6,56	1,36	1,02

Ek-2



Şekil Ek-2. 13. ST1 tuğla SEM görüntüleri

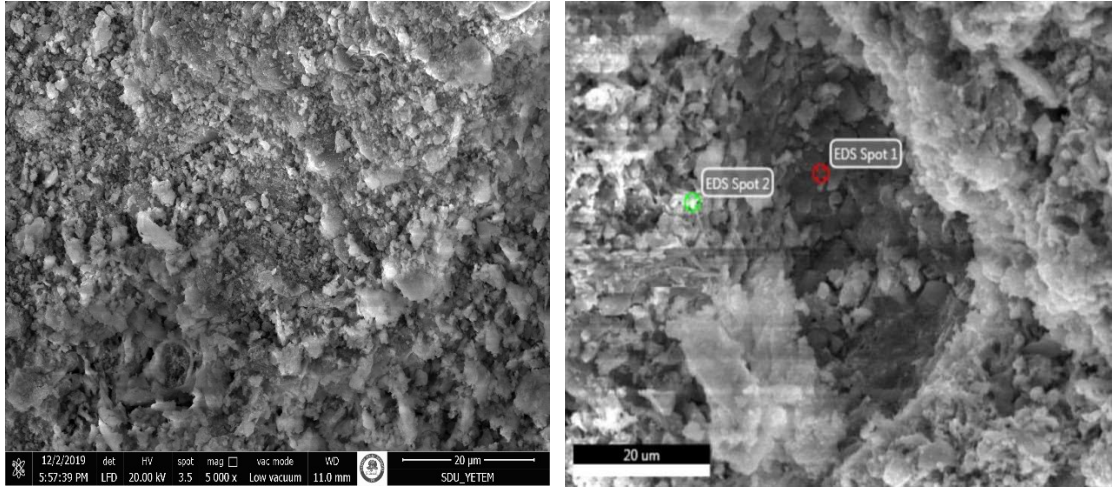


Şekil Ek-2. 14. ST1 tuğla EDX diyagramı

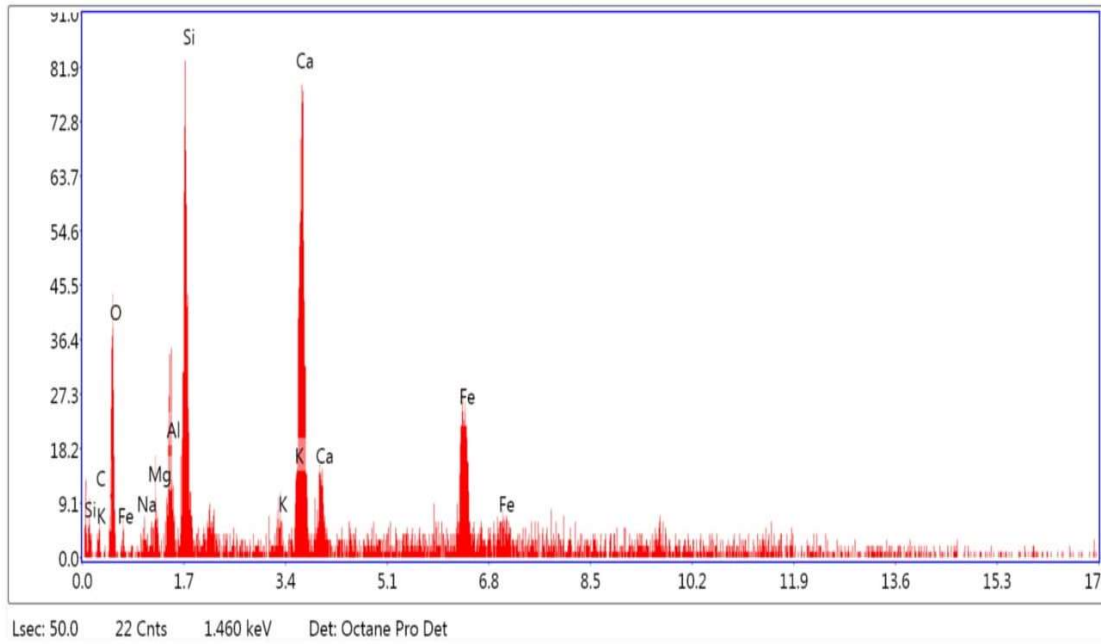
Çizelge Ek-2. 7. ST1 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	Na	Mg	Al	Si	K	Fe	Ca	O
Wt %	7,71	1,61	1,42	9,18	12,34	3,34	2,15	21,47	40,76

Ek-2



Şekil Ek-2. 15. ST4 tuğla SEM görüntüleri

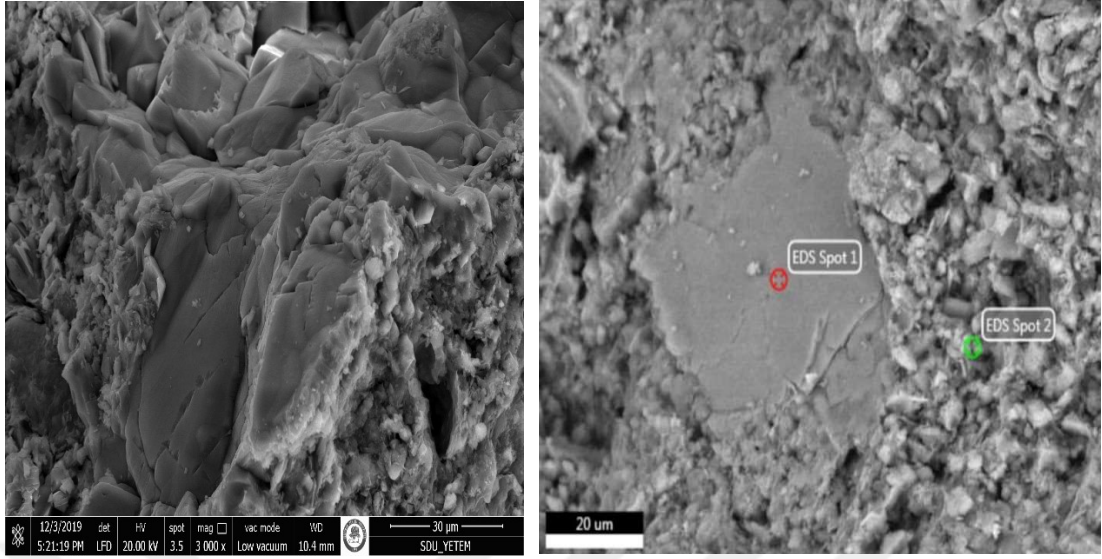


Şekil Ek-2. 16. ST4 tuğla EDX diyagramı

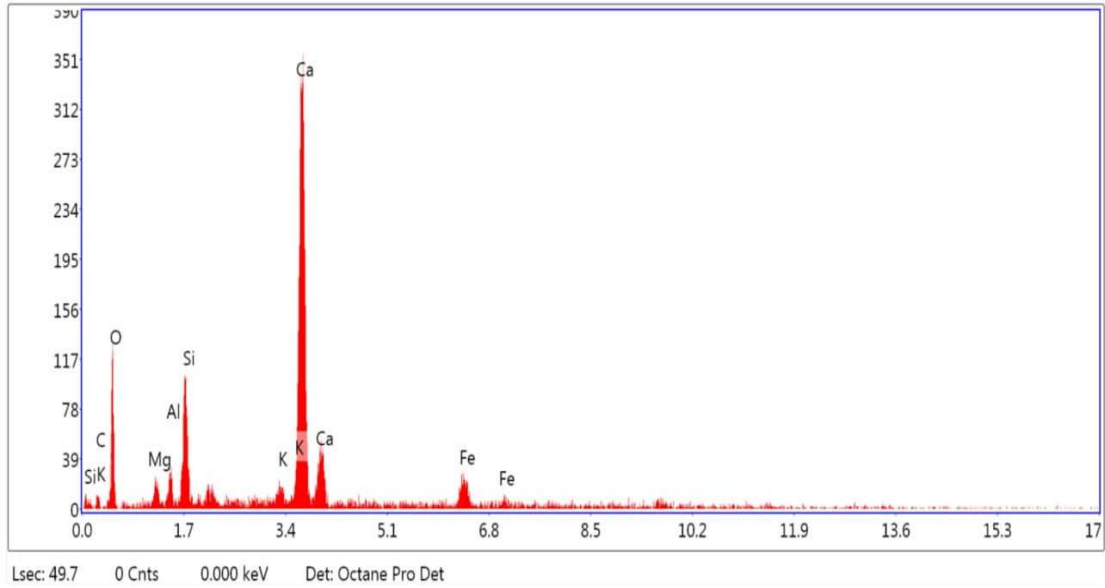
Çizelge Ek-2. 8. ST4 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	Na	Mg	Al	Si	K	Fe	Ca	O
Wt %	2,16	0,94	1,38	4,13	10,71	0,76	22,39	20,53	37

Ek-2



Şekil Ek-2. 17. HT4 tuğla SEM görüntüleri

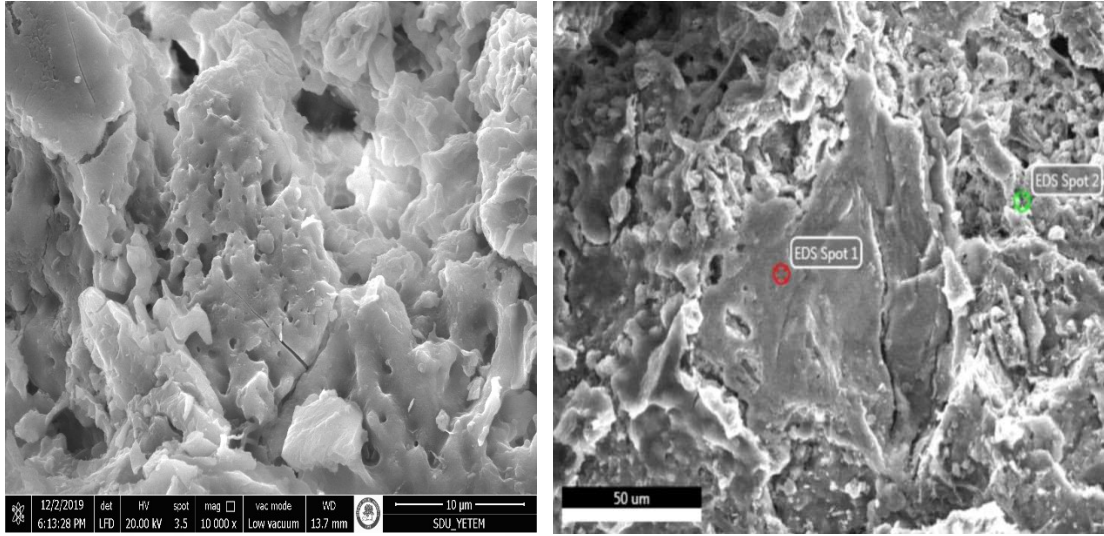


Şekil Ek-2. 18. HT4 tuğla EDX diyagramı

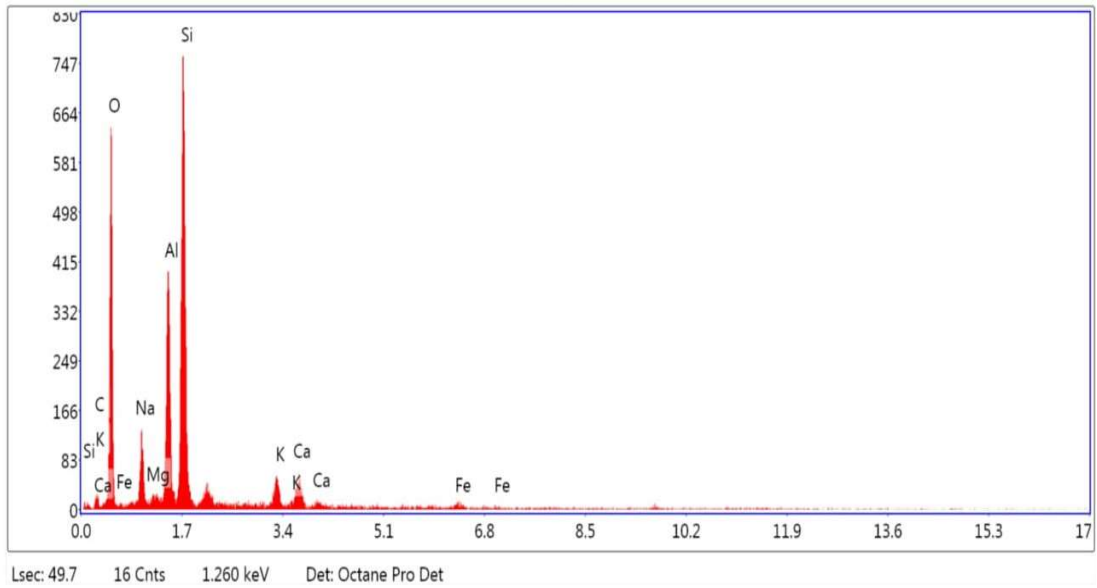
Çizelge Ek-2. 9. HT4 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	Mg	Al	Si	K	Fe	Ca	O
Wt %	2,63	1,34	1,34	6,30	1,29	8,67	44,92	33,51

Ek-2



Şekil Ek-2. 19. HT8 tuğla SEM görüntüleri

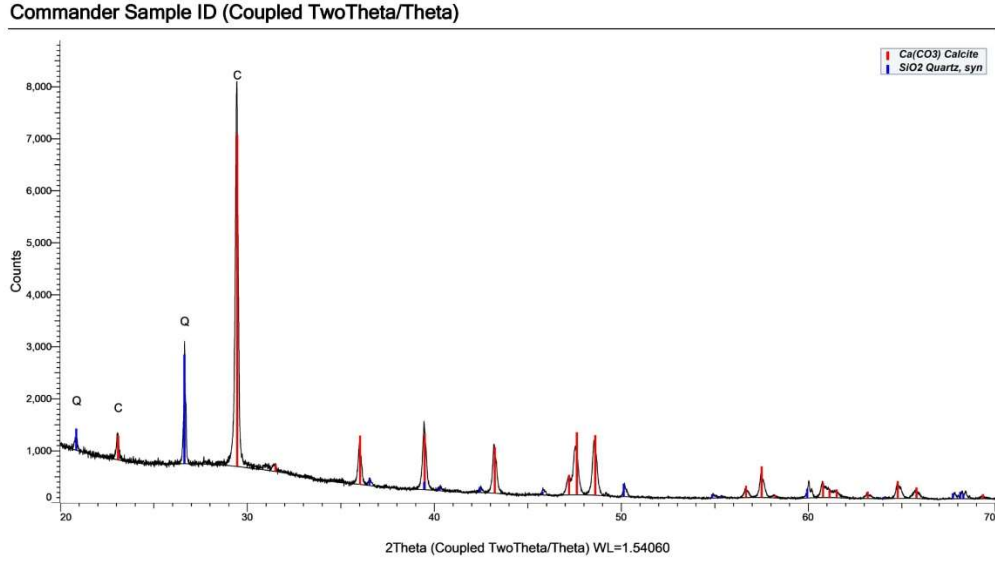


Şekil Ek-2. 20. HT8 tuğla EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 10. HT8 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	Mg	Al	Si	K	Fe	Ca	O	K
Wt %	5,57	0,67	11,59	23,15	2,30	1,18	2,94	46,39	2,30

Ek-3 Harç ve Tuğla Numunelerinin XRD Sonuçları

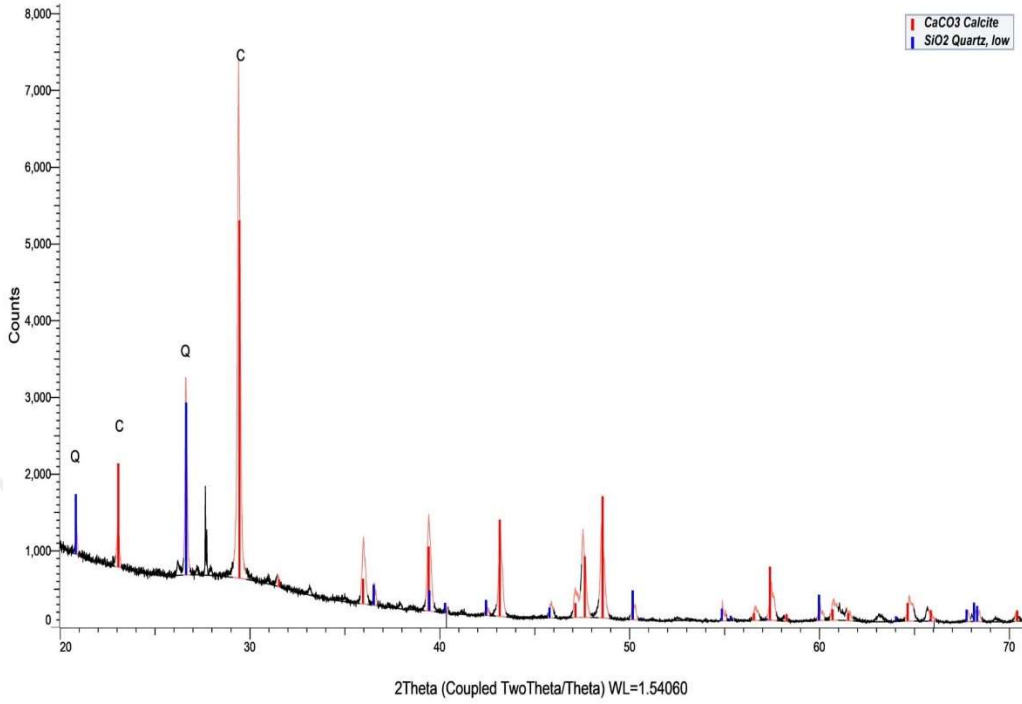


Bileşiğin Rengi	Referans kodu	Bileşiğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	01-085-1108	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98030	4.98030	17.01870	6
	01-079-1910	Quartz, syn	SiO ₂	Hexagonal	4.91400	4.91400	5.40600	3

Şekil Ek-3. 1. SH1 harç XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

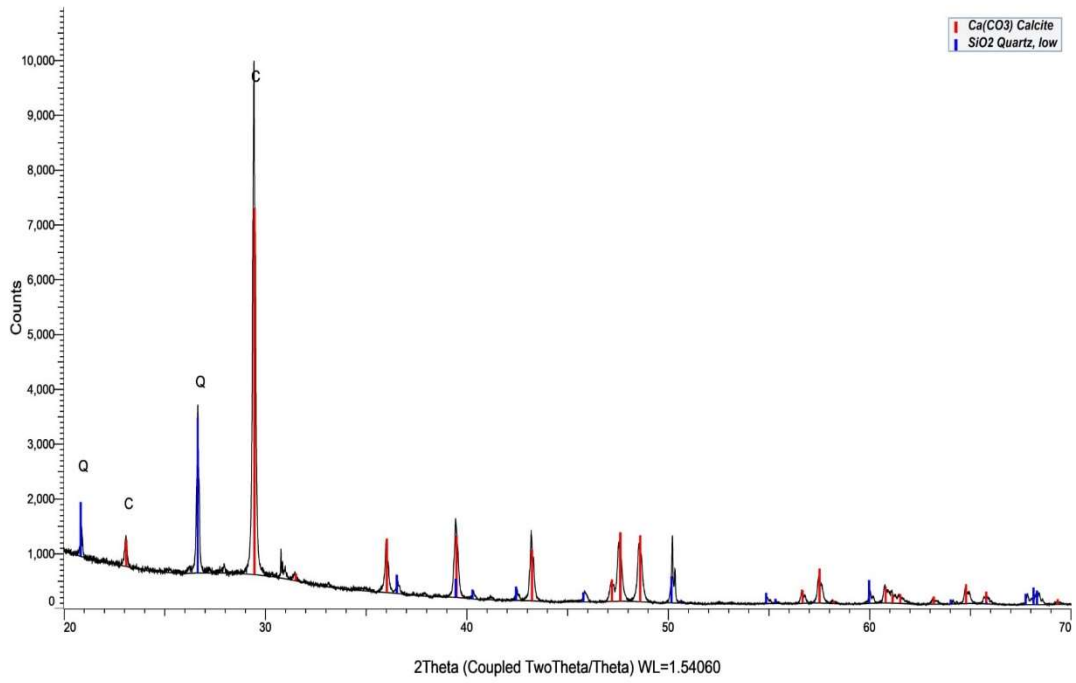


Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	00-024-0027	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.990 00	4.99 000	17.00 200	6
	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.913 00	4.91 300	5.405 00	3

Şekil Ek-3. 2. SH4 harç XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

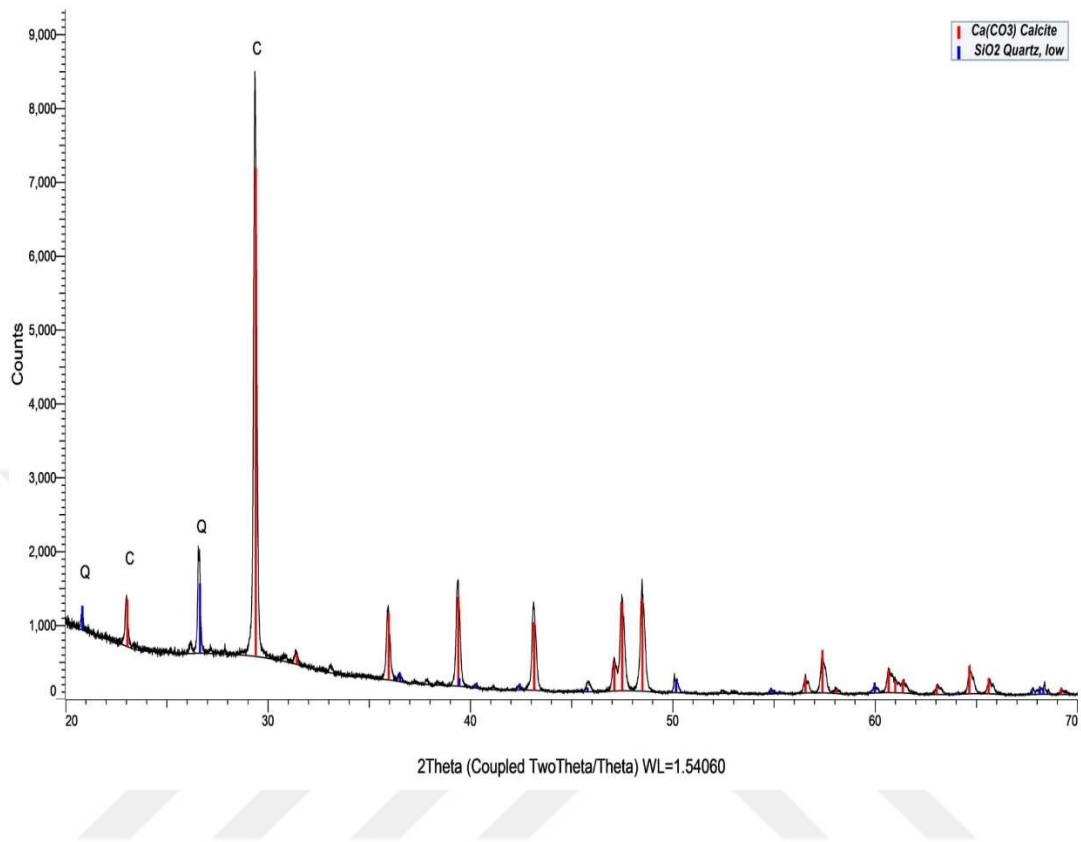


Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	01-085-1108	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98030	4.98030	17.01870	6
	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.91300	4.91300	5.40500	3

Şekil Ek-3. 3. HH1 harç XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

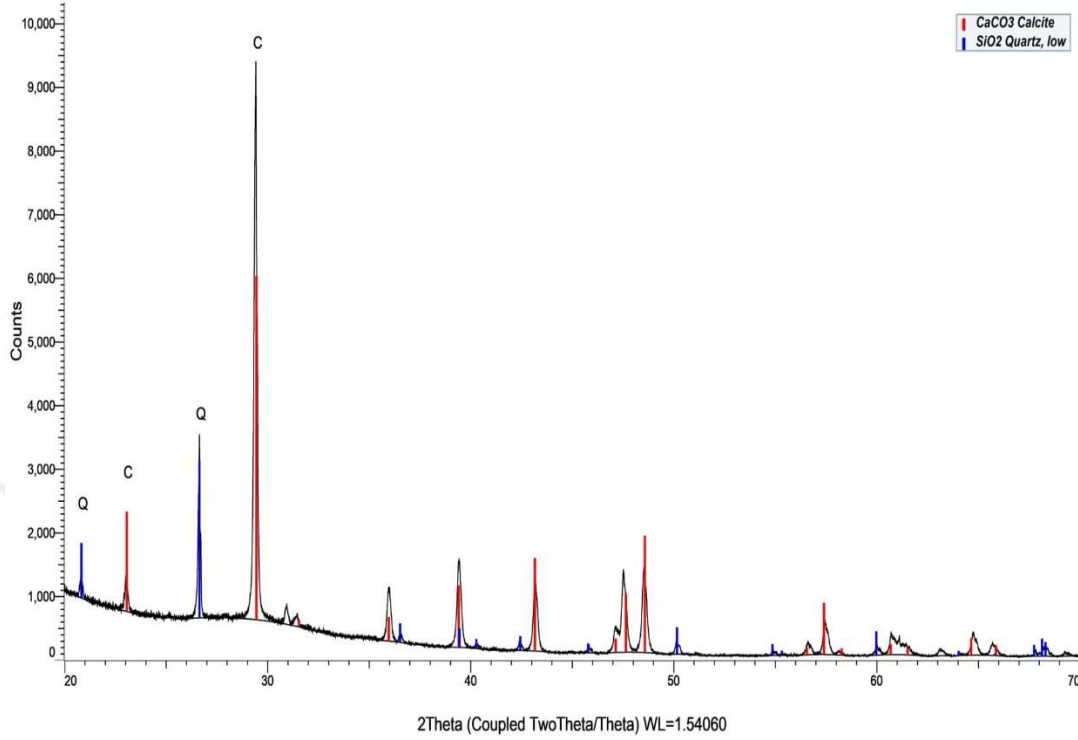


Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	01-083-1762	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98960	4.98960	17.06100	6
	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.91300	4.91300	5.40500	3

Şekil Ek-3. 4. HH4 harç XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

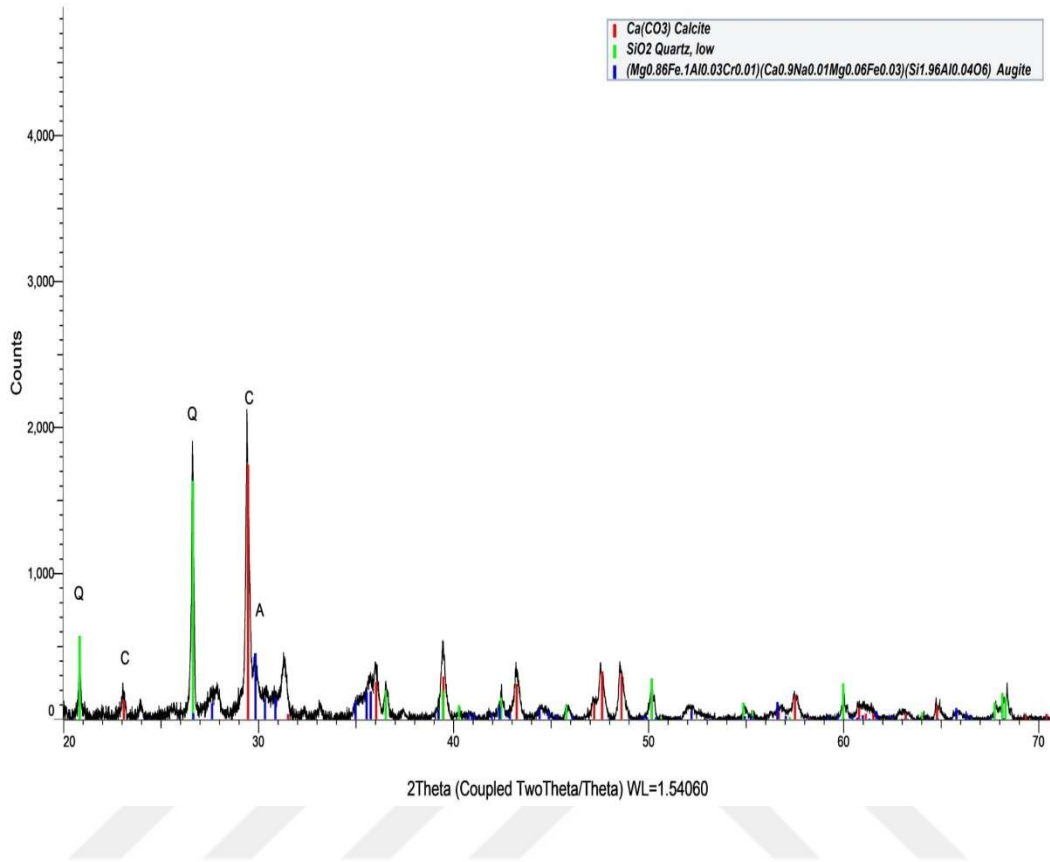


Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	00-024-0027	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.99000	4.99000	17.00200	6
	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.91300	4.91300	5.40500	3

Şekil Ek-3. 5. HH8 harç XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

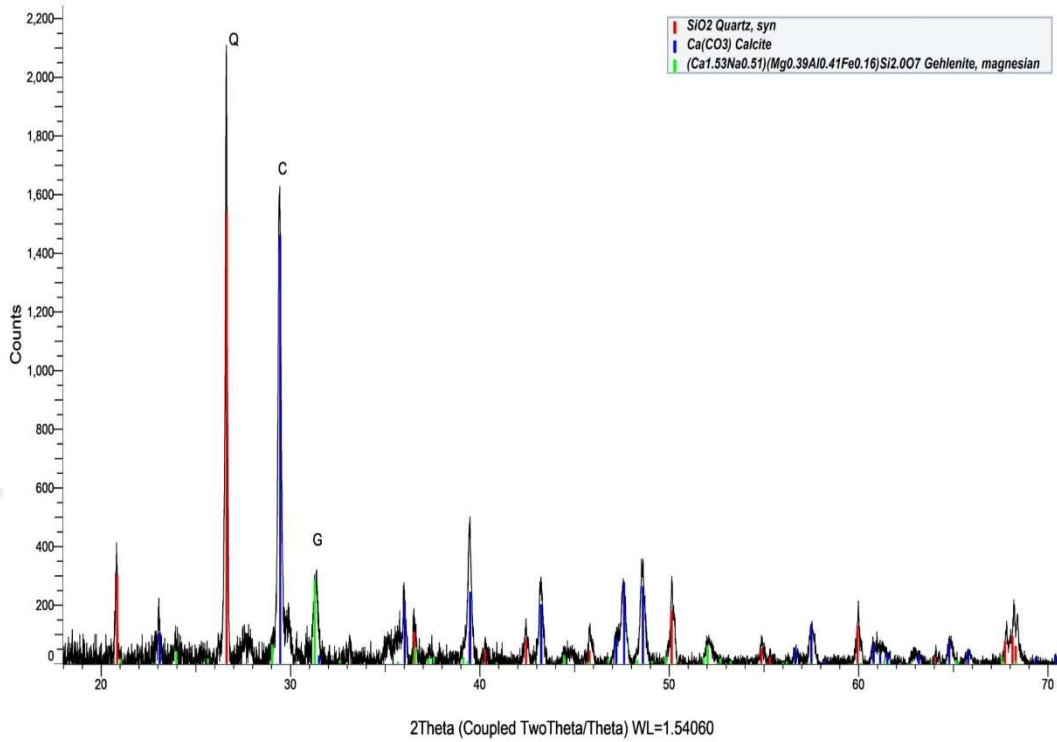


Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	01-085-1108	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98030	4.98030	17.01870	6
	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.91300	4.91300	5.40500	3
	01-073-8528	Augite	(Mg _{0.86} Fe _{1.1} Al _{0.03} Cr _{0.01})(Ca _{0.9} Na _{0.01} Mg _{0.06} Fe _{0.03})(Si _{1.96} Al _{0.04} O ₆)	Monoclinic	9.74000	8.91100	5.25300	4

Şekil Ek-3. 6. CT1 tuğla XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

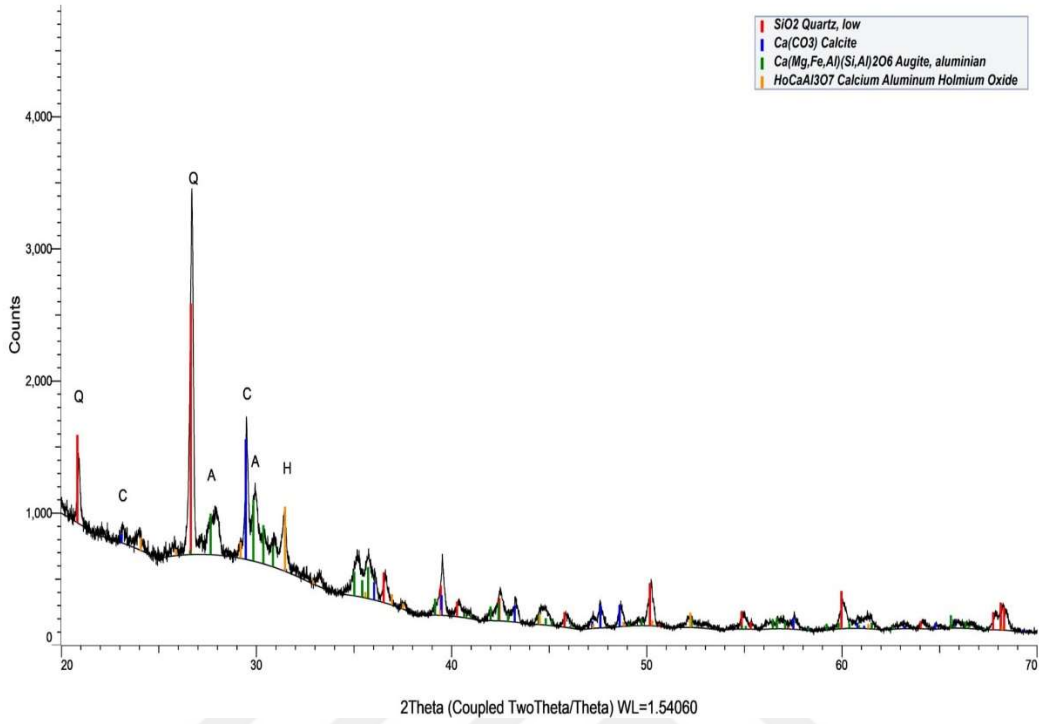


Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
Red	01-079-1910	Quartz, syn	SiO ₂	Hexagonal	4.91400	4.91400	5.40600	3
Blue	01-085-1108	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98030	4.98030	17.01870	6
Green	01-072-2127	Gehlenite, magnesia	(Ca1.53Na0.51)(Mg0.39Al0.41Fe0.16)	Tetragonal	7.76000	7.76000	5.02900	2

Şekil Ek-3. 7. CT3 tuğla XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

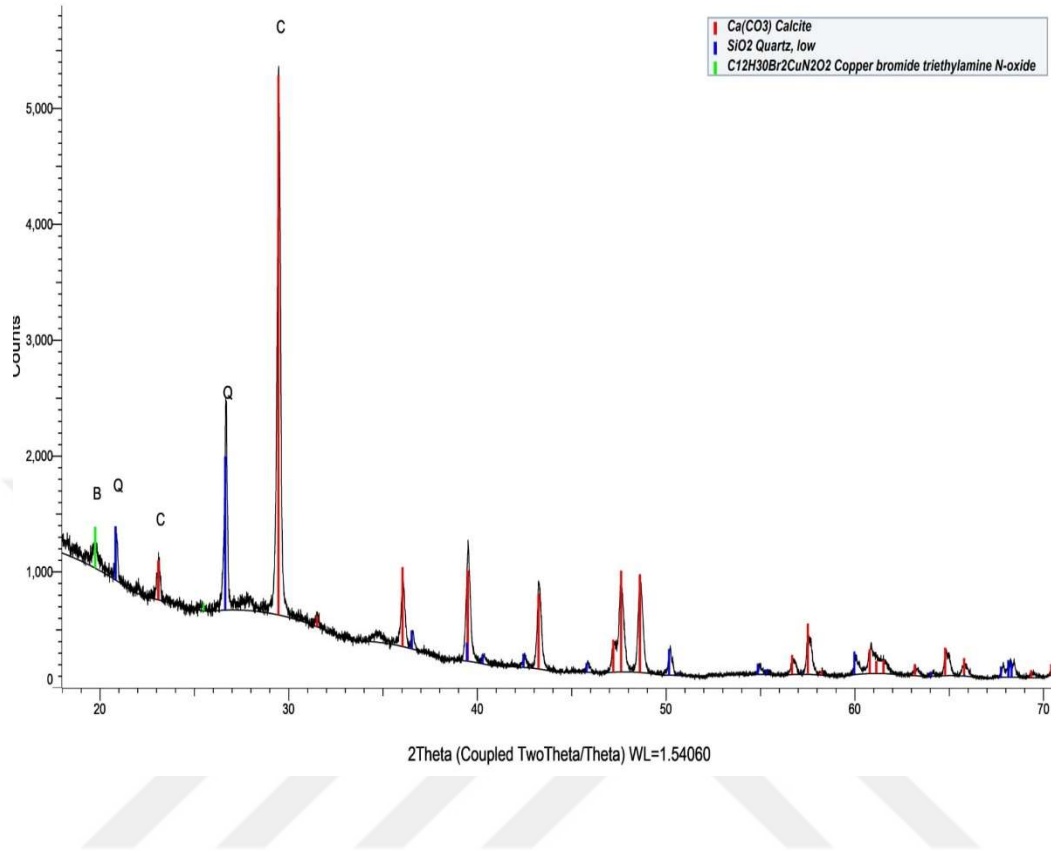


Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.91300	4.91300	5.40500	3
	01-085-1108	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98030	4.98030	17.01870	6
	00-041-1483	Augite, aluminian	Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)2O6	Monoclinic	9.74280	8.89420	5.27230	4
	00-050-1804	Calcium Aluminum Holmium Oxide	HoCaAl3O7	Tetragonal	7.68790	7.68790	5.04080	2

Şekil Ek-3. 8. ST1 tuğla XRD analizi sonuçları

Ek-3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

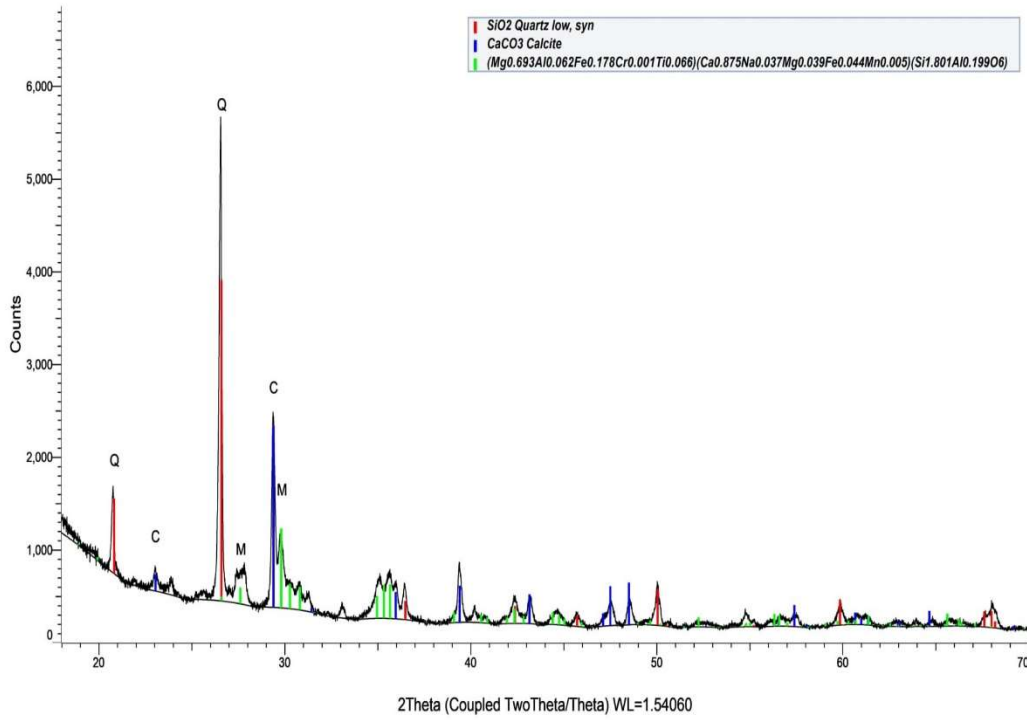


Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	01-085-1108	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98030	4.98030	17.01870	6
	00-005-0490	Quartz, low	SiO ₂	Hexagonal	4.91300	4.91300	5.40500	3
	00-030-1636	Copper bromide triethylamine N-oxide	C ₁₂ H ₃₀ Br ₂ CuN ₂ O ₂	-	-	-	-	-

Şekil Ek-3. 9. HT4 tuğla XRD analizi sonuçları

Ek-3

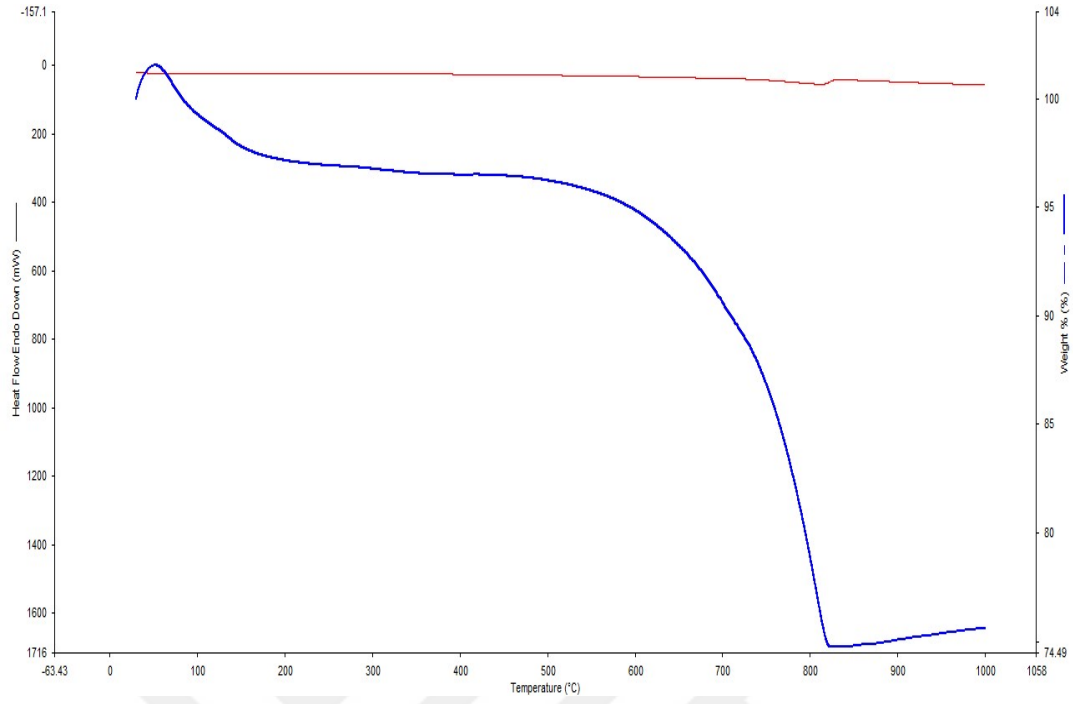
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



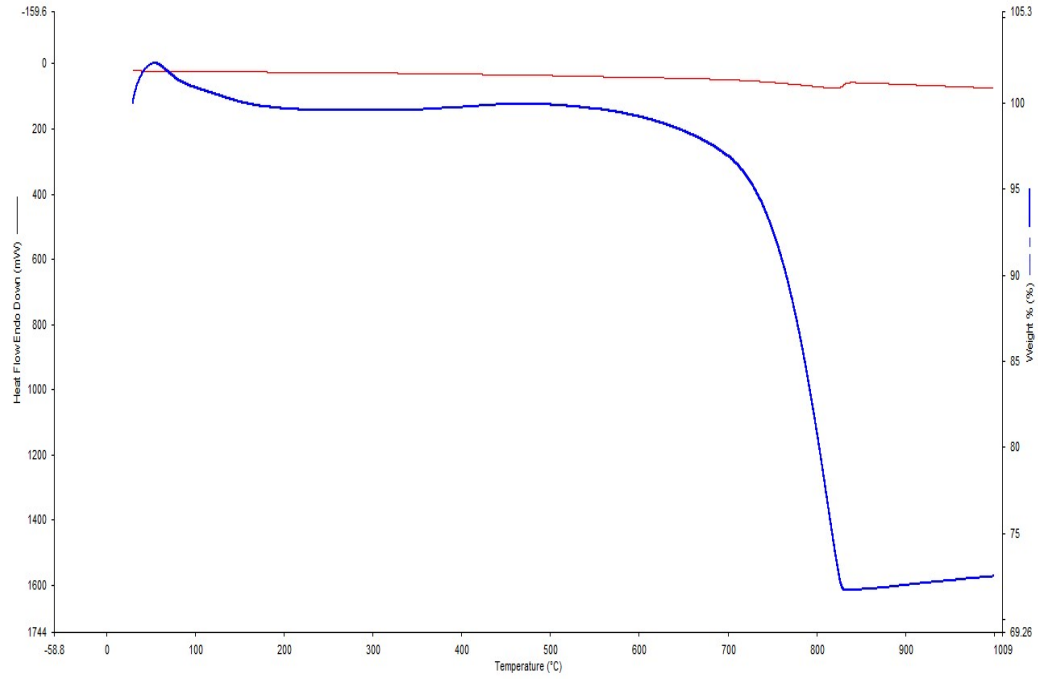
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri			Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	
	01-089-1961	Quartz low, syn	SiO ₂	Hexagonal	4.92100	4.92100	5.41600	3
	00-047-1743	Calcite	CaCO ₃	Rhombo.H. axes	4.98960	4.98960	17.06100	6
	01-088-0857	Sodium Calcium Magnesium Aluminum Iron Titanium Aluminum Silicate	(Mg _{0.693} Al _{0.062} Fe _{0.178} Cr _{0.001} Ti _{0.066})(Ca _{0.875} Na _{0.037} Mg _{0.039} Fe _{0.044} Mn _{0.005})(Si _{1.801} Al _{0.199} O ₆)	Monoclinic	9.75600	8.90300	5.28300	4

Şekil Ek-3. 9. HT8 tuğla XRD analizi sonuçları

Ek-4 Harç Numunelerinin TG-DTA Sonuçları

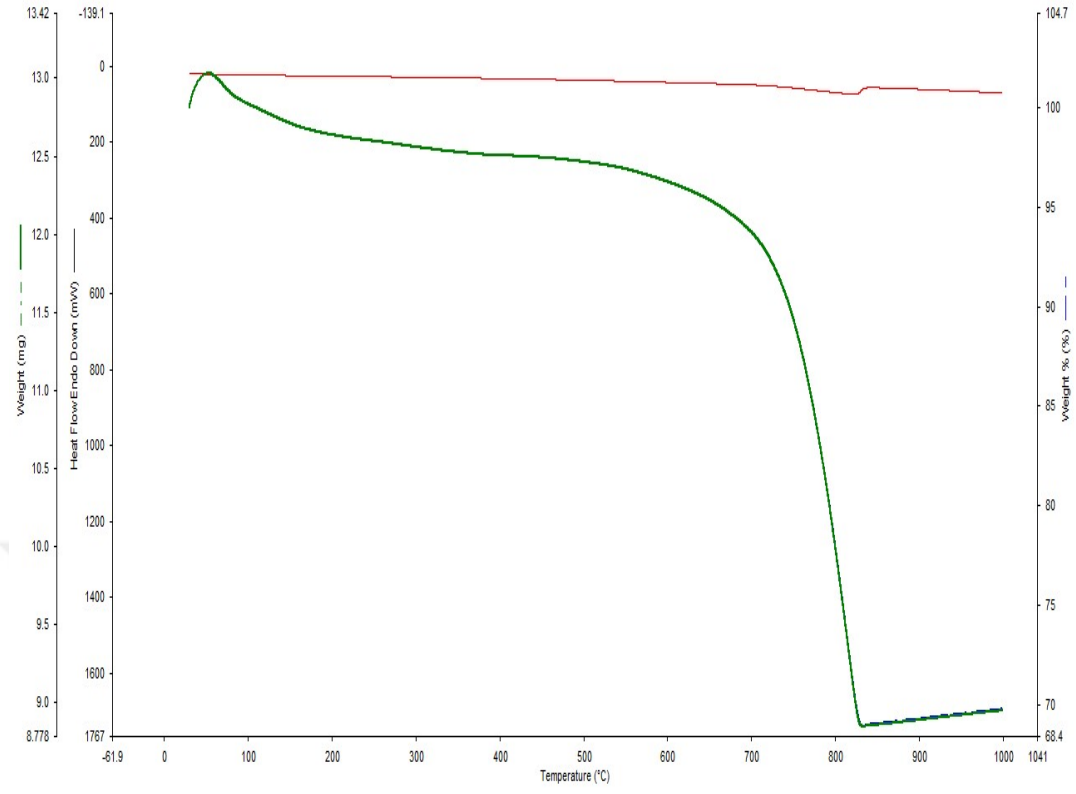


Şekil Ek-4. 1. SH1 numunesi TGA/DTA sonuçları



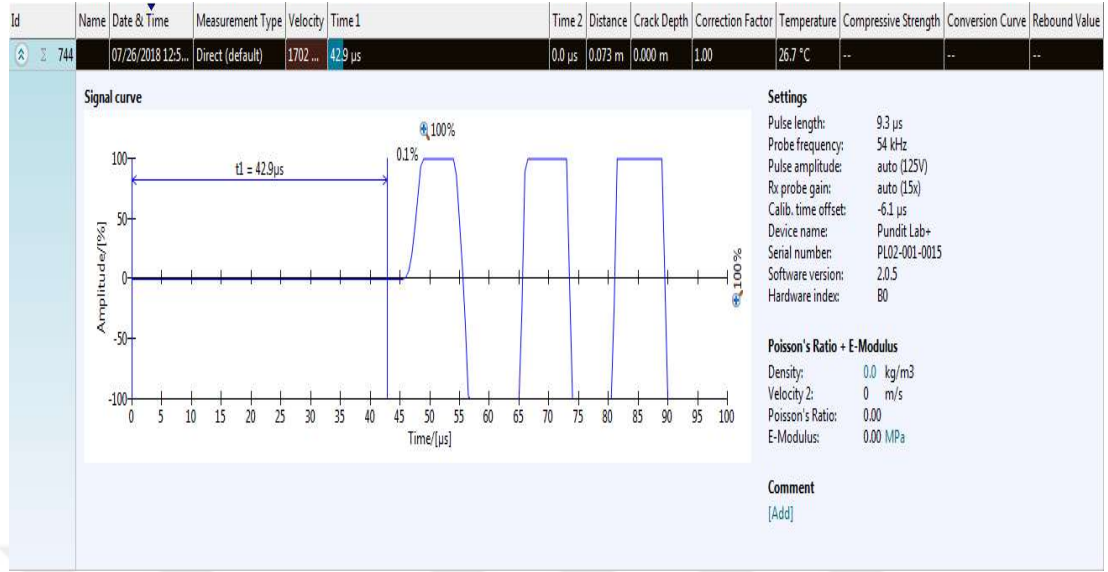
Şekil Ek-4. 2. HH4 numunesi TGA/DTA sonuçları

Ek-4

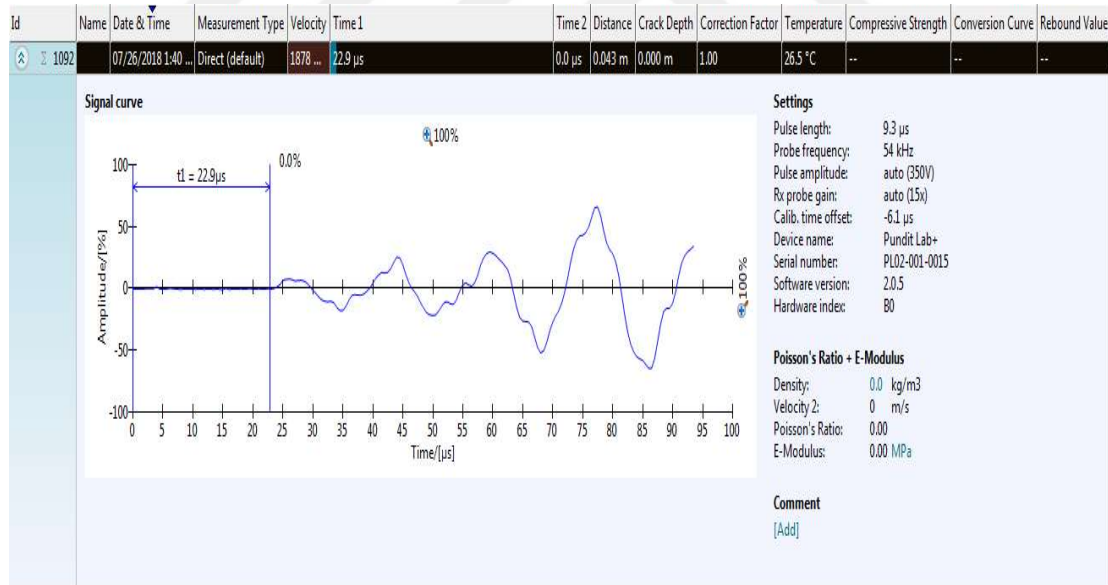


Şekil Ek-4. 3. HH8 numunesi TGA/DTA sonuçları

Ek-5 Tuğla Numunelerinin Ultrases Sonuçları

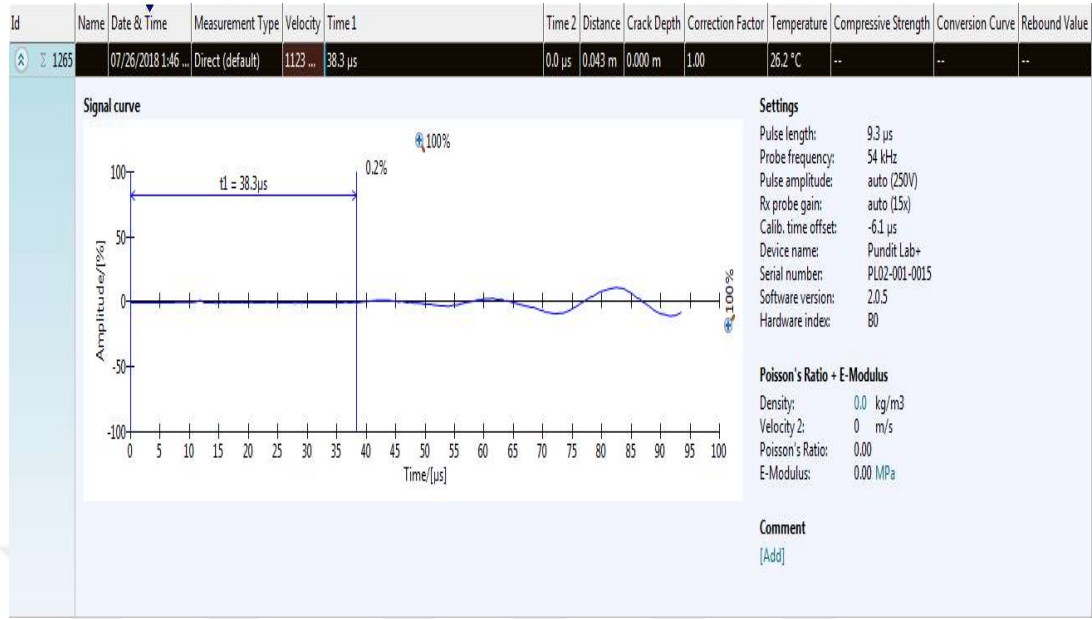


Şekil Ek-5. 1. CT2 tuğla ultrases grafiği

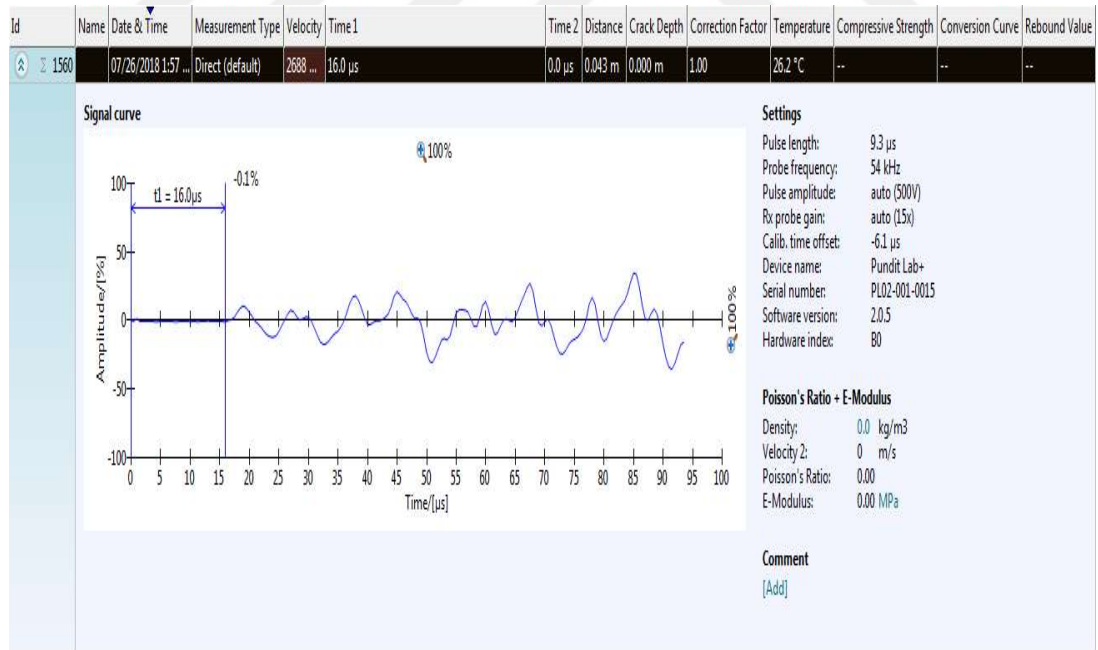


Şekil Ek-5. 2. CT3 tuğla ultrases grafiği

Ek-5



Şekil Ek-5. 3. ST1 tuğla ultrases grafiği

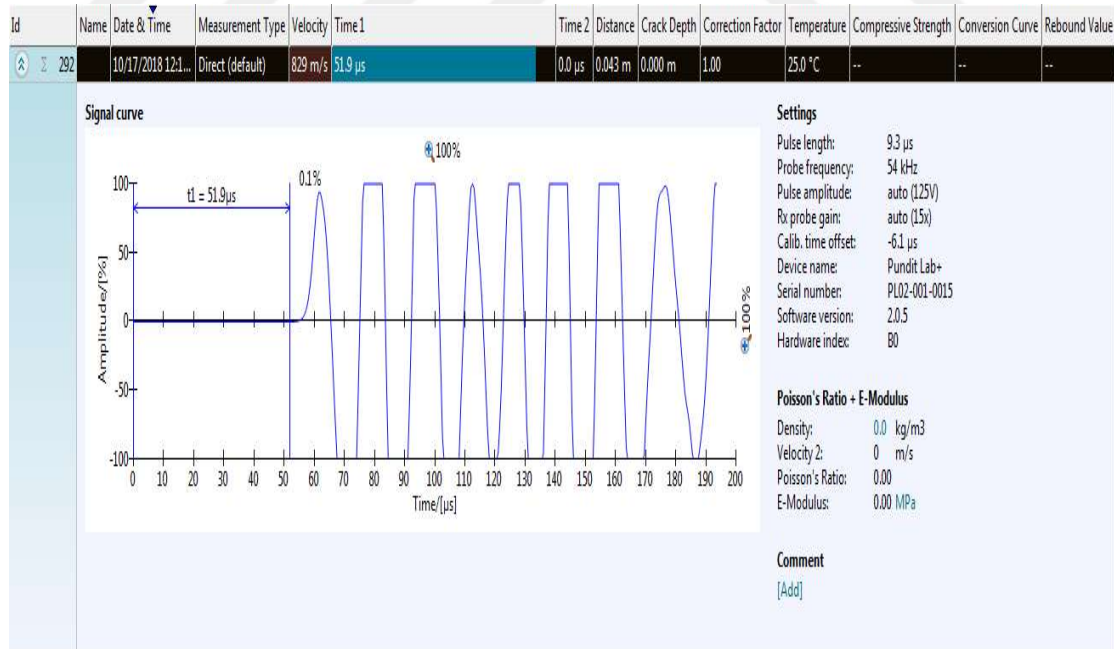


Şekil Ek-5. 4. ST2 tuğla ultrases grafiği

Ek-5

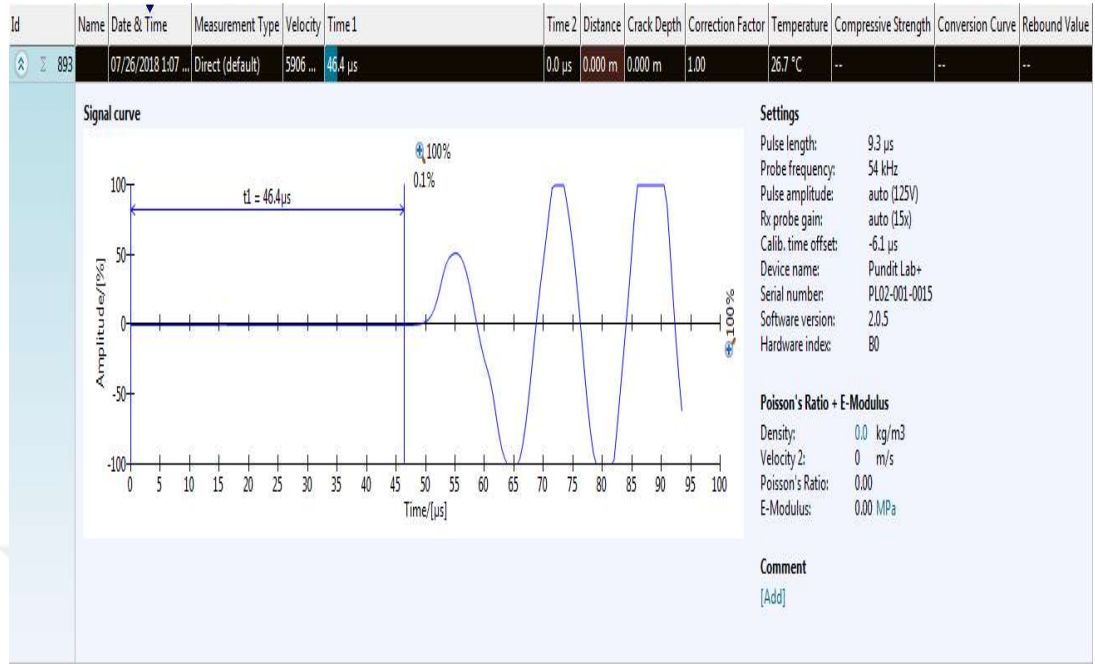


Şekil Ek-5. 5. ST3 tuğla ultrases grafiği

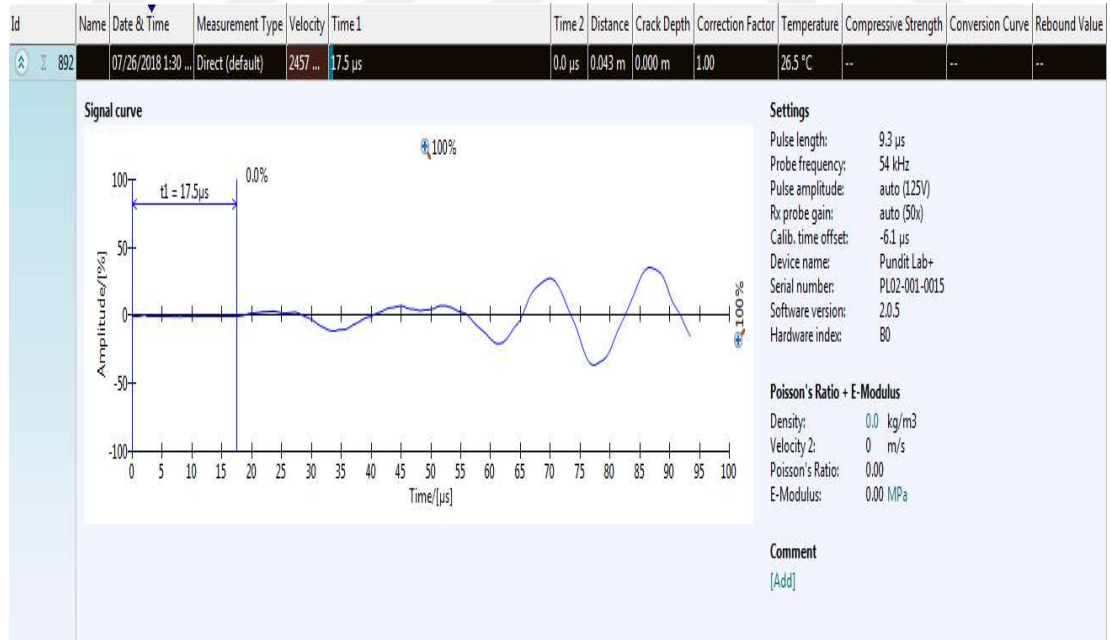


Şekil Ek-5. 6. ST4 tuğla ultrases grafiği

Ek-5

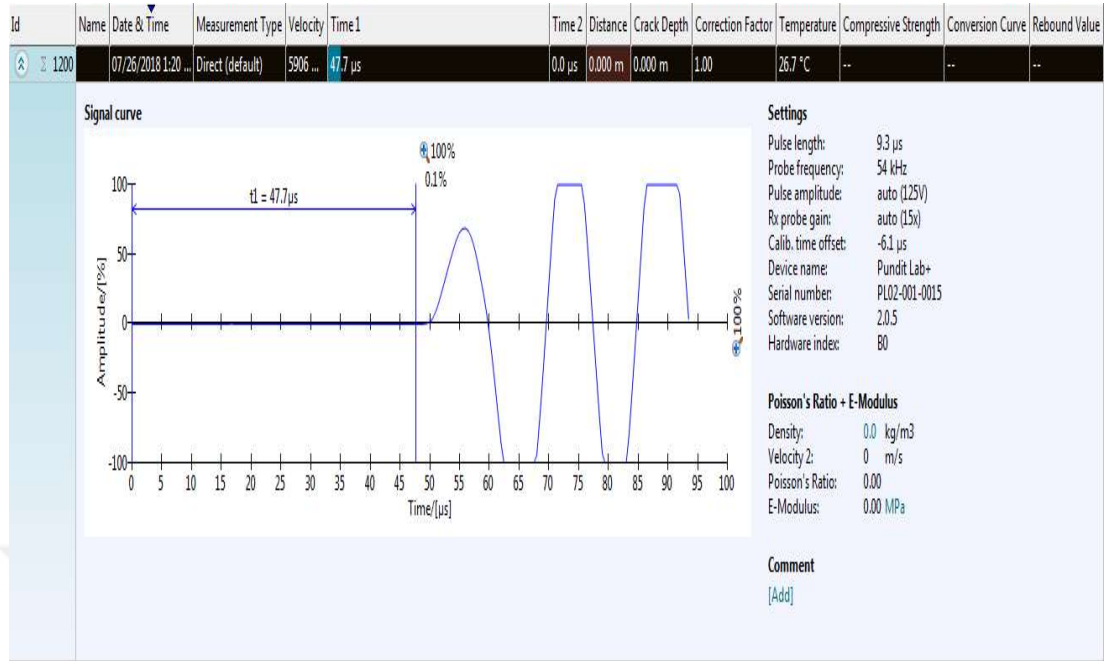


Şekil Ek-5. 7. HT1 tuğla ultrases grafiği

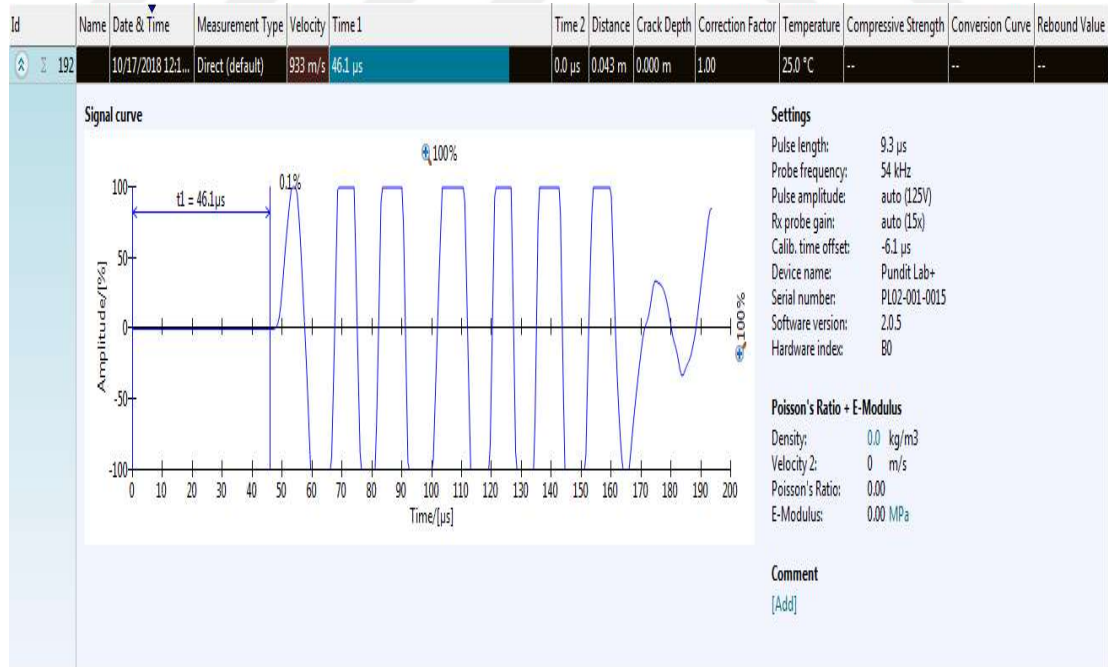


Şekil Ek-5. 8. HT2 tuğla ultrases grafiği

Ek-5

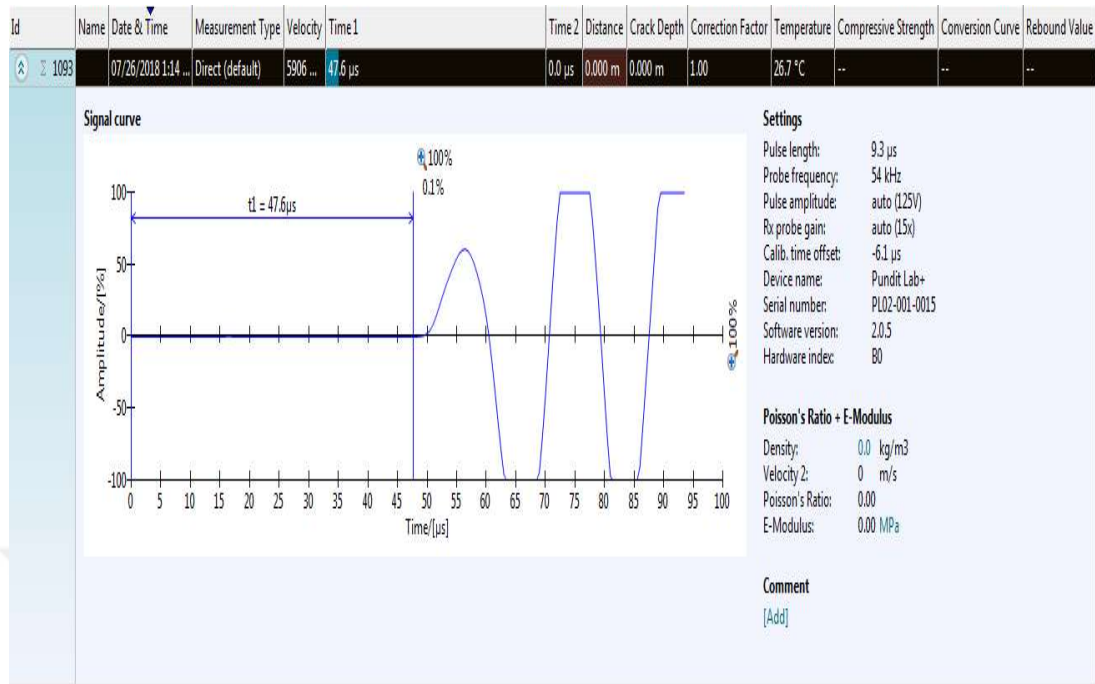


Şekil Ek-5. 9. HT3 tuğla ultrases grafiği

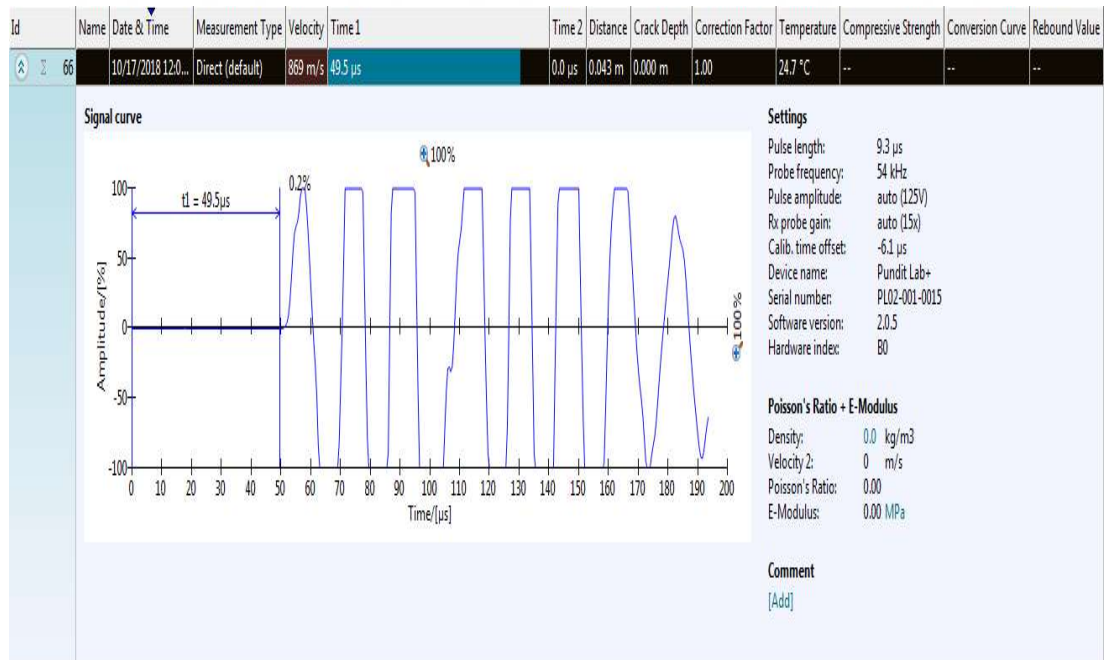


Şekil Ek-5. 10. HT4 tuğla ultrases grafiği

Ek-5

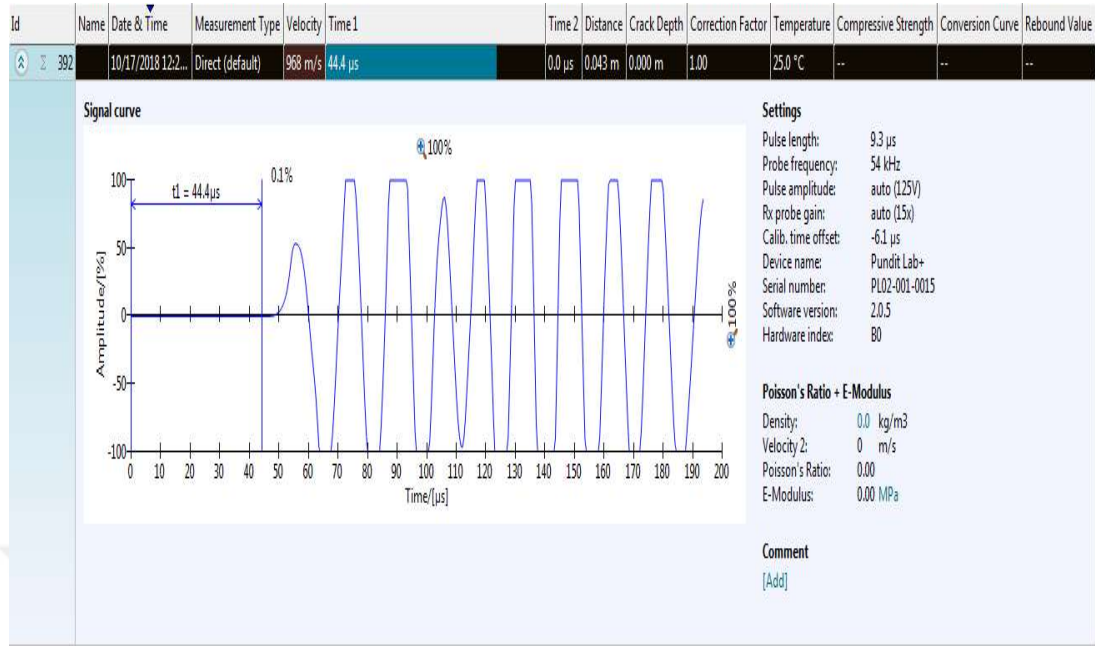


Şekil Ek-5. 11. HT5 tuğla ultrases grafiği

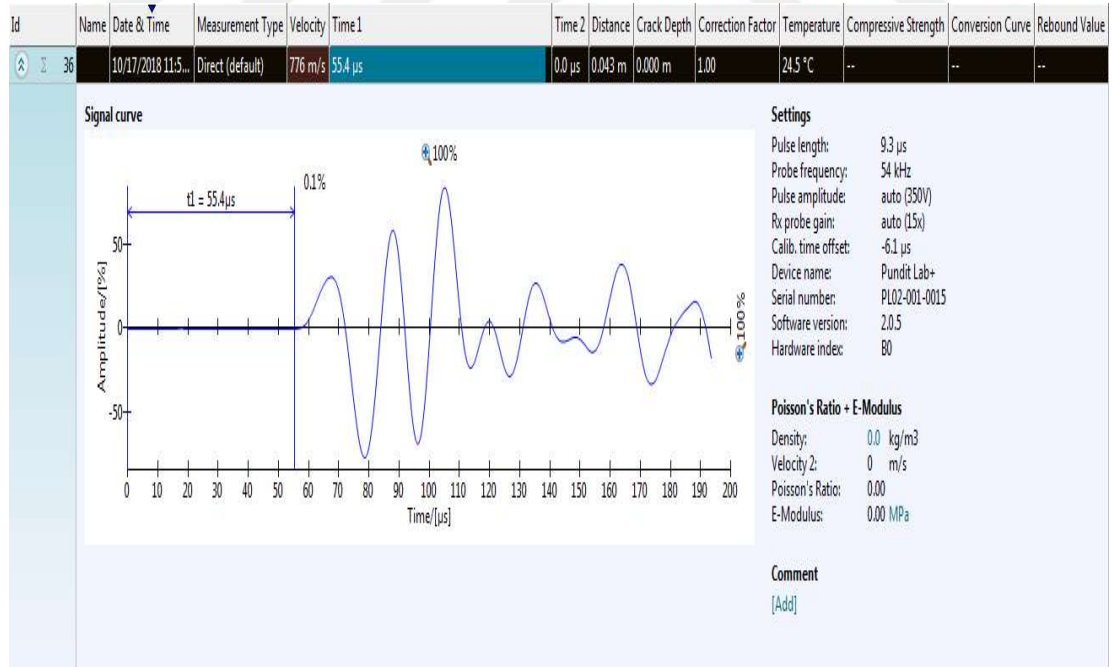


Şekil Ek-5. 12. HT6 tuğla ultrases grafiği

Ek-5



Şekil Ek-5. 13. HT7 tuğla ultrases grafiği



Şekil Ek-5. 14. HT8 tuğla ultrases grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Dila METİN
dilametin7@outlook.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2016-2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans	Bayburt Üniversitesi
2011-2016	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Kontrol Elemanı İnş. Müh.	Sarıtaş Yapı Denetim A.Ş. /Antalya
2016-2019	