

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MYRA VE LİMANI ANDRIAKE’DE KULLANILAN ÖZGÜN MALZEME
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Cem OĞUZ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2013

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MYRA VE LİMANI ANDRİAKE’DE KULLANILAN ÖZGÜN MALZEME
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Cem OĞUZ

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından
2011.03.0121.014 nolu proje ile desteklenmiştir.)

2013

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MYRA VE LİMANI ANDRIAKE'DE KULLANILAN ÖZGÜN MALZEME
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Cem OĞUZ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 01/03/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fikret TÜRKER (Danışman)

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN

Yrd. Doç. Dr. Engin EMSEN

Yrd. Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL



ÖZET

MYRA VE LİMANI ANDRIAKE’DE KULLANILAN ÖZGÜN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Cem OĞUZ

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fikret TÜRKER

II. Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL

Mart 2013, 410 sayfa

Bu tez çalışmasında, Antalya İli içerisinde yer alan Myra ve limanı Andriake’de; Roma, Bizans, Selçuklu Dönemi’nde inşa edilmiş sekiz yapıda kullanılan taş, tuğla ve harç gibi yapı malzemeleri, deneysel olarak incelenmiş ve böylece karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Bu yapılardan alınan numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler ile kimyasal analizler ve mikro yapı çalışmaları gerçekleştirilerek özgün malzeme özellikleri tespit edilmiştir. Bu yapı malzemeleri arasında en fazla değişkenlik gösteren malzeme harç olduğundan onarım çalışmalarında kullanılabilecek özgün malzemeye uygun özelliklerde yeni bir harç önerisi geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Harç, Tuğla, SEM/EDX, Karakterizasyon, Tarihi Yapı

JÜRİ : Prof. Dr. Fikret TÜRKER (Danışman)

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN

Yrd. Doç. Dr. Engin EMSEN

Yrd. Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF ORIGINAL MATERIALS USED IN MYRA AND ANDRIAKE PORT

Cem OĞUZ

Ph.D. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fikret TÜRKER

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL

March 2013, 410 pages

In this thesis study, construction materials, namely stone, brick and mortar of eight structures built during Roman, Byzantine, Seljuk Periods in Myra and its port Andriake, located in the province of Antalya were experimentally investigated and their characteristics were identified. Properties of original materials were determined by performing physical and mechanical tests, chemical analysis and microstructural studies on specimens provided from these structures. In addition, due to the wide range of variability of mortars compared to other materials, alternative mortars having similar properties with original mortars were developed and proposed which can be used in repair works.

KEYWORDS: Mortar, Brick, SEM/EDX, Characterization, Historical Building

COMMITTEE: Prof. Dr. Fikret TÜRKER (Supervisor)

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN

Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

Asst. Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

ÖNSÖZ

Tarihi yapılar kültürel mirasımızın en önemli hazineleridir. En iyi şekilde korunmalı ve değerlendirilmelidir. Tarihi yapıları oluşturan ana malzemeler taş, tuğla ve bunları birbirine bağlayan harçtır. Bu çalışmada farklı dönemlerde inşa edilmiş olan tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş gibi yapı malzemelerinin ne tür karakteristik özelliklere sahip olduğu araştırılmış, belirlenen özgün malzeme özellikleri göz önüne alınıp, en fazla değişkenlik gösteren malzeme harç olduğundan onarım çalışmaları için bölgesel hammadde kaynakları kullanılarak aynı özelliklerde, uygun yeni bir harç karışımı önerilmektedir. Bu çalışmanın, tarihi yapılarda araştırma yapacak kişilere yol gösterici, onarım çalışmalarına yön vereceği düşünülmektedir.

Öncelikle doktora hocam olmayı kabul eden ve her konuda bilgi ve deneyimini benimle paylaşan, tezin araştırma ve deneysel çalışmaları süresi boyunca daima yanımda ve yol gösterici olan, çok değerli hocam Prof. Dr. Fikret TÜRKER'e, çalışmalarımın her bölümünde gerekli desteği veren ve yol gösteren ikinci danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL'e, tez izleme komitesinde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Nabi YÜZER'e ve Yrd. Doç. Dr. Engin EMSEN'e, kazı alanını tanıyamamda ve kazı alanındaki saha çalışmalarımda her zaman yardımcı olan ve destek veren kazı başkanı Prof. Dr. Nevzat Çevik, Arkeolog H. Onur Tıbıkoğlu, Arkeolog Afşin Aygün'e, gösterdikleri hoşgörü, anlayış ve destek nedeniyle, Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu'ndaki tüm arkadaşlarıma, deneysel çalışmalarım süresince laboratuvarlarını bana açan TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi 12.-13. Dönem Yönetim Kurulu ve laboratuvar çalışanlarına, Myra ve Andriake'de çalışmaların yapılabilmesi için gerekli izinleri sağlayan T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'ne, numunelerin mikroyapı analizlerinin yapılmasında yardımcı olan İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezi personeline, çalışmam sırasında konunun ve kavramların daha iyi anlaşılmasında gösterdikleri yardımlardan ve deneylerin yapılması aşamasındaki desteklerinden dolayı meslektaşım Yrd. Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL'a, minerolojik değerlendirmelerde yardımlarını esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Öğretim Üyeleri Doç. Dr. Fuat ERKÜL, Doç. Dr. Sibel TATAR ERKÜL

ve Dr. Sezin ÖZAKSOY’a kimyasal analizleri yapmamda laboratuvarlarını kullanmama olanak tanıyan Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve son olarak bütün bu süreçte tüm varlıklarıyla yanımda olan, katkı ve emeklerini benden esirgemeyen, anlayış ve sabırla beni destekleyen sevgili eşim Huriye Oğuz ve kızım Ceren Oğuz’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonunca desteklenen 2011.03.0121.014 no’lu “Myra ve Limanı Andriake’de Kullanılan Özgün Malzeme Özelliklerinin Araştırılması” adlı proje kapsamında gerçekleştirmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxiii
1.GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışmanın Önemi	3
1.3. Çalışmanın Yöntemi	4
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	6
2.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Taşlar	6
2.2. Tarihi Yapılarda Kullanılan Tuğlalar.....	12
2.3. Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç ve Sıvalar	16
2.3.1. Harcın tarihçesi ve kullanım teknikleri.....	18
2.3.2. Harcı oluşturan malzemeler	21
2.3.2.1. Kireç.....	22
2.3.2.2. Agrega.....	26
2.3.2.3. Puzolan.....	28
2.3.2.4. Katkı maddeleri.....	31
2.3.3. Tarihi yapılarda kullanılan harçlarla ilgili yapılan çalışmalar	32
3. MATERYAL VE METOT	46
3.1. Materyal	46
3.1.1. Bölgenin ve incelenen yapıların tanıtımı	46
3.1.1.1. Andriake Granarium	55
3.1.1.2. Andriake Plakoma	58
3.1.1.3. Andriake Liman Yapıları.....	62
3.1.1.4. Andriake Sinagog	64
3.1.1.5. Taşdibi	65
3.1.1.6. Andriake Kuzey Yerleşim	69

3.1.1.7. Myra Hamam	70
3.1.1.8. Myra Tiyatro.....	71
3.1.2. Taş, tuğla, harç ve sıva numune alma çalışmaları	74
3.2. Metot	106
3.2.1. Makroskopik gözlemler	107
3.2.2. Fiziksel analizler	109
3.2.2.1. Su emme oranı (kütlece-hacimce)	109
3.2.2.2. Birim hacim kütle (görünür yoğunluk).....	110
3.2.2.3. Özgül kütle (gerçek yoğunluk).....	110
3.2.2.4. Porozite-kompasite	111
3.2.3. Kimyasal analizler	112
3.2.3.1. Asit kaybı ve elek analizi	112
3.2.3.2. Tuz analizleri	113
3.2.3.3. pH analizi.....	118
3.2.3.4. Protein analizi.....	119
3.2.3.5. Yağ analizi.....	120
3.2.3.6. Puzolanik aktivite ve iletkenlik analizi.....	120
3.2.4. Mikro yapı analizleri	121
3.2.4.1. SEM-EDX analizi.....	121
3.2.4.2. XRD analizi	122
3.2.4.3. XRF analizi.....	123
3.2.4.4. Termal analizler.....	124
3.2.5. Mekanik analizler	125
3.2.5.1. Nokta yükleme deneyi.....	126
3.2.5.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	127
3.2.5.3. Eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	128
3.2.5.4. Ultrases deneyi	129
3.2.5.5. Elastisite modülü tayini	131
3.2.5.6. Schmidt çekici deneyi.....	132
3.2.6. Onarım harcı önerileri	132
3.2.6.1. Kullanılan malzemeler.....	133
3.2.6.2.Tasarım ve üretim.....	135

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	139
4.1. Özgün Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi	139
4.1.1. Makroskopik gözlemler	139
4.1.2. Fiziksel analizler	159
4.1.3. Kimyasal analizler	162
4.1.4. Mikro Yapı analizleri	174
4.1.5. Mekanik analizler.....	209
4.2. Onarım Harcı Özelliklerinin Belirlenmesi	219
4.2.1. Makroskopik gözlemler	219
4.2.2. Fiziksel analizler	221
4.2.3. Kimyasal analizler	222
4.2.4. Mikro yapı analizleri.....	222
4.2.5. Mekanik analizler.....	240
5. SONUÇ	249
6. KAYNAKLAR	256
7. EKLER.....	270
Ek-1 T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü’nden Alınan İzin Yazıları	271
Ek-2 Taş, Tuğla, Harç ve Sıva Numunelerinin SEM-EDX Sonuçları	277
Ek-3 Taş, Tuğla, Harç ve Sıva Numunelerinin XRD Sonuçları	358
Ek-4 Taş, Tuğla, Harç ve Sıva Numunelerinin TG-DTA Sonuçları	394
Ek-5 Taş, Tuğla, Harç Numunelerinin Ultrases Sonuçları.....	404
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

	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
C-A-H	Kalsiyum Alümina Hidrat
C-S-H	Kalsiyum Silika Hidrat
CaCl ₂	Kalsiyum Klorür
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
Ca(NO ₃) ₂	Kalsiyum Nitrat
Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
CI	Çimento İndeksi
CuSO ₄	Bakır Sülfat
E _d	Dinamik Elastisite Modülü (MPa)
f	Eğilmede çekme dayanımı (MPa)
G _k	Kuru numune ağırlığı
G _{k1}	Su dolu piknometre + kapak ağırlığı
G _{k2}	Su dolu piknometre içerisinde numune + kapak ağırlığı
HCl	Hidroklorik Asit
HI	Hidrolik İndeksi
HNO ₃	Nitrik Asit
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
k	Kompasite (Doluluk oranı,%)
NaCl	Sodyum Klorür
NH ₃	Amonyak
P	Kırılma yükü (kN)
p	Porozite (Boşluk oranı,%)

R_n	Geri sıçrama değeri (Schmidt çekici)
S_k	Kütlece su emme yüzdesi (%)
S_h	Hacimce su emme yüzdesi (%)
V	Hacim
V_u	Ultrases geçiş hızı (km/sn)
W_{Silk}	Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numunenin ağırlığı
W_{Sd}	Suya doygun haldeki numunenin havadaki ağırlığı
W_{Si}	Suya doygun haldeki numunenin su içindeki ağırlığı
W_t	Konsantrasyon (EDX analizi)

Kısaltmalar

b/a	Bağlayıcı/agrega oranı
EDS	Energy Dispersive Spektrometresi
EDX	Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektroskopisi
ICCROM	Kültürel Değerler Uluslararası Koruma ve Restorasyon Araştırmaları Merkezi
kN	Kilonewton
MPa	Megapaskal
R	Korelasyon Katsayısı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TG/DTA	Termogravimetrik/ Diferansiyal Termal Analiz
TS	Türk Standartları
XRD	X-Işını Kırınımı
XRF	X-Işını Floresans Spektrometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma alanının yer bildirim haritası.....	46
Şekil 3.2. Çalışma alanının uydu görüntüsü	47
Şekil 3.3. Myra ve Andriake haritası	49
Şekil 3.4. Andriake hava fotoğrafı doğudan 2009	52
Şekil 3.5. Andriake yerleşim planı.....	52
Şekil 3.6. Granarium hava fotoğrafı 2011.....	56
Şekil 3.7. Plakoma hava fotoğrafı 2011	59
Şekil 3.8. Liman yapıları hava fotoğrafı 2011	63
Şekil 3.9. Sinagog hava fotoğrafı 2011	65
Şekil 3.10. Taşdibi uydu görüntüsü 2011	68
Şekil 3.11. Taşdibi mânar fotoğrafı 2011.....	69
Şekil 3.12. Kuzey yerleşim yerleşim planı.....	69
Şekil 3.13. Kuzey yerleşim uydu görüntüsü ve numune alınan yapı yeri.....	70
Şekil 3.14. Hamam hava fotoğrafı 2011	71
Şekil 3.15. Tiyatro hava fotoğrafı 2011	73
Şekil 3.16. Tiyatro hava fotoğrafı 2012	73
Şekil 3.17. Granarium hava fotoğrafı 2011 numune yerleri	78
Şekil 3.18. Granarium planında numune yerleri	78
Şekil 3.19. GH1 kodlu taş duvar örgü harcı numunesi	79
Şekil 3.20. GH2 kodlu tuğla zemin harcı numunesi (murex harcı)	79
Şekil 3.21. GT2 kodlu zemin tuğla numunesi.....	79
Şekil 3.22. GT3 kodlu zemin tuğla numunesi.....	80
Şekil 3.23. GH4 kodlu taş duvar harcı numunesi.....	80
Şekil 3.24. GH5 kodlu taş duvar harcı numunesi.....	80
Şekil 3.25. GH6 kodlu taş duvar harcı numunesi.....	81
Şekil 3.26. GH7 kodlu zemin yalıtım harcı numunesi.....	81
Şekil 3.27. GH8 kodlu çatı yalıtım harcı numunesi	81
Şekil 3.28. GH9 kodlu taş duvar harcı numunesi.....	82
Şekil 3.29. GH10 kodlu taş duvar harcı numunesi	82
Şekil 3.30. GH11 kodlu zemin tuğla harcı numunesi	82

Şekil 3.31. GT11 kodlu zemin tuğla numunesi.....	83
Şekil 3.32. Plakoma hava fotoğrafı 2011 numune yerleri.....	83
Şekil 3.33. Plakoma planında numune yerleri	84
Şekil 3.34. PS1 kodlu taş numunesi	84
Şekil 3.35. PT2 kodlu tuğla numunesi	85
Şekil 3.36. PH2 kodlu tuğla duvar harç numunesi.....	85
Şekil 3.37. PP3 kodlu sıva numunesi	85
Şekil 3.38. Liman yapıları hava fotoğrafı 2011 numune yerleri	86
Şekil 3.39. Liman yapıları planında numune yerleri	86
Şekil 3.40. LH1 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	87
Şekil 3.41. LT1 kodlu tuğla duvar numunesi	87
Şekil 3.42. LH2 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	87
Şekil 3.43. LT2 kodlu tuğla duvar numunesi	88
Şekil 3.44. LH3 kodlu taş duvar harcı numunesi	88
Şekil 3.45. LH4 kodlu taş duvar harcı numunesi	88
Şekil 3.46. LH5 kodlu tuğla zemin harcı numunesi.....	89
Şekil 3.47. LH6 kodlu taş duvar harcı numunesi	89
Şekil 3.48. Sinagog hava fotoğrafı 2011 numune yerleri	90
Şekil 3.49. Sinagog planında numune yerleri	90
Şekil 3.50. SH1 kodlu taş duvar harcı numunesi	91
Şekil 3.51. SH2 kodlu taş duvar harcı numunesi	91
Şekil 3.52. SH3 kodlu taş duvar harcı numunesi	91
Şekil 3.53. SH4 kodlu zemin tuğla harcı numunesi	92
Şekil 3.54. ST4 kodlu zemin tuğla numunesi	92
Şekil 3.55. Kuzey yerleşim fotoğrafı 2011 numune yerleri	93
Şekil 3.56. Kuzey yerleşim planında numune yerleri	93
Şekil 3.57. KH1 kodlu taş duvar harcı numunesi.....	94
Şekil 3.58. KT1 kodlu tuğla numunesi	94
Şekil 3.59. Taşdibi fotoğrafı 2011 numune yerleri	95
Şekil 3.60. Taşdibi planında numune yerleri	95
Şekil 3.61. TDH1 kodlu taş duvar harcı numunesi	96
Şekil 3.62. TDH2 kodlu taş duvar harcı numunesi	96

Şekil 3.63. TDH3 kodlu taş duvar harcı numunesi	96
Şekil 3.64. TDH4 kodlu taş duvar harcı numunesi	97
Şekil 3.65. Hamam hava fotoğrafı 2011 numune yerleri	97
Şekil 3.66. Hamam planında numune yerleri	98
Şekil 3.67. HH1 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	98
Şekil 3.68. HH2 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	99
Şekil 3.69. HT2 kodlu tuğla duvar numunesi	99
Şekil 3.70. HH3 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	99
Şekil 3.71. HT3 kodlu tuğla duvar numunesi	100
Şekil 3.72. HH4 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	100
Şekil 3.73. HT4 kodlu tuğla duvar numunesi	100
Şekil 3.74. HH5 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	101
Şekil 3.75. HT5 kodlu tuğla duvar numunesi	101
Şekil 3.76. HT6 kodlu tuğla duvar numunesi	101
Şekil 3.77. HH7 kodlu tuğla duvar harcı numunesi	102
Şekil 3.78. Tiyatro hava fotoğrafı 2012 numune yerleri	102
Şekil 3.79. Tiyatro planında numune yerleri	103
Şekil 3.80. TS1 kodlu taş numunesi	103
Şekil 3.81. TH1 kodlu tuğla kemer harcı numunesi	104
Şekil 3.82. TT1 kodlu tuğla kemer numunesi	104
Şekil 3.83. TH2 kodlu tuğla kemer harcı numunesi	104
Şekil 3.84. TH3 kodlu taş duvar harcı numunesi	105
Şekil 3.85. TH4 kodlu taş duvar harcı numunesi	105
Şekil 3.86. TH5 kodlu taş duvar harcı numunesi	105
Şekil 3.87. Tarihi yapı malzemelerine uygulanan deneylerin akış şeması	106
Şekil 3.88. Mikroskop çalışmaları için numune hazırlama yöntemleri	108
Şekil 3.89. Tarihi harç numunelerde yapılan asit kaybı deneyi	113
Şekil 3.90. Tuz analizi için hazırlanan stok çözelti	114
Şekil 3.91. Klorür analizi	115
Şekil 3.92. Nitrat analizi	116
Şekil 3.93. Sülfat ve karbonat analizi	118
Şekil 3.94. pH analizi	119

Şekil 3.95. Protein analizi	119
Şekil 3.96. Yağ analizi	120
Şekil 3.97. Puzolanik aktivite ve iletkenlik analizi	121
Şekil 3.98. SEM/EDX analizi	122
Şekil 3.99. XRD analizi	123
Şekil 3.100. XRF analizi	124
Şekil 3.101. TG/DTA analizi	125
Şekil 3.102. Nokta yükleme (point-load) deneyi	127
Şekil 3.103. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (tuğla ve onarım harçlarında)	128
Şekil 3.104. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (taşlarda)	128
Şekil 3.105. Eğilmede çekme dayanımı deneyi	129
Şekil 3.106a Ultrases doğrudan ölçüm	130
Şekil 3.106b Ultrases dolaylı ölçüm	130
Şekil 3.107. Ultrases deneyi	131
Şekil 3.108. Schmidt çekici deneyi	132
Şekil 3.109. Onarım harcı agregasının granülometri eğrisi	135
Şekil 3.110. Harç karıştırma makinesi	136
Şekil 3.111. Harç sarsma tablası	137
Şekil 3.112. Harç kıvam tayini (yayılma tablası)	137
Şekil 3.113. Onarım harçları	137
Şekil 4.1. PH2 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	164
Şekil 4.2. PP3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	164
Şekil 4.3. SH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	164
Şekil 4.4. SH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	164
Şekil 4.5. GH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	165
Şekil 4.6. GH2 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	165
Şekil 4.7. GH5 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	165
Şekil 4.8. GH6 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	165
Şekil 4.9. GH8 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	166
Şekil 4.10. GH10 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	166
Şekil 4.11. LH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	166
Şekil 4.12. LH2 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	166

Şekil 4.13. LH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	167
Şekil 4.14. LH5 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	167
Şekil 4.15. TDH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	167
Şekil 4.16. TDH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	167
Şekil 4.17. KH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	168
Şekil 4.18. TH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	168
Şekil 4.19. TH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	168
Şekil 4.20. TH4 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi.....	168
Şekil 4.21. HH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	169
Şekil 4.22. HH7 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi	169
Şekil 4.23. HT4 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	175
Şekil 4.24. TS1 taş numune SEM/ EDX görüntüleri	176
Şekil 4.25. PP3 sıva harcı SEM/ EDX görüntüleri	177
Şekil.4.26. GH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	178
Şekil 4.27. GH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	179
Şekil 4.28. HT4 tuğla numune XRD grafiği	184
Şekil 4.29. PS1 taş numune XRD grafiği.....	185
Şekil 4.30. PP3 sıva harcı XRD grafiği	186
Şekil 4.31. GH5 harcı XRD grafiği.....	187
Şekil 4.32. XRF sonuçlarına göre CaO ile diğer elementlerin karşılaştırılması	196
Şekil 4.33. Tuğlaların temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları	200
Şekil 4.34. Taşların temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları	201
Şekil 4.35. Sıvanın temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları.....	202
Şekil 4.36. Harçların temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları	203
Şekil 4.37. HT4 tuğla numune TG/DTA grafiği	204
Şekil 4.38. TS1 taş numune TG/DTA grafiği.	204
Şekil 4.39. PP3 sıva numune TG/DTA grafiği.	204
Şekil 4.40. GH5 harç numune TG/DTA grafiği.....	205
Şekil 4.41. Harçların CO ₂ /H ₂ O oranları ile basınç dayanımları arasındaki ilişki	208
Şekil 4.42. Harçların CO ₂ /H ₂ O oranları ile %CO ₂ arasındaki ilişki	208
Şekil 4.43. Tuğla numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları	213
Şekil 4.44. Taş numunelerin (a) PS1, (b) TS1 gerilme-şekil değiştirme eğrisi	215

Şekil 4.45. HT4 tuğla numune ultrases grafiği	215
Şekil 4.46. TS1-3 taş numune ultrases grafiği	216
Şekil 4.47. Tuğla numunelerin ultrases hızları ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler	218
Şekil 4.48. Tuğla numunelerin birim hacim kütle ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler	218
Şekil 4.49. YH01 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	223
Şekil 4.50. YH02 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	224
Şekil 4.51. YH03 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	225
Şekil 4.52. YH04 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	226
Şekil 4.53. YH04 onarım harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	227
Şekil 4.54. YH05 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	228
Şekil 4.55. YH05 onarım harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	229
Şekil 4.56. YH06 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	230
Şekil 4.57. YH06 onarım harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	231
Şekil 4.58. YH06 onarım harcı XRD grafiği	234
Şekil 4.59. Onarım harçlarının temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları	237
Şekil 4.60. YH03 onarım harç numune TG/DTA grafiği	238
Şekil 4.61. YH04 onarım harç numune TG/DTA grafiği	238
Şekil 4.62. YH05 onarım harç numune TG/DTA grafiği	238
Şekil 4.63. YH06 onarım harç numune TG/DTA grafiği	239
Şekil 4.64. Onarım harçlarının üç aylık eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları	241
Şekil 4.65. YH03 onarım harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi	241
Şekil 4.66. YH04 onarım harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi	242
Şekil 4.67. YH05 harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi	242
Şekil 4.68. YH06 harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi	243
Şekil 4.69. YH01 onarım harç numune ultrases grafiği	243
Şekil 4.70. YH02 onarım harç numune ultrases grafiği	244
Şekil 4.71. YH03 onarım harç numune ultrases grafiği	244
Şekil 4.72. YH04 onarım harç numune ultrases grafiği	244
Şekil 4.73. YH05 onarım harç numune ultrases grafiği	245
Şekil 4.74. YH06 onarım harç numune ultrases grafiği	245
Şekil 4.75. Onarım harçlarının ultrases hızları ile basınç dayanımı (a) ve eğilmede çekme dayanımı (b) arasındaki ilişkiler	247

Şekil 4.76.Onarım harçlarının porozite oranları ile basınç dayanımı (a) ve eğilmede çekme dayanımı (b) arasındaki ilişkiler.....	248
Şekil Ek.2.1. PT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	277
Şekil Ek.2.2. ST4 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	278
Şekil Ek.2.3. GT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	279
Şekil Ek.2.4. GT3 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	280
Şekil Ek.2.5. GT11 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	281
Şekil Ek.2.6. LT1 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	282
Şekil Ek.2.7. LT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	283
Şekil Ek.2.8. KT1 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	284
Şekil Ek.2.9. TT1 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	285
Şekil Ek.2.10. HT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	286
Şekil Ek.2.11. HT3 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	287
Şekil Ek.2.12. HT4 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	288
Şekil Ek.2.13. HT5 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	289
Şekil Ek.2.14. HT6 tuğla SEM/ EDX görüntüleri	290
Şekil Ek.2.15. PS1 taş numune SEM/ EDX görüntüleri	291
Şekil Ek.2.16. TS1 taş numune SEM/ EDX görüntüleri.....	292
Şekil Ek.2.17. PP3 sıva harcı SEM/ EDX görüntüleri	293
Şekil Ek.2.18. PH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	294
Şekil Ek.2.19. PH2 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	295
Şekil Ek.2.20. SH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	296
Şekil Ek.2.21. SH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	297
Şekil Ek.2.22. SH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	298
Şekil Ek.2.23. SH2 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	299
Şekil Ek.2.24. SH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	300
Şekil Ek.2.25. SH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	301
Şekil Ek.2.26. SH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	302
Şekil Ek.2.27. GH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	303
Şekil Ek.2.28. GH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	304
Şekil Ek.2.29. GH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	305
Şekil Ek.2.30. GH2 harcı kireç kısmı SEM/ EDX görüntüleri	306
Şekil Ek.2.31. GH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	307

Şekil Ek.2.32. GH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	308
Şekil Ek.2.33. GH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	309
Şekil Ek.2.34. GH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	310
Şekil Ek.2.35. GH6 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	311
Şekil Ek.2.36. GH6 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	312
Şekil Ek.2.37. GH7 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	313
Şekil Ek.2.38. GH7 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	314
Şekil Ek.2.39. GH8 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	315
Şekil Ek.2.40. GH8 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	316
Şekil Ek.2.41. GH9 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	317
Şekil Ek.2.42. GH10 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	318
Şekil Ek.2.43. GH11 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	319
Şekil Ek.2.44. GH11 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	320
Şekil Ek.2.45. LH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	321
Şekil Ek.2.46. LH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	322
Şekil Ek.2.47. LH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	323
Şekil Ek.2.48. LH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	324
Şekil Ek.2.49. LH3 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	325
Şekil Ek.2.50. LH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	326
Şekil Ek.2.51. LH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	327
Şekil Ek.2.52. LH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	328
Şekil Ek.2.53. LH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	329
Şekil Ek.2.54. LH6 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	330
Şekil Ek.2.55. LH6 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	331
Şekil Ek.2.56. TDH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	332
Şekil Ek.2.57. TDH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	333
Şekil Ek.2.58. TDH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	334
Şekil Ek.2.59. TDH2 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	335
Şekil Ek.2.60. TDH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	336
Şekil Ek.2.61. TDH3 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	337
Şekil Ek.2.62. TDH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri	338
Şekil Ek.2.63. TDH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri	339

Şekil Ek.2.64. KH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	340
Şekil Ek.2.65. TH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	341
Şekil Ek.2.66. TH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	342
Şekil Ek.2.67. TH2 harcı SEM/ EDX görüntüleri.	343
Şekil Ek.2.68. TH3 harcı SEM/ EDX görüntüleri.	344
Şekil Ek.2.69. TH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	345
Şekil Ek.2.70. TH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	346
Şekil Ek.2.71. TH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	347
Şekil Ek.2.72. HH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	348
Şekil Ek.2.73. HH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	349
Şekil Ek.2.74. HH2 harcı SEM/ EDX görüntüleri.	350
Şekil Ek.2.75. HH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	351
Şekil Ek.2.76. HH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	352
Şekil Ek.2.77. HH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	353
Şekil Ek.2.78. HH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	354
Şekil Ek.2.79. HH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	355
Şekil Ek.2.80. HH7 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri.	356
Şekil Ek.2.81. HH7 harcı SEM/ EDX görüntüleri.	357
Şekil Ek.3.1. PT2 tuğla numune XRD grafiği.	358
Şekil Ek.3.2. ST4 tuğla numune XRD grafiği.	359
Şekil Ek.3.3. GT3 tuğla numune XRD grafiği.	360
Şekil Ek.3.4. LT1 tuğla numune XRD grafiği.	361
Şekil Ek.3.5. TT1 tuğla numune XRD grafiği.	362
Şekil Ek.3.6. HT2 tuğla numune XRD grafiği.	363
Şekil Ek.3.7. HT4 tuğla numune XRD grafiği.	364
Şekil Ek.3.8. PS1 taş numune XRD grafiği.	365
Şekil Ek.3.9. PP3 sıva harcı XRD grafiği.	366
Şekil Ek.3.10. PH2 harcı XRD grafiği.	367
Şekil Ek.3.11. SH1 harcı XRD grafiği.	368
Şekil Ek.3.12. GH5 harcı XRD grafiği.	369
Şekil Ek.3.13. GH8 harcı XRD grafiği.	370
Şekil Ek.3.14. LH1 harcı XRD grafiği.	371

Şekil Ek.3.15. TDH1 harcı XRD grafiği.....	372
Şekil Ek.3.16. TH1 harcı XRD grafiği.....	373
Şekil Ek.3.17. TH3 harcı XRD grafiği.....	374
Şekil Ek.3.18. HH1 harcı XRD grafiği.	375
Şekil Ek.3.19. PT2 tuğla numune XRD grafiği.	376
Şekil Ek.3.20. ST4 tuğla numune XRD grafiği.	376
Şekil Ek.3.21. GT2 tuğla numune XRD grafiği.....	376
Şekil Ek.3.22. GT3 tuğla numune XRD grafiği.....	377
Şekil Ek.3.23. GT11 tuğla numune XRD grafiği.....	377
Şekil Ek.3.24. LT1 tuğla numune XRD grafiği.	377
Şekil Ek.3.25. LT2 tuğla numune XRD grafiği.	378
Şekil Ek.3.26. KT1 tuğla numune XRD grafiği.....	378
Şekil Ek.3.27. TT1 tuğla numune XRD grafiği.	378
Şekil Ek.3.28. HT2 tuğla numune XRD grafiği.....	379
Şekil Ek.3.29. HT3 tuğla numune XRD grafiği.....	379
Şekil Ek.3.30. HT4 tuğla numune XRD grafiği.....	379
Şekil Ek.3.31. HT5 tuğla numune XRD grafiği.....	380
Şekil Ek.3.32. HT6 tuğla numune XRD grafiği.....	380
Şekil Ek.3.33. PS1 taş numune XRD grafiği.	380
Şekil Ek.3.34. TS1 taş numune XRD grafiği.....	381
Şekil Ek.3.35. PP3 sıva harcı XRD grafiği.	381
Şekil Ek.3.36. PH2 harcı XRD grafiği.....	381
Şekil Ek.3.37. SH1 harcı XRD grafiği.....	382
Şekil Ek.3.38. SH2 harcı XRD grafiği.....	382
Şekil Ek.3.39. SH3 harcı XRD grafiği.....	382
Şekil Ek.3.40. SH4 harcı XRD grafiği.....	383
Şekil Ek.3.41. GH1 harcı XRD grafiği.	383
Şekil Ek.3.42. GH2 harcı XRD grafiği.	383
Şekil Ek.3.43. GH4 harcı XRD grafiği.	384
Şekil Ek.3.44. GH5 harcı XRD grafiği.	384
Şekil Ek.3.45. GH6 harcı XRD grafiği.	384
Şekil Ek.3.46. GH7 harcı XRD grafiği.....	385

Şekil Ek.3.47. GH8 harcı XRD grafiği.	385
Şekil Ek.3.48. GH9 harcı XRD grafiği.	385
Şekil Ek.3.49. GH10 harcı XRD grafiği.	386
Şekil Ek.3.50. GH11 harcı XRD grafiği.	386
Şekil Ek.3.51. LH1 harcı XRD grafiği.	386
Şekil Ek.3.52. LH2 harcı XRD grafiği.	387
Şekil Ek.3.53. LH3 harcı XRD grafiği.	387
Şekil Ek.3.54. LH4 harcı XRD grafiği.	387
Şekil Ek.3.55. LH5 harcı XRD grafiği.	388
Şekil Ek.3.56. LH6 harcı XRD grafiği.	388
Şekil Ek.3.57. TDH1 harcı XRD grafiği.	388
Şekil Ek.3.58. TDH2 harcı XRD grafiği.	389
Şekil Ek.3.59. TDH3 harcı XRD grafiği.	389
Şekil Ek.3.60. TDH4 harcı XRD grafiği.	389
Şekil Ek.3.61. KH1 harcı XRD grafiği.	390
Şekil Ek.3.62. TH1 harcı XRD grafiği.	390
Şekil Ek.3.63. TH2 harcı XRD grafiği.	390
Şekil Ek.3.64. TH3 harcı XRD grafiği.	391
Şekil Ek.3.65. TH4 harcı XRD grafiği.	391
Şekil Ek.3.66. TH5 harcı XRD grafiği.	391
Şekil Ek.3.67. HH1 harcı XRD grafiği.	392
Şekil Ek.3.68. HH2 harcı XRD grafiği.	392
Şekil Ek.3.69. HH3 harcı XRD grafiği.	392
Şekil Ek.3.70. HH4 harcı XRD grafiği.	393
Şekil Ek.3.71. HH5 harcı XRD grafiği.	393
Şekil Ek.3.72. HH7 harcı XRD grafiği.	393
Şekil Ek.4.1. PT2 tuğla numune TG/DTA grafiği.	394
Şekil Ek.4.2. ST4 tuğla numune TG/DTA grafiği.	394
Şekil Ek.4.3. GT2 tuğla numune TG/DTA grafiği.	394
Şekil Ek.4.4. LT1 tuğla numune TG/DTA grafiği.	395
Şekil Ek.4.5. TT1 tuğla numune TG/DTA grafiği.	395
Şekil Ek.4.6. HT2 tuğla numune TG/DTA grafiği.	395

Şekil Ek.4.7. HT3 tuğla numune TG/DTA grafiği.....	396
Şekil Ek.4.8. HT4 tuğla numune TG/DTA grafiği.....	396
Şekil Ek.4.9. PS1 taş numune TG/DTA grafiği.....	396
Şekil Ek.4.10. TS1 taş numune TG/DTA grafiği.....	397
Şekil Ek.4.11. PP3 sıva numune TG/DTA grafiği.....	397
Şekil Ek.4.12. PH2 harç numune TG/DTA grafiği.....	397
Şekil Ek.4.13. SH1 harç numune TG/DTA grafiği.....	398
Şekil Ek.4.14. SH3 harç numune TG/DTA grafiği.....	398
Şekil Ek.4.15. GH2 harç numune TG/DTA grafiği.....	398
Şekil Ek.4.16. GH5 harç numune TG/DTA grafiği.....	399
Şekil Ek.4.17. GH6 harç numune TG/DTA grafiği.....	399
Şekil Ek.4.18. GH8 harç numune TG/DTA grafiği.....	399
Şekil Ek.4.19. LH1 harç numune TG/DTA grafiği.....	400
Şekil Ek.4.20. LH3 harç numune TG/DTA grafiği.....	400
Şekil Ek.4.21. LH5 harç numune TG/DTA grafiği.....	400
Şekil Ek.4.22. TDH1 harç numune TG/DTA grafiği.....	401
Şekil Ek.4.23. KH1 harç numune TG/DTA grafiği.....	401
Şekil Ek.4.24. TH1 harç numune TG/DTA grafiği.....	401
Şekil Ek.4.25. TH3 harç numune TG/DTA grafiği.....	402
Şekil Ek.4.26. HH1 harç numune TG/DTA grafiği.....	402
Şekil Ek.4.27. HH4 harç numune TG/DTA grafiği.....	402
Şekil Ek.4.28. HH7 harç numune TG/DTA grafiği.....	403
Şekil Ek.5.1. PT2 tuğla numune ultrases grafiği.....	404
Şekil Ek.5.2. ST4 tuğla numune ultrases grafiği.....	404
Şekil Ek.5.3. GT2 tuğla numune ultrases grafiği.....	404
Şekil Ek.5.4. GT3 tuğla numune ultrases grafiği.....	405
Şekil Ek.5.5. GT11 tuğla numune ultrases grafiği.....	405
Şekil Ek.5.6. LT1 tuğla numune ultrases grafiği.....	405
Şekil Ek.5.7. LT2 tuğla numune ultrases grafiği.....	406
Şekil Ek.5.8. KT1 tuğla numune ultrases grafiği.....	406
Şekil Ek.5.9. TT1 tuğla numune ultrases grafiği.....	406
Şekil Ek.5.10. HT2 tuğla numune ultrases grafiği.....	407

Şekil Ek.5.11. HT3 tuğla numune ultrases grafiği.	407
Şekil Ek.5.12. HT4 tuğla numune ultrases grafiği.	407
Şekil Ek.5.13. HT5 tuğla numune ultrases grafiği.	408
Şekil Ek.5.14. HT6 tuğla numune ultrases grafiği.	408
Şekil Ek.5.15. PS1-1 taş numune ultrases grafiği.	408
Şekil Ek.5.16. PS1-2 taş numune ultrases grafiği.	409
Şekil Ek.5.17. PS1-3 taş numune ultrases grafiği.	409
Şekil Ek.5.18. TS1-1 taş numune ultrases grafiği.	409
Şekil Ek.5.19. TS1-2 taş numune ultrases grafiği.	410
Şekil Ek.5.20. TS1-3 taş numune ultrases grafiği.	410

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Doğal yapı taşlarının ortalama mekanik özellikleri	9
Çizelge 2.2. Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri	13
Çizelge 2.3. Kökenlerine göre puzolan çeşitleri	29
Çizelge 3.1. Numune bilgileri	76
Çizelge 3.2. Alınan numune tipleri ve tanımları	77
Çizelge 3.3. CL 80 S tipi kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	133
Çizelge 3.4. Silis dumanın analiz sonuçları	134
Çizelge 3.5. Üretilen onarım harçları oranları	136
Çizelge 3.6. Kullanılan onarım harçları oranları.....	138
Çizelge 4.1. Tuğla numunelerin makroskopik değerlendirilmesi	138
Çizelge 4.2. Taş numunelerin makroskopik değerlendirilmesi.....	144
Çizelge 4.3. Sıva numunesinin makroskopik değerlendirilmesi	145
Çizelge 4.4. Harç numunelerin makroskopik değerlendirilmesi.....	145
Çizelge 4.5. Harç numunelerin ince kesitten makroskopik değerlendirilmesi	158
Çizelge 4.6. Taş numunelerin fiziksel analiz sonuçları.....	159
Çizelge 4.7. Tuğla numunelerin fiziksel analiz sonuçları	160
Çizelge 4.8. Sıva numunesinin fiziksel analiz sonuçları.....	160
Çizelge 4.9. Harç numunelerin fiziksel analiz sonuçları	161
Çizelge 4.10. Tarihi harç numunelerde asit kaybı analizi sonuçları	163
Çizelge 4.11. Harç numunelerin tuz analizleri.....	170
Çizelge 4.12. Sıva numunenin tuz analizleri.....	171
Çizelge 4.13. Harç numunelerin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri.....	172
Çizelge 4.14. Sıva numunenin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri	173
Çizelge 4.15. Tuğla numunenin iletkenlik, pH analizleri	173
Çizelge 4.16.HT4 tuğla EDX analiz sonuçları.....	175
Çizelge 4.17.TS1 taş numune EDX analiz sonuçları	176
Çizelge 4.18. PP3 sıva harcı EDX analiz sonuçları	177
Çizelge 4.19. GH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.....	178
Çizelge 4.20. GH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.....	179
Çizelge 4.21. Tuğla numune temel oksit sonuçları	192
Çizelge 4.22. Tuğla numune eser oksit sonuçları	192

Çizelge 4.23. Taş numune temel oksit sonuçları	193
Çizelge 4.24. Taş numune eser oksit sonuçları	193
Çizelge 4.25. Sıva numune temel oksit sonuçları	193
Çizelge 4.26. Sıva numune eser oksit sonuçları	193
Çizelge 4.27. Harç numune temel oksit sonuçları	194
Çizelge 4.28. Harç numune eser oksit sonuçları	195
Çizelge 4.29. Tuğla numune TG/DTA sonuçları	205
Çizelge 4.30. Taş numune TG/DTA sonuçları	205
Çizelge 4.31. Sıva numune TG/DTA sonuçları	205
Çizelge 4.32. Harç numune TG/DTA sonuçları	206
Çizelge 4.33. Harç numune eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları	209
Çizelge 4.34. Harç numune nokta yükleme deney sonuçları	210
Çizelge 4.35. Tuğla numunelerin Schmidt çekici deney sonuçları	211
Çizelge 4.36. Taş numunelerin Schmidt çekici deney sonuçları	211
Çizelge 4.37. Tuğla numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları	212
Çizelge 4.38. Taş numunelerin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları	214
Çizelge 4.39. Tuğla numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları	216
Çizelge 4.40. Taş numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları	219
Çizelge 4.41. Onarım harç numunelerin makroskopik değerlendirilmesi	220
Çizelge 4.42. Onarım harç numunelerin fiziksel analiz sonuçları	221
Çizelge 4.43. Onarım harç numunelerin iletkenlik, pH analizleri	222
Çizelge 4.44. YH01 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları	223
Çizelge 4.45. YH02 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları	224
Çizelge 4.46. YH03 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları	225
Çizelge 4.47. YH04 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları	226
Çizelge 4.48. YH04 onarım harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları	227
Çizelge 4.49. YH05 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları	228
Çizelge 4.50. YH05 onarım harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları	229
Çizelge 4.51. YH06 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları	230
Çizelge 4.52. YH06 onarım harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları	231
Çizelge 4.53. Onarım harcı temel oksit sonuçları	235
Çizelge 4.54. Onarım harcı eser oksit sonuçları	235

Çizelge 4.55. Onarım harcı TG/DTA sonuçları	239
Çizelge 4.56. Onarım harcı eğilmede çekme ve basınç dayanımı ortalama sonuçları	240
Çizelge 4.57. Onarım harcı numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları	245
Çizelge Ek.2.1. PT2 tuğla EDX analiz sonuçları.	277
Çizelge Ek.2.2. ST4 tuğla EDX analiz sonuçları.	278
Çizelge Ek.2.3. GT2 tuğla EDX analiz sonuçları.	279
Çizelge Ek.2.4. GT3 tuğla EDX analiz sonuçları.	280
Çizelge Ek.2.5. GT11 tuğla EDX analiz sonuçları.	281
Çizelge Ek.2.6. LT1 tuğla EDX analiz sonuçları.	282
Çizelge Ek.2.7. LT2 tuğla EDX analiz sonuçları.	283
Çizelge Ek.2.8. KT1 tuğla EDX analiz sonuçları.	284
Çizelge Ek.2.9. TT1 tuğla EDX analiz sonuçları.	285
Çizelge Ek.2.10. HT2 tuğla EDX analiz sonuçları.	286
Çizelge Ek.2.11. HT3 tuğla EDX analiz sonuçları.	287
Çizelge Ek.2.12. HT4 tuğla EDX analiz sonuçları.	288
Çizelge Ek.2.13. HT5 tuğla EDX analiz sonuçları.	289
Çizelge Ek.2.14. HT6 tuğla EDX analiz sonuçları.	290
Çizelge Ek.2.15. PS1 taş numune EDX analiz sonuçları.	291
Çizelge Ek.2.16. TS1 taş numune EDX analiz sonuçları.	292
Çizelge Ek.2.17. PP3 sıva harcı EDX analiz sonuçları.	293
Çizelge Ek.2.18. PH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	294
Çizelge Ek.2.19. PH2 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	295
Çizelge Ek.2.20. SH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	296
Çizelge Ek.2.21. SH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	297
Çizelge Ek.2.22. SH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	298
Çizelge Ek.2.23. SH2 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	299
Çizelge Ek.2.24. SH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	300
Çizelge Ek.2.25. SH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	301
Çizelge Ek.2.26. SH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	302
Çizelge Ek.2.27. GH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	303
Çizelge Ek.2.28. GH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	304
Çizelge Ek.2.29. GH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	305

Çizelge Ek.2.30. GH2 harcı kireç kısmı EDX analiz sonuçları.	306
Çizelge Ek.2.31. GH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	307
Çizelge Ek.2.32. GH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	308
Çizelge Ek.2.33. GH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	309
Çizelge Ek.2.34. GH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	310
Çizelge Ek.2.35. GH6 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	311
Çizelge Ek.2.36. GH6 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	312
Çizelge Ek.2.37. GH7 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	313
Çizelge Ek.2.38. GH7 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	314
Çizelge Ek.2.39. GH8 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	315
Çizelge Ek.2.40. GH8 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	316
Çizelge Ek.2.41. GH9 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	317
Çizelge Ek.2.42. GH10 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	318
Çizelge Ek.2.43. GH11 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	319
Çizelge Ek.2.44. GH11 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	320
Çizelge Ek.2.45. LH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	321
Çizelge Ek.2.46. LH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	322
Çizelge Ek.2.47. LH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	323
Çizelge Ek.2.48. LH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	324
Çizelge Ek.2.49. LH3 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	325
Çizelge Ek.2.50. LH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	326
Çizelge Ek.2.51. LH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	327
Çizelge Ek.2.52. LH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	328
Çizelge Ek.2.53. LH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	329
Çizelge Ek.2.54. LH6 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	330
Çizelge Ek.2.55. LH6 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	331
Çizelge Ek.2.56. TDH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	332
Çizelge Ek.2.57. TDH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	333
Çizelge Ek.2.58. TDH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	334
Çizelge Ek.2.59. TDH2 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	335
Çizelge Ek.2.60. TDH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	336
Çizelge Ek.2.61. TDH3 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	337

Çizelge Ek.2.62. TDH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	338
Çizelge Ek.2.63. TDH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	339
Çizelge Ek.2.64. KH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	340
Çizelge Ek.2.65. TH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	341
Çizelge Ek.2.66. TH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	342
Çizelge Ek.2.67. TH2 harcı EDX analiz sonuçları.	343
Çizelge Ek.2.68. TH3 harcı EDX analiz sonuçları.	344
Çizelge Ek.2.69. TH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	345
Çizelge Ek.2.70. TH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	346
Çizelge Ek.2.71. TH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	347
Çizelge Ek.2.72. HH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	348
Çizelge Ek.2.73. HH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	349
Çizelge Ek.2.74. HH2 harcı EDX analiz sonuçları.	350
Çizelge Ek.2.75. HH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	351
Çizelge Ek.2.76. HH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	352
Çizelge Ek.2.77. HH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	353
Çizelge Ek.2.78. HH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	354
Çizelge Ek.2.79. HH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları.	355
Çizelge Ek.2.80. HH7 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları.	356
Çizelge Ek.2.81. HH7 harcı EDX analiz sonuçları.	357

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar binlerce yıllık uygarlık tarihi içinde insanın doğrudan veya doğa ile birlikte yarattığı değerler, bugün “kültürel ve doğal miras” olarak adlandırılır. Bu değerler; yapının bulunduğu zemin özellikleri, hatalı yapı malzemelerinin kullanımı, yapı tasarımındaki hatalar gibi iç nedenlerden ve/veya yangın, deprem, savaş gibi dış nedenlerden ötürü bozulmaya ve hasara uğramıştır. Tarihi yapıların korunması, onarımı ve güçlendirilmesi, evrensel nitelikteki kültür mirasının korunması bakımından önemlidir (Yüzer vd 2011). Kültürel ve doğal mirasın korunması, mühendislik, mimari, arkeoloji, sanat tarihi gibi disiplinlerarası çalışma ve uzmanlık gerektiren, şartları ulusal/uluslararası yasa ve yönetmelikler çerçevesinde belirlenen bir iştir. Bu çalışmalar bilimsel ilkeler ışığında yapıların estetik ve tarihi değerlerini korumaya yönelik, yapının sistemine ve özgün malzemelerine en az müdahale ile olmalıdır.

1932’de İtalya tarafından kabul edilen Carta del Restauro (Restorasyon Tüzüğü) ve 1964 Venedik Tüzüğü, çağdaş restorasyon kuramını oluşturmak için yapılan düzenlemelerin en önemlilerindendir. 1964 Venedik Tüzüğü’nde; tarihi yapıların onarımı ile ilgili olarak belirlenen temel ilkelerden biri şudur: “Onarım uzmanlık gerektiren bir iştir. Amacı, anıtın estetik ve tarihi değerini korumak ve ortaya çıkarmaktır. Onarım kendine temel olarak aldığı özgün malzeme ile güvenilir belgelere saygı ile bağlıdır” (Aköz ve Yüzer 2005).

Tarihi yapılarda gerçekleştirilecek müdahalelerde özgün yapı malzemelerinin yerlerinde korunmaları esas olmalıdır. Yeni malzeme uygulamasının zorunlu olduğu durumlarda ise, özgün yapı malzemesine fiziksel, kimyasal, mekanik ve estetik olarak uyumlu malzemeler seçilmelidir. Yeni malzemelerin bu niteliklere uygun olarak seçilebilmeleri için öncelikle özgün yapı malzemelerinin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, Türkiye’de mevcut uygulamalarda çoğunlukla özgün yapı malzemelerinin özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar bürokratik bir formalitenin yerine getirilmesinden öteye gidememektedir. Koruma Kurullarına sunulan restorasyon projelerinde yer alan malzeme analizleri yetersiz kalmakta ve

uygulamalarda da bu analiz sonuçları bile dikkate alınmadan çeşitli malzeme seçimleri yapılmaktadır (Sağın- Uğurlu ve Böke 2010).

1.1. Çalışmanın Amacı

Arkeolojik buluntuların ve tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin laboratuvar analizleri, geçmiş dönemlerde yaşamış toplumların sahip oldukları malzeme bilgisini ve teknolojisini anlamak, mevcut yapılara zarar veren fiziksel etkenleri ortaya koymak ve koruma, onarım, güçlendirme çalışmaları için gerekli malzeme altyapısını sağlamak açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Tarihi yapılarda bulunan harç, sıva, tuğlalar, kullanıldıkları dönemin yapım teknolojisi hakkında önemli bilgiler verdikleri için tarihi belge niteliği taşımaktadırlar. Tarihi yapı malzemelerinin incelenmesi ile bu yapı malzemelerinin hazırlama teknikleri, bulundukları uygarlıklar, bu uygarlıkların gelişimleri ve günümüze kadar geçirdikleri evreler hakkında yararlı bilgiler sağlanacaktır. Ülkemiz bütününde, tarihi yapıları ile açık bir laboratuvar gibidir. Bu yapılar, coğrafi bölge özelliklerine ve yapım dönemlerine göre özgün malzeme özellikleri, malzeme hazırlama yöntemleri ve özgün yapım teknikleri bakımından çok önemli farklılıklar göstermektedir. Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı medeniyetlerine ait birçok tarihi yapıya sahip ülkemizde, koruma ve onarım işlemlerinde kullanılacak harçlar, sıvalar, taşlar ve tuğlalar üzerine sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin incelenerek karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi ve belirlenen özgün malzeme özellikleri göz önüne alınıp, bu yapıların onarımlarında kullanılabilecek günümüz teknolojisinde bölgesel hammadde kaynakları kullanılarak aynı özelliklerde, uygun yeni bir harç karışımı önerilmesidir. Bu kapsamda, Antalya ili içerisinde yer alan Myra ve limanı Andriake’de Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemlerinde yapılmış olan tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş gibi yapı malzemeleri örnekleri alınmış, bu malzemelerin ne tür karakteristik özelliklere sahip olduğu araştırılmıştır. Tarihi yapılarda kullanılan malzemeler arasında en fazla değişkenlik gösteren malzeme harç olduğundan onarım çalışmalarında, özgün harç özellikleri deneysel olarak belirlenmeli, yeni kullanılacak malzemelerin bu özellikler ile uyumlu olmasına özen gösterilmelidir. Bölgesel hammadde kaynakları araştırılarak özgününe uygun onarım harçları üretilmiş,

yeni malzemelerle üretilen onarım harçlarının eski harçlara uyumu analiz edilmiştir. Tüm kenti limanıyla birlikte kapsayan bütüncül arkeolojik kazı ve araştırmalar ilk kez 2009 yılında “Myra ve Limanı Andriake Kazıları” adıyla Prof. Dr. Nevzat Çevik tarafından başlatılmıştır. Tarihi yapı malzemeleri üzerinde uygulanan analizler, Myra ve limanı Andriake’de daha önce yapılmamıştır. Genel amaç tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin mühendislik gözüyle incelenmesi ve farklı yüzyıllarda inşa edilmiş yapıların zaman içerisindeki gelişimleri ve karakteristik özellikleri ortaya konacaktır. Elde edilen veriler, ileriki aşamalarda tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmalarına ışık tutabilecektir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Bu tez çalışmasında Anadolu’da Antalya ili içerisinde yer alan Myra ve limanı Andriake’de Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemlerinde yapılmış olan tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş gibi yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal, mikroyapı, mekanik özellikleri incelenerek, genel bir değerlendirme yapılmıştır. Harç, sıva, tuğla, taş yapı malzemeleri arasında en fazla değişkenlik gösteren malzeme harç olduğundan elde edilen deneysel veriler kullanılarak onarım çalışmaları için yeni bir harç önerisi geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması, tarihi yapılarda araştırma ve çalışma yapacak kişi veya kurumlara yol gösterici nitelikte olabilecektir. Bu nedenle tez çalışmasında ilk olarak harç, sıva, tuğla, taş gibi yapı malzemelerinin, tarihi yapılarda hangi çağlarda kullanılmaya başlandığı ve bu malzemelerin ne gibi karakteristik özelliklere sahip olduğu araştırılmıştır. Tarihi malzemelerin üretimlerinin ve kullanımlarının, insanoğlunun zihinsel gücünün, becerisinin ürünü olarak geliştiği de unutulmamalıdır. Tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirilme sürecinde özgün malzemelere benzer uygun malzemelerin üretilmesi, geliştirilmesi ve envanter edilerek saklanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmalar, zengin bir kültürel mirasa sahip olan ülkemizde, bu konuda yapılacak her türlü saha ve laboratuvar aktiviteleri için gerekli teknik personelin yetiştirilmesine de imkan sağlayabilecektir.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışması; çalışmanın amacı, önemi, yönteminin belirtildiği birinci bölüm olan giriş bölümü, tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş malzemelerin her yönünün incelendiği kuramsal bilgiler ile kaynak taramalarının yapıldığı ikinci bölüm, bölgenin ve incelenen yapıların tanıtıldığı, özgün malzeme özelliklerinin belirlendiği, onarım harcı önerilerinin sunulduğu üçüncü bölüm, yapılan analizler sonucu bulguların tartışıldığı dördüncü bölüm, elde edilen sonuçlarla ilgili genel değerlendirmenin olduğu beşinci bölüm olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

Çalışma, saha ve laboratuvar alanlarında olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Antalya ili içerisinde yer alan Myra ve limanı Andriake’de Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemlerinde yapılmış olan sekiz tarihi yapıda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş gibi yapı malzemelerinden numuneler alınmıştır. Numuneler genel olarak, yapının değişik dönemleri hakkında bilgi verecek olan bölgelerden, aynı yerin değişik seviyelerinden, iç ve dış bölgelerden, tonoz, taban, duvar (taş-taş arası, tuğla-tuğla arası) gibi özel bölgelerden alınmıştır. Sekiz yapının hava fotoğrafları ve planları üzerinde örnek alınan noktalar işaretlenmiş, örnekler makro ve mikro ölçekte fotoğraflanmıştır. Daha sonra laboratuvar ortamında bu tarihi yapılardan alınan yapı malzemeleri (harç, sıva, tuğla, taş) üzerinde parlatılmış yüzeylerinde stereo mikroskopla petrografik değerlendirme yapılmıştır. Mikro yapı analizleri (XRD, SEM/EDX, TG/DTA, XRF), 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 mekanik analizler (tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme deneyi, eğilmede çekme dayanımı, ultrases hızı, elastisite modülü, Schmidt çekici) uygulanmıştır. Tarihi yapıların onarımında kullanılan harçlar ile özgün harçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin benzer olması, görsel açıdan aykırılık yaratmaması için, öncelikle mevcut özgün numunelerin deneysel çalışmalarının yapılmış, üretilen onarım harçlarının özgünlüğüne uygunluğu yine deneysel çalışmalarla analiz edilmiştir.

Özellikle özgün harç numunelerinin standart boyutlarda olmaması nedeniyle mekanik analizlerin gerçekleştirilmesinde nokta yük (point-load) deneyi tercih edilerek

ortalama basınç dayanımları belirlenmiştir. Üç adet özgün harç numunesi standart boyutlarda alındığından tek eksenli basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler değerlendirilerek numuneler sınıflandırılmış, yapılan sınıflandırmaya uygun olarak kullanılabilecek yeni bölgesel hammadde kaynakları araştırılmış ve bu malzemelerle onarım harcı önerileri geliştirilerek laboratuvar ortamında üretimleri yapılmıştır. Üretilen onarım harcı numuneleri 1, 2, 3 aylık zaman periyotları dikkate alınarak süreç içerisinde görsel, fiziksel, mekanik, mikro yapı özellikleri değerlendirilerek özgün numuneler ile uyumu karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler; tez çalışmasında incelenen Roma, Bizans ve Selçuklu uygarlıklarının kullandıkları tarihi yapı malzemelerinin üretim teknikleri ve malzeme teknolojileri hakkında bilgi verebilecektir. Bu üretim teknikleri ve malzeme teknolojisi göz önünde tutularak tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmaları sırasında malzeme seçiminde yol gösterici olabilecektir. Tarihi yapı malzemeleri ile ilgili çalışmalara dikkat edilirse, mühendislik bakış açısının önemi daha iyi anlaşılacaktır. Yapılan bilimsel çalışma ve değerlendirme raporlarında, tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin incelenmesi bize geçmiş, günümüz ve gelecek arasında köprü kuruyor olması ve bu malzemelerin imalat yapım tekniklerinin bugünkü malzemelerle karşılaştırılmasına olanak sağlayabilecektir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Kültürel mirasımızın en önemli eserleri olan tarihi yapılar, iyi şekilde korunmalı ve değerlendirilmelidir. Tarihi yapıları oluşturan ana yapı malzemeleri taş, tuğla ve bunları birbirine bağlayan harçtır. Tarihi yapılar ve bu yapılarda kullanılan yapı malzemeleri, incelenmesi gereken önemli eserlerdir. Tarihi yapıların ve kullanılan yapı malzemelerinin incelenmesine yönelik çalışmalar, bu yapıların inşa edildikleri dönemlerin yapım teknolojileri hakkında önemli bilgiler edinilmesine olanak sağlamaktadır.

Tarihi miras niteliği taşıyan yapıların onarımında alınacak kararlar ve yapılacak olan müdahalelere titizlikle karar verilmeli, öncelikle yapının ayrıntılı belgeleme ve teşhis çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmalar, yapının tarihini ve özgün yapım tekniklerini, malzeme özelliklerinin ve hasar durumunun tespitini ve onarım tekniklerini kapsamalıdır. Bu bilgiler ışığında uygun malzeme ve teknik kullanılarak yapılacak olan onarım planının oluşturulması gerekir. Tarihi yapıların onarımında özgün malzemenin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine uygun malzeme ve yapım tekniği kullanılmalıdır. Doğru bir onarım, ancak titizlikle yapılan disiplinler arası ekip çalışması ile mümkün olabilecektir (Acun-Özgünler 2007). Tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirilme çalışmalarının bilimsel kriterleri göz önüne alındığında, özgün yapı malzemelerinin karakterizasyon çalışmaları ve malzeme araştırmaları belge niteliğinde olmakla birlikte, koruma, onarım ve güçlendirilme çalışmaları için yeterli olmamaktadır. Karakterizasyon çalışmaları sonucuna göre uygun ham madde kaynakları bulunarak yapılacak üretimle ortaya çıkan yapı malzemelerinin özgün yapı malzemelerine uygun, onlara zarar vermeyen bir yapıda olması karşılaştırma deneyleri ile saptanmalıdır. Daha önce yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde bu konuda yapılmış olan çalışmaların çok az sayıda olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile bu konudaki araştırma eksikliklerine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

2.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Taşlar

Tarihi eserler insanlığın varlığıyla özdeştir. Paleolitik çağda insanların barınağı taş mağaralardı. Taş bu çağda bir yapı malzemesi değildi, avcılık ve hayvanlardan

korunmak amacıyla taştan araçlar üretiliyordu (Akman 2003). İlk insanlar sığınak olarak mağaraları kullanmışlardır. O çağ insanların Anadolu'da yaşadıkları bilinmektedir (Naumann 1991). (Antalya'da bulunan Karain, Beldibi ve Belbaşı mağaraları, insanların yaşam alanı olarak kullandıkları mağaralara birer örnektir) Mağaralar terkedildikten sonra başlayan barınak inşaat süreci taşı bir yapı malzemesi durumuna getirmiştir. Mezolitik ve Neolitik çağlarda önceleri toplama taşlardan yararlanılmış, bunları çamurla bağlayarak duvarlar örülmüştür. Daha sonraları bu taşlar işlenerek şekillendirilmiş, böylece düzgün ve estetik duvarlar inşa edilmiştir. Neolitik çağda, doğal taş zamanın yapı malzemesidir. Bu çağda yapılar taştan inşa edilmiştir. Bazı toplulukların göçtükleri yörelerde toplama taşların bulunmaması yapay taş üretimini zorunlu kılmış ve ilk yapay taş olan kerpiç icat edilmiştir (Akman 2003). Günümüzden 9000 yıl öncesine dayanan Çayönü kazılarında, taş duvarlar bulunmuştur. Duvarlarda harç olmadığı gibi, duvarların temeli de yoktur. (Akman 1997, 2003). Bu duvarlar yaklaşık 1.50 - 1.80 m yüksekliğinde büyük tüf / kalker taşlarından yapılmış, örgüde yer yer kerpiç kullanılmıştır (Esin 1996).

Davidovitz'e (1987) göre, Mısır uygarlığı zamanında yapılan piramitlerde kullanılan büyük kalker taş bloklar taşınmadan olduğu yerde kalıplara dökülerek üretilmiştir. Bunlar aslında beton olarak ifade edilse de; günümüz beton uygulamalarından farklılıklar göstermektedir. Çünkü günümüzdeki harç teknolojisi ile onarılan piramitler, 15-20 yılda hasara uğramalarına rağmen, eski bloklar Mısır'ın sert iklimine karşı 4000 yıldır ayakta durabilmektedirler. Kırılmış kalker taşları, Nil toprağı (içerisinde boksit gibi alüminli bileşenler bulunan) ve mumyalarda kullanılan natron (sodyum karbonat) karıştırılarak betonlar üretilmiş ve iyice sıkıştırılarak dört saat gibi kısa bir sürede yüksek sıcaklığın da etkisiyle sertleşmişlerdir. Davidovitz bu betonu, geopolimer betonu olarak adlandırmıştır.

Günümüzden 2600 – 2800 yıl önce varlıklarını sürdüren Urartular, inşaat mühendisliği ve doğal taş ustalığı alanında çok başarılı eserler ortaya çıkarmışlardır. Mühendis ve mimar olan Kral Menua'nın hala kullanılan 51 km uzunluğundaki taş Şamran kanalı, Eren dağı arkasındaki taştan oyma Keşiş göleti, Van gölü kıyısındaki Sarduri dalgakıranı muhteşem eserlerdir. Sarduri dalgakıranı 3x1x1.2 metre ölçüsündeki

kalker taşından yontulmuş prizmalar olup Edremit'ten taşınmışlardır. Yine Çavuştepe kalesinde yontma taşla örülen duvarların yüksekliği 5 metredir. Bu taş duvarların derz kısımlarında harç yoktur. Yapıların stabilitesi taşların ağırlığı ile sağlanmıştır (Akman 2003). Arkaik ve Helenistik çağlarda yapılar inşa edilirken, tonlarca ağırlıktaki kireçtaşı monoblokları kullanılmıştır. Daha sonra bu monobloklar yerini 300-500 kg'ı geçmeyen daha hafif ve daha küçük yapı taşlarına ve hatta Roma'da yaygınlaşmaya başlayan tuğla malzemeye bırakmıştır. Terk edilen boyutların oldukça büyük olduğu görülmektedir. Örneğin 2400 yaşındaki Efes Artemis Tapınağında kullanılan arşitrav bloklarının her biri ortalama 24 ton ağırlıktadır ve bu ağırlık 20 metre yüksekliğe kaldırılmıştır (Viaene vd. 1993, Çevik 1995).

Ülkemiz, volkanik tüf cinsi taşlar bakımından çok zengin bir ülkedir. Başta İç Anadolu bölgesi olmak üzere birçok Anadolu şehrinde tarihi yapı ve anıtlarda çeşitli türde volkanik tüflerin kullanılmış olduğu görülmektedir. En çok kullanılan volkanik tüfler, riyodasitik-dasitik türde olan, tarihi belgelerde ısıya dayanıklılık özelliğinden dolayı "Od taşı" adı verilen tüflerdir. Bu tüflerin, İstanbul ve çevresindeki, erken Bizans geç Osmanlı yapıtlarının çoğunda küfeki taşı ile beraber ya da tek başına büyük bloklar halinde, gerek hafifliği, gerek işlenebilirlik özelliği açısından kullanımlarının tercih edildiği tarihi belgelerde belirtilmiştir (Ahunbay 1995). Yalova Karamürsel civarında çıkarılan Karamürsel od taşı olarak da adlandırılan tüfler, üzerinde daha önce yapılan bir araştırma sonucunda her ne kadar heterojen bir karaktere sahip olsalar da belirlenen ortalama özellikleri; birim hacim kütlesi 2.06 gr/cm^3 , su emme oranı % 8, porozitesi % 16, basınç dayanımı 35 MPa, elastisite modülü 19.10^3 MPa 'dır (Erguvanlı vd 1989, Acun-Özgünler 2007). Küfeki taşı, % 93-100 oranında CaCO_3 içermektedir. Yalnız örgü ve dış cephe kaplama malzemesi olarak değil, iç mekanlarda, duvarlarda, taşıyıcı öğelerde, döşeme kaplamalarında, kemerlerde, mihraplarda ve parmaklıklarda kullanılmıştır. Bu taş, ocaktan ilk çıkarıldığında birim hacim kütlesi 2.2 gr/cm^3 , porozitesi % 12-13, ağırlıkça su emmesi %1.5, basınç dayanımı 20-30 MPa'dır. Atmosfer koşullarında bekletildiğinde bünyesine CO_2 alarak hızlı karbonatlaşma süreci ile boşlukların bir bölümü kalsiyum bikarbonata dönüşür ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Böylece porozitesi azalırken birim hacim ağırlığı artar ve su emmesi azalır. Söz konusu karbonatlaşma sonucunda basınç dayanımındaki artışın gelişimi beton ile büyük

benzerlik gösterir. Yapılan deneylerde, ocaktan çıktıktan otuz gün sonra dayanımının 45 MPa olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, basınç dayanımı/çekme dayanımı oranı 11-12 olarak belirlenmiştir. Bu değer, enerji yutma kapasitesi yüksek başka bir deyişle sünek malzeme yapısını işaret etmektedir (Arioğlu vd 1999). Doğal taş, taşıma gücü ve basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı zayıf olan bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı, yalnız basınç kuvveti alan kemerler, tonozlar ve kubbelerde kullanılması uygundur. Basınç yüklerini alan duvarlar ve ayaklar taş malzemeden yapılmıştır. Basınç altında bazı taşların deformasyonu, betonla benzer özellikler göstermektedir. Betonun elastisite modülü $14-30 \cdot 10^3$ MPa iken, granitin elastisite modülü $15-70 \cdot 10^3$ MPa mertebesinde-dir. Elastisite modülünün bilinmesi ile taşıyıcı elemanın yüklenmesi sonucu yaptığı sehim hesaplanabilir (Çamlıbel 2000).

Taş, en eski yapı malzemelerinden birisidir ve kalıcı olması düşünülen yapıların inşasında özellikle tercih edilmiştir. Tarihi yapılarda taşın yaygın olarak kullanılmasının nedeni, hemen hemen her yerde ve her arazi koşullarında kolaylıkla temin edilebilir olmasıdır. Taşın strüktürel (yapısal) dayanıklılığı, jeolojik ve kimyasal özellikleri ile incelenebilir. Taş basınç kuvvetlerine karşı çok dayanıklı, çekme kuvvetlerine karşı ise oldukça zayıftır. Ana malzeme biriminin taş olduğu yığma yapı elemanlarının dayanım, dayanıklılık ve diğer özellikleri, taş ve harcın özelliği, taşın işleniş biçimi ve birleşim dokusuna bağlıdır. Tarihi yapılarda genellikle kullanılan yapı taşlarının ortalama mekanik özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Ünay 2002).

Çizelge 2.1. Doğal yapı taşlarının ortalama mekanik özellikleri (Ünay 2002)

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	30.000-55.000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25.000-70.000
Kireç Taşı	18-35	6-20	2-6	10.000-55.000
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13.000-50.000
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15.000-55.000
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23.000-45.000

Taşın ana birim olarak kullanıldığı yığma yapı elemanlarının dayanımı, eğer taş harçtan daha az dayanıma sahip ise, öncelikle harcın dayanımına bağlıdır. Öte yandan, taşın basınç dayanımı, taş kullanarak yapılan yığma yapı elemanının gerçek dayanımı üzerinde çok etkili olmaz. Yığma taş duvarların dayanımı genel olarak taş ve harç birleşiminin ortak davranışına göre değişir. Tarihi yapılarda kullanılan yığma taş duvarlar çok geniş bir dayanım değeri gösterirler. Yığma taş duvarların kayma dayanımı genel olarak basınç dayanımının %25'i kadardır (Ünay 2002). Tarihi yığma yapılarda kullanılan doğal taş malzeme, moloz taş ve kesme taş olarak sınıflandırılabilir. Taşlarda bozulma sebeplerini anlamak için fiziksel ve mekanik deneylerin yanında, ayrıntılı kimyasal, minerolojik ve petrografik analizlere gerek duyulmaktadır.

Yapılmış ya da halihazırda devam eden restorasyon çalışmalarında özgün taşın özelliklerinin yeterince tanınmaması nedeniyle tarihi yapıların görünüş etkinliğinin zedelendiği ve ince yapının özgün ayrıntılarının yok olduğu literatürde sık sık şikayet konusu olmaktadır. Koruma ve onarımın sadece rölövelere ve görsel analizlere dayalı olarak yapılamayacağı, laboratuvar çalışmaları ile malzeme niteliklerinin belirlenmesi gerektiği aksi halde kullanılan malzemelerin uyumsuzluğu, yetersizliği, bozulma süreçlerinin çokluğu, karmaşıklığı ve bütünlük sağlamadıkları için restorasyon çalışmalarının yetersiz ve yanıltıcı olabileceği vurgulanmaktadır (Acun ve Arıoğlu 2006). Bu nedenle koruma konusu olan özgün taş malzemenin, kaynağı, jeolojik ve minerolojik yapısı, işlevlendirme biçimi ve yapı bütünü içindeki kullanım yeri, asit-baz etkilerine karşı dayanıklılığı, tuz içeriği ve diğer malzemelerle etkileşimi, özellikle taş yüzeyine uygulanmış ise sıvanın durumu ve bileşimi, yüzey işleme tekniği, ıslak ve kuru haldeki darbe ve basınç dayanımı vb. gibi tüm fiziksel ve kimyasal özelliklerinin öncelikle belirlenmesi gereklidir. Bunlara ilave olarak dış çevre koşulları, sıcaklık değişimleri, hava içinde bulunan zararlı gazların türleri ve yoğunlukları, yağışlar, bitkiler vb. gibi etkenler de göz önünde bulundurulmalıdır (Lazzarini 2001, Çorapçıoğlu 1983). Taş malzemeler, mikritik ve sparitik kireç taşı olarak iki şekilde sınıflandırılmıştır. (Callebaut vd 2000). Degryse vd (2003), Sagalassos antik kentindeki yapılarda kullanılan taşları, makroskobik ve petrografik analizler yaparak sınıflandırmışlar ve bu taşların 14 litolojik tipte olduğunu belirlemişlerdir. Eren ve Bahali (2005), Kıbrıs'ta tarihi yapılarda kullanılan doğal taşları Meluşa ve Karpaz taşı

olmak üzere iki sınıfta toplamışlardır. Meluşa taşı mikritik kireç taşı özelliği gösterdiği ve porozite değerinin % 20 - % 25 arasında değiştiğini, Karpaz taşının ise kireçtaşının bir çeşidi olan kalkerli taş olduğunu ifade etmişlerdir. Bu taşlarda, su emme, özgül kütle, birim hacim kütle, porozite, basınç dayanım, eğilme deneylerini yapmışlardır. Viaene vd (1993), Sagalassos antik kentinde kullanılan kireçtaşlarında yaptıkları petrografik ve fiziksel analizler sonucunda, bu taşların özgül kütlelerinin 2.68 - 2.71 gr/cm³ arasında ve porozite değerinin %1'den az olduğunu saptamışlardır. Yine yapmış oldukları petrografik incelemelerde ise, Helenistik ve Roma mimarisi yapılarında kireçtaşlarının kullanıldığını belirtmişlerdir. Sagalassos antik kentindeki taş yapılarında N tipi bir schmidt çekici kullanarak yüzey sertlik değerleri belirlenmiş, granit kayaçların geri sıçrama ölçüsünün 55 ve üzerinde bir değer olduğu belirtilmiştir. İsrail'de chalk olarak isimlendirilen kayaçta ise bu değer, 10-20 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Yüzey sertlik değeri nem miktarı ve kayaçların yoğunluğuna bağlıdır (Vandaele ve Waelkens 1995).

Dubrovnik kentindeki tarihi yapılardan alınan taş ve harç numuneler üzerinde gerçekleştirilen ultrases titreşim hızı ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda, taş numunelerin ultrases titreşim hızı değerinin 4150-5390 m/sn arasında ve basınç dayanım değerinin ise 41.5-79.5 MPa arasında değiştiği belirtilmiştir (Almesberger vd 1997). Calcaterra vd (2000), İtalya'nın Naples antik kentinde bulunan yapılardan aldıkları taş numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik analizler yapmışlardır. Bu analizler sonucunda birim hacim kütle değerinin 2.568-2.574 gr/cm³ arasında, porozite değerinin % 27.8 - % 43.3 arasında, basınç dayanım değerinin ise 6.30-25.91 MPa arasında değişim gösterdiğini ve ultrases titreşim hızı değerinin 2707 m/sn olduğunu belirtmişlerdir.

Kırca vd (2001), Konya'da Selçuklular zamanında inşa edilen Sahip Ata Hanikah'taki yapı malzemelerinin mekanik özelliklerini saptamaya çalışmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, su emme değerinin, taş numunelerde % 4.59- % 4.84 arasında ve tuğla numunelerde % 13.52- % 23.05 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Kesme taşlarda elastisite modülü değerinin 17.8-23.5 MPa arasında olduğunu ve basınç dayanım değerininse 18.4-25.8 MPa arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Tuğlalarda

ise basınç dayanım değerinin 10.1-18.7 MPa arasında, eğilme dayanım değerinin ise 3.0 - 4.7 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Zamudio - Zamudio vd (2003), Meksika'nın Veracruz kentindeki 16. ve 18. yüzyıla ait yapılarda kullanılan taş örneklerini incelemişler ve 'mucara' adındaki taş tipi üzerinde SEM, XRD ve XRF analizleri tatbik etmişlerdir. XRD analiz sonucunda, aragonit mineralini ana bileşen olarak gözlemlemişlerdir. Ayrıca yoğunluk ve porozite gibi fiziksel özellikleri de incelemişlerdir ve Vickers sertlik değerlerini de ölçmüşlerdir. Acun-Özgünler (2007), od taşı örneklerinden hazırlanan numunelerde bozulma derecelerine bağlı olarak fiziksel özelliklerinin ortalama değerleri; kütlece su emmesi % 7-9, hacimce su emmesi % 16-18, birim hacim kütlesi $2.05 - 2.12 \text{ gr/cm}^3$, özgül kütlesi $2.40-2.50 \text{ gr/cm}^3$, porozite oranı % 16-18, mekanik özelliklerinin ortalama değerleri; eğilmede çekme dayanımı 5-10 MPa, eğilme deneyi sonucu kırılan parçalardan basınç dayanımı 35- 40 MPa, aynı parça üzerinde yapılan testlerde, ultrases hızı 2.20-2.70 km/sn ölçülmüştür. Bu değerler kullanılarak dinamik elastisite modülü $12.1-19.10^3 \text{ MPa}$ olarak hesaplanmıştır.

2.2. Tarihi Yapılarda Kullanılan Tuğlalar

Tuğlanın hammaddesinde kil (kaolin, illit, vs), kuvars, feldspat az miktarda demir ve magnezyum bulunmaktadır. Su ile yoğrulmuş bu karışım 600–900°C ısıtılırsa kil minerallerin mevcut yapıları bozulmakta ve amorf alümine silikatlar oluşmaktadır. Kil mineralleri bünye özelliklerine göre farklı puzolonik sıcaklık özelliğine sahiptirler. Kaolin, kalsiyum, illit, feldspat mineralleri de ısıtılınca sıcaklık derecelerine göre amorf yapıya kavuşmaktadırlar. Tuğlaların puzolanik özellikte olması için pişirme sıcaklığı 700–900°C arasında olmalı ve bünyelerinde puzolanik özellik sağlayacak miktarda kil mineralleri olmalıdır. Her tuğla puzolan özelliğe sahip değildir. Yeni tekniklerle üretilen veya geleneksel ocaklarda pişirilen tuğlaların mutlaka puzolanik özellikte olup olmadığı kontrol edilmeli, puzolan özelliğe sahip olmayan tuğlalar tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılmamalıdır. Puzolanik olmayan tuğlaların yapıları dayanıklı değildir (Bayraktar 2006). Tarihi yapılarda, pişirilmiş kilden üretilen tuğlayı oluşturan malzemeler genellikle dere yataklarında yüzeysel olarak biriken kum taşlarının kalıntılarından elde edilirdi. Pişmiş kilden üretilen tuğlalar, görünümeleri ve işlevlerine

göre sınıflandırılır; fırınlarda yüksek ısı altında pişirilir, fırın teknolojisinin bulunmadığı yerlerde ise güneş ısısından yararlanılarak üretildiği bilinmektedir. Tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzeni; duvarın dayanımını belirler. Tuğlaların basınç dayanımı, malzeme özelliklerine bağlı olarak 10 MPa'dan 30 MPa'a kadar değişir (Çizelge 2.2). İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanıma sahip olabilir. Tuğlalarda sıcaklığın dayanım üzerindeki etkisi büyüktür. Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u, kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'u kadardır (Ünay 2002).

Çizelge 2.2. Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri (Ünay 2002)

Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
10-30	2.7 – 5.0	10-20	15.000-30.000

Kerpiç yapılardan tuğla yapılara doğru dönüşüm, protohistorik (İ.Ö. 2500-1750) toplumların zamanlarına rastlamaktadır. Çok gelişmiş bir protohistorik uygarlık düzeyindeki Sümerler, pişmiş kili yani tuğlayı üretebilmişlerdir. Babil'deki 90 metre yüksekliğinde Etemenoki Ziggurat kulesinin iç kısmı kerpiç harç kullanılarak ve dış kısmının 15 metre kalınlığında pişmiş tuğla ile yapıldığı ifade edilmektedir (Akman 1997). İ.Ö. 6. yüzyıl'da Sümer şehirlerinde ve Babil'de, duvar ve tonozların pişmiş tuğla kullanılarak yapıldığı görülmüştür. O dönemde tuğla, Yunanlılarca tanınan bir malzeme değildir. Ancak ateş tuğlası İ.Ö. 3. yüzyıl'ın ortalarında yapı malzemesi gibi kullanılmaya başlanmıştır. Aynı dönemde Partihan'lar yapılarını ateş tuğlası kullanarak yapmışlardır (Dodge 1987). Roma döneminde 31 x 31 x 5 cm boyutlarında tuğla kullanılmıştır (Radivojevic ve Dervissis 2001). Dodge (1987), Yunan, Roma ve Asya'daki yapılarda kullanılan tuğlaların kalınlıklarını, tuğlalar arasındaki derz kalınlıklarını, tuğlaların hangi yüzyıllara ait olduklarını ve nerelerde kullanıldığını belirtmiştir. Ateş tuğlası İ.S. 3. yüzyıl ortalarında zeminlerde ve tonozlarda kullanılmıştır. İnce tuğlalar tonozlarda, kalın tuğlalar ise zemin kaplamalarında daha yaygın olarak kullanıldığı gözlenmektedir (Gülmez 2005).

Karaveziroğlu vd (1997), tarihi yapıların restorasyonunda kullanılan harç ve tuğlaların mineralojik özelliklerinin belirlenmesinin, duvarların deformasyonu ve

dayanımları bakımından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Duminuco vd (1998), tuğlaları yakma sıcaklıklarına göre incelemişlerdir. Tuğlaların yakma sıcaklıklarından; tarihsel kavimlerin teknolojik davranışları ve üretim teknikleriyle ilgili bilgiler ortaya çıkarabileceğini belirtmişlerdir. Tuğlaları yakma sıcaklıklarına göre dört ana sınıfa göre değerlendirmişler ve ortamda gehlenit, kuvars, diopsit ve anortit minerallerinin bulunmasını, pişirme esnasında ulaşılan sıcaklığın bir göstergesi olduğunu belirtmişlerdir. Riccardi vd (1999), XRD, XRF ve SEM/EDX analizleriyle, farklı sıcaklıklarda yakılan killerin mikro yapısal ve kimyasal özelliklerini ölçmüşlerdir. Elde edilen verilerden yola çıkarak tuğlaların yakma sıcaklıkları hakkında teknolojik bilgiler elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

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. Radivojevic ve Dervissis (2001), restorasyona uygun tuğla malzemelerin seçimi için optik analiz, su emme, porozite, birim hacim kütle ve mekanik analizlerin yapılması gerektiğini ifade etmişler ve yaptıkları çalışmalar sonucunda da tarihi yapılardaki tuğlaların birim hacim kütlelerinin 1.67 - 1.85 gr/cm³ arasında ve su emme değerinin %16 - %18 arasında değiştiğini 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 belirlemek, XRF analizini, tuğlaların kimyasal bileşenlerini saptamak 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.

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. Tuğlalarının basınç dayanımları 21.1-44.0 MPa olarak ölçülmüş ve bu, tuğlaların (3.- 4. yüzyıl) üstün mekanik özelliklere sahip olduklarını göstermektedir. Tuğlaların su emme oranları % 19-% 22, birim hacim kütleleri $1.5-1.6 \text{ gr/cm}^3$, toplam porozite oranları ise % 32.5-% 43 değerlerinde ölçülmüştür. 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. Tuğla numunelerin çok fazla sayıda olması durumunda, CaO miktarına göre sınıflandırılarak numunelerin azaltılabileceğini ve bu sınıflamanın SiO_2 ve Fe_2O_3 elementlerince desteklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Alınan numunelerde $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranının 3-3.4 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Lopez-Arce ve Garcia-Guinea (2005), tarihi yapılardan aldıkları tuğla numunelerinin fiziksel özelliklerini ve XRD, SEM analizleri ile de mineralojik - petrografik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda, tuğla numunelerinin yakma sıcaklıkları hakkında önemli veriler ortaya çıktığını görmüşlerdir. Optik mikroskop gözlemlerinde ise, tuğla malzemelerin metamorfik bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir. XRD analiz sonucunda, tuğla numunelerde kuvars ve feldspatın ana bileşen olduğu ve kalsit, illit, gehlenit ve diopsit minerallerinin çok az miktarlarda bulunmuştur. Dolomit ve hematit, yalnız iki numunede belirlenmiştir.

Aslan-Özkaya ve Böke (2009), yaptıkları çalışmada, XRD, SEM ve TG/DTA analizleri ile Roma dönemine ait tuğla ve harçların temel fiziksel, mineralojik, mikro yapısal ve hammadde özelliklerini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Radivojevic (2005), yapmış olduğu çalışmada 4. ve 6. yüzyıl tuğlalarının elastik modülünü 5.9 ile $12.4 \cdot 10^3 \text{ MPa}$, basınç dayanımını 10.0 ile 18.5 MPa ve eğilme dayanımını da 2.9 ile 7.6 MPa olarak ölçmüştür. Tuğlaların porozite oranları % 18.1 ve 19.4, birim hacim kütleleri ise 1.30 ile 1.78 gr/cm^3 şeklinde saptanmıştır. Özkaya-Aslan (2005), Roma dönemi tuğlalarının basınç dayanımını 5.5-6.1 MPa arasında değiştiğini gözlemlemiştir.

Böke vd (2006), 14.-15. yüzyıl dönemi Osmanlı tuğlalarının birim hacim kütlelerini $1.7-1.8 \text{ gr/cm}^3$ ve porozite oranlarını ise % 33-37 arasında elde etmişlerdir. 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 ile 3.52 km/sn arasında değiştiğini, ultrases hızları yüksek olan numunelerin mekanik dayanımlarının da yüksek, fiziksel özellikler bakımından ise daha düşük porozite ve su emme oranlarına sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Mekanik değerleri ile ultrases hızları arasındaki ilişkiler doğrusal regresyonla değerlendirmişlerdir.

Kurugöl (2010), tarihi Kütahya Kalesi tuğlalarının $1.34-1.51 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen birim hacim kütlelerine, % 35.9-45.5 arasında porozite oranlarına ve 9.9-13.7 MPa arasında değişen basınç dayanımlarına sahip oldukları ve puzolanik özellikler taşıdıklarını tespit etmiştir. Ultrases hızları 2.5-2.8 km/sn, dinamik elastik modülleri ise $8.6-11.4 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ arasında değişmektedir. Uğurlu ve Böke (2008), tuğlaların yapısını oluşturan temel oksitlerin ve eser oksitlerin % konsantrasyon miktarlarını, XRF analizi ile belirlemişlerdir. Buna göre tuğlaların temel oksit ve eser oksit % konsantrasyonları birbirleri ile benzer olduğunu, tuğlaların yüksek miktarda SiO_2 (% 60-69), Al_2O_3 (% 15-19), Fe_2O_3 (% 6-7) ve düşük miktarda Na_2O (~ %3), K_2O (% 2-3), MgO (% 1.5-2.5) ve CaO (% 0.5-3) içerdiğini, bileşimlerinde düşük miktarda kalsiyum olması, tuğlaların düşük miktarda kalsiyum içeren kil kullanılarak üretildiklerini ifade etmişlerdir.

2.3. Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç ve Sıvalar

Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen katılaşma özelliğine sahip malzemeye “harç” denir (Akman 1990). Harçlar, duvar malzemeleri arasındaki boşlukları kapatmak, taş veya tuğlaya kuvvet uygulandığında sertleşme ve kayma direnci sağlayarak duvara bütünlük sağlarlar. Bünyelerine giren bağlayıcı malzeme çeşidine göre; kil harcı, alçı harcı, çimento harcı, kireç harcı ve melez harç olarak adlandırılırken, yapıdaki kullanım yerlerine göre duvar örgü harçları, sıva harçları, şap-şerbet olarak sınıflandırılırlar. Duvar örgü harçları; kâgir elemanları birleştirmek ve yatay yükleri almak amacıyla hazırlanan harçlardır. Sıva harçları ise duvar ve tavan yüzeylerini estetik açıdan düzgünleştirmek ve teknik açıdan korumak

amacıyla uygulanan sürekli kaplamalardır (Mavi 2000, Kozlu 2010). Toprakten elde edilen tuğlanın ve kerpicin, yapı malzemesi olarak kullanılması harcın doğmasına neden olmuştur. Tarihte ilk kullanılan harç çamurdur. Çamur harcının ardından, Romalılarla birlikte, kireç harcı kullanılmaya başlanmıştır. Kireç harcından sonra, kum kireç karışımının içine pişmiş kil veya puzolan denilen volkanik tüfün karıştırılması ile su karşısında sertleşen bir bağlayıcı elde edilmiştir. Tarihi yığma-kargir yapılarda özellikle, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde ise horasan harcı adı verilen bağlayıcı kullanılmıştır (Kuban 1998).

Kireç kullanılarak elde edilen harç ve sıvalar, Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden, çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede, yapıların inşalarında kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak kireç, dolgu malzemesi olarak da ince agregaların karıştırılmasıyla kireç harcı ve sıvaları elde edilir. Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın özelliklerini geliştirmek amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı da bilinmektedir (Böke vd 2004). 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 puzolonik harçlar denirken, yapay puzolonik malzeme olarak tuğla ve seramik kırığı kullanılan harçlara Romalılar ve Bizans döneminde “Roman” harcı, Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde de renk ve doku olarak horasan toprağına benzediğı için “Horasan” harcı denilmiştir (Çamlıbel 1983). 18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren marn denilen killi kirecin, kirece göre daha yüksek sıcaklıkta pişirilmesi (1000-1200°C) ile su kireci elde edilmiş, daha sonraki yıllarda kil ve kalker belirli oranlarda karıştırılarak yaklaşık 1500°C pişirilmiş, çok ince öğütölmüş ve bugünkü anlamda çimento elde edilmiştir (Postacıoğlu 1986, Akman 1990).

2.3.1. Harcın tarihçesi ve kullanım teknikleri

Kalker kayalarından oluşan mağaralarda yaşayan Paleolitik devir insanları mağaralarda ateş yakarak muhtemelen kireci elde edebilmişlerdir, ancak kalsiyum karbonatın kirece dönüşmesi için gereken 900°C'yi elde edemedikleri için bu düşük nitelikli kireçten yararlanmaları olanaksızdır. Neolitik ve Kalkolitik çağlarda kireç, beyaz badana malzemesi olmaktan ileri gidememiştir. Doğal taş, kerpiç ve tuğla duvarların ilk bağlayıcı harcı çamurdur. Çamuru bağlayıcı olarak nitelendirmek elbette doğru değildir. Güçlü bir duvar yapısı için elverişli değildir (Akman 2003). Prehistorik devirde çamurun olumsuz etkilerinden dolayı yapılarda Paris sıvası (alçı) kullanılmıştır. Bu malzeme bugün kireç ve bitümün eş değeridir. Eski zamanlarda, bu malzemeler dekoratif amaçlar için kullanılmıştır. Çatalhöyük'te yapılan kazılarda 1x1x0.5 metre ölçüsünde bir küp kalıntı bulunmuştur. Bulunan bu küp kalıntıda Paris sıvasının kalıp tahtası içine konularak kalıplandığı ve duvar sıvası olarak kullanıldığı görülmüştür (Akman 1997). Günümüzden 3400 yıl kadar önce Mısır firavunu Amenhotep II'nin inşa ettiği Karnak Tapınağının taşları anhidrit alçı (susuz alçı) ile yerleştirilmiştir. Anhidrit alçının dayanımı ve atmosfer etkilerine karşı dayanıklılığı, hemihidrat alçıya (adi alçıya) göre daha yüksektir. Alçıdan oluşan harçlar, kare taş blokların derzleri aralarında kullanılmıştır ve en iyi örnekleri, Sakara ve Keops Piramitleridir (Akman 2003, Moropoulou vd 2005). Bu bulgular Neolitik ve Kalkolitik çağlardaki bazı kavimlerin alçıyı bildiklerini kanıtlamaktadır (Akman 2003). Tarih öncesi yıllarda İtalya'da harç yerine taşların arası kil ve çamurla dolduruluyor iken, Roma İmparatorluğu'nda daha iyi bir teknik olarak kireç ve kumun karıştırılmasıyla harç (mortar) denilen yapı malzemesi elde edilmiştir (Ward-Perkins 1974, Kahraman 2008).

Kalkerin 900°C 'de pişirilip söndürülmesinden elde edilen kireç ile üretilen harç, suya karşı dayanıklı değildir. Bu harcın dayanıklılığının artırılması için Romalılarda ve Bizans'ta kirece puzolan malzeme katılarak kirecin suda erimesi kısmen önlenmiş, bu harç ile üretilen bazı yapılar günümüze kadar ayakta kalabilmiştir. Daha sonraları kum-kireç karışımının içine pişmiş kilin veya puzolan denilen volkanik tüfün katılması ile su içinde de sertleşen bir bağlayıcı elde edilmiştir. Bugün yapılan araştırmalarda Roma devrinde yapılan bu harcın homojen olduğu, içindeki puzolan maddesinin iyi kaliteli bir hidrolik bağlayıcı olduğu görülmüştür (Postacıoğlu 1986, Akman 1990).

Romalılar Vezüv yakınlarında bulunan Puzoli toprağını kirecin içerisine katarak bir tür hidrolik bağlayıcı üretmişler, bu bağlayıcıya puzolanik çimento adını vermişlerdir. Puzolanik çimento adı volkanik tüfün ilk bulunduğu Vezüv yakınlarındaki Puzoli kasabasından alınmıştır. Daha sonra ise ürettikleri bu çimentoya kum - çakıl (silis, karbonat veya dolomit) ilave ederek betonu üretmişler ve üretilen bu hidrolik özellikteki harcın, işlenebilirlik, dayanım ve durabilite özelliklerini artırmışlardır (Moropoulou vd 1997b, Viaene vd 1997, Callebaut vd 2000, Kretzchmer 2000, Moropoulou vd 2000, Moropoulou vd 2003). Elde edilen bu hidrolik özellikteki harç, su yapılarında, erken Helenistik çağdan erken Bizans dönemine kadar kullanılmıştır (Degryse vd 2002). Yunanlılardan önce pişirilmiş kilin (tuğla kırığının) kirece katılması ile puzolanik özellikli bağlayıcılar elde edilmiştir. Örneğin günümüzden 8900 yıl önce İsrail Yifta-El de bu tip kireç harcı kullanılmış, 4-8 cm kalınlığında 65 m²'lik bir döşemenin yaklaşık 1.6 ton geldiği ölçülmüştür. Maksimum tane boyutu 10 mm olan iyi cins agrega, katmanlar halinde dökülen zemin betonunda kullanılmıştır. Döşemenin bazı yerlerinde ölçülen basınç dayanımının 45 MPa gibi yüksek bir değer olduğu görülmüştür (Akman 1997, Baradan 1998). Yunanlılar aynı işi kireç ve Thera toprağı (Santorine toprağı) ile gerçekleştirmişlerdir. Örneğin İ.Ö. 2. yüzyıl sırasında Delos adasındaki tarihi yapılarda puzolanik özellikli harçların kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Olay puzolanik reaksiyon sayesinde çimentonun ana taşıyıcıları olan aktif silis ve alüminyum elde edebilmek ve böylece suda çözülmeyen daha yüksek bir bağlayıcı üretmektir (Akman 2003, Moropoulou vd 2005).

Kireç, Latince'de "calx", İngilizce'de "lime" olarak adlandırılır. Kireç sıvaların kullanımına İ.Ö. 1700'lerde Mycenaean ve Minoic bölgelerinde Knossos Sarayı'nın yapımında rastlanmıştır. Mısır'da kullanımı ise İ.Ö. 300'lerde Ptolemae dönemine aittir. İlk kullanılan harçlar kireç, alçı ve çeşitli minerallerin karışımından elde edilmekteydi (Torraca 1982, Borelli 1999). İlk kireç ve kum kullanımı ise İ.Ö. 106 yılında Puteoli'de görülmüştür. Kireç harcının kullanımı Roma'dan Yunanistan ve Güney İtalya'ya yayılmıştır (Ward-Perkins 1974, Kahraman 2008). Mısır'daki Gize Piramitlerinde, Anadolu Uygarlıklarında, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı'da görülmüştür (Akman vd 1986).

Horasan; tuğla, kiremit gibi pişmiş toprak malzemelerin kırılmış öğütülmüş halidir. Horasan harcı ise horasan ile kirecin karışımından oluşan harçtır. Bu harca kum da karıştırılır (Akman vd 1986, Ersen vd 1995). Horasan adı İran'ın doğusundaki Horasan bölgesinden gelmektedir. Horasan'a Hindistan'da "surkhi", Arap ülkelerinde "homra", Roma döneminde "cocciopesto", Yunanistan'da "korassani", Suudi Arabistan'da "horasan" denilmektedir (Akman vd 1986, Uğurlu ve Böke 2006). Osmanlı döneminde horasan harcı hazırlıklarında kullanılacak tuğlaların yeni ve iyi pişirilmiş olması koşulu şartnamelerde belirtilmiştir. Tuğlaların iyi pişirilmesi koşulu tuğlanın hammaddesi olan killerin tamamının amorf hale dönüşmesinin gerekliliği ile açıklanabilir. En fazla amorf malzemenin 550-600°C sıcaklıkta elde edildiği bilinmektedir, çünkü silikat bu sıcaklıkta polimorflarına dönüşür (Saraylı 1987).

Yine günümüzden 2300 yıl önce Java'nın güneyindeki Bali Adası'nda inşa edilen duvarlarda, kireç harçlarının içerisine volkanik tüf eklenip kullanıldığı görülmüştür (Akman 1997). Romalılar kireç-puzolan karışımlı harçların, kireç harçlarından daha iyi olduğunu anlayıp çoğunlukla bu harçları kullanmayı tercih etmişlerdir. Roma çimentosu (opus - caementicium veya cementitious) olarak da adlandırılan bu harç, Ortadoğu ve Avrupa'da çok yaygın kullanılmıştır (Malinowski 1981, Baradan 1998, Moropoulou vd 2000, Callebaut vd 2001, Moropoulou vd 2005). Opus caementicium'a başlangıçta cement (çimento) denilse de daha sonra mortar (harç) deyiimi yaygın olarak kullanılmıştır (Adam 1999).

Romalı mimar Vitruvius, betonun Roma çağından önce bilindiğini ileri sürmektedir. Örneğin Kameiros- Rhodes'daki (İ.Ö. 5. yüzyıl) yapıların, köşe birleşim duvarlarının puzolanik betondan yapıldığı görülmüştür (Malinowski 1981). Ayrıca Romalılar harçlarına kimyasal katkılar (hayvansal yağlar, süt ve kan) ilave ettikleri de bilinmektedir. Bu katkı maddeleri harcın, reolojisini ve mekanik özellikleri artırmaktadır. İşlenebilirliği en fazla artıran kan, hemoglobin sayesinde hava da sürüklüyor ve betonun dona dayanıklılığını artırıyordu (Akman 2003, Moropoulou vd 2005). Roma İmparatorluğu'nun son dönemlerine gelindiğinde yatay derz kalınlığı 60 - 70 mm ve üzerinde olduğu zaman, yük taşıyıcı duvarların derzlerinde tuğla parçacıklarına daha sıklıkla rastlanmıştır. Bu malzemenin Bizans döneminde de

kullanıldığı görülmüştür. Tuğla parçacıklarının kullanımı yine İmparatorluk dönemi içerisinde son bulmuş ve orta çağda çok az kullanılmıştır. Rönesans dönemine gelindiğinde ise ham maddelerin seçimi ve üretiminin, Vitruvius'tan öğrenildiği gibi devam ettiği görülmüştür. Bu dönemde beyaz kireç, dere agregalarının kalkerlerinden elde edilmiştir (Moropoulou vd 2005).

18. yüzyıl sonu ve 19. yüzyıl başlarında harçlar için kullanılan, bağlayıcı tipinde büyük bir değişiklik gözlemlenmiştir. Hava sürükleyici kireç en popüler malzeme olarak yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Smeaton, kireçtaşının ve kilin yakılmasıyla elde edilen ürünün hidrolik özelliğini 1756'da keşfetmiş ve Vicat 1812'de bu harcın hidrolik özellikte olduğunu ispatlamıştır. J. Aspdin, 1824 de kil ve kireç karışımını fırında pişirerek su kirecinden daha üstün niteliklere sahip bir bağlayıcı elde etmiştir. 1835'de bu çalışmaları izleyen Isaac Charles Johnson kil ve kireç karışımının pişirme sıcaklıklarını artırarak bugünkü çimentoyu üretmiş, bu çimento yapılarda Portland çimentosu adı altında kullanılmaya başlanmıştır. 19. yüzyıl sırasında çoğunlukla doğal hidrolik kireç kullanılır ve bu Portland çimentosunun habercisi olmuştur. Doğal hidrolik kireç ve çimentonun üretimindeki ana fark yakma sıcaklıklarıdır (Callebaut vd 2001, Postacıoğlu 1986). Bu şekilde bağlayıcı malzeme gelişerek, günümüze kadar gelmiştir.

2.3.2. Harcı oluşturan malzemeler

Ağırlıkça veya hacimce önceden belirlenen miktarda bağlayıcı malzeme ve kum, kırılmış taş gibi dolgu malzemelerinin karıştırılması, bu karışıma hidratasyon ve işlenebilirlik özelliği sağlayan suyun ilave edilmesi ve tekrar karıştırılması ile oluşan, doğal ve sentetik katkı maddeleri de içerebilen, sertleşme özelliğine sahip hamurlara "harç" denir (Ashurst 1984, Güleç 1992, Borrelli 1999, Eriç 2002). Bağlayıcılar, kırma taş, tuğla parçacıkları, çakıl, kum gibi doğal (inorganik) ve/veya yapay dolgu maddelerini birbirine bağlayarak yapay taş oluşumuna imkân veren malzemelerdir. Bağlayıcıları, katılma özelliklerine göre 3 grupta değerlendirilmektedir (Torraca 1982, Ashurst ve Ashurst 1990, Borrelli 1999);

1. Hava ile katılma özelliği gösteren bağlayıcı malzemeler (hava kireci, kireç)
2. Su ile reaksiyona girerek katılma özelliği gösteren bağlayıcı malzemeler (alçı, su kireci, kireç+ puzolan ve çimentolar)

3. Su kaybı ile priz yapan bağlayıcı malzemeler (kerpiç harcı)

2.3.2.1. Kireç

Harç yapımında kullanılan kireç, kireç taşının kalsinasyonu (kızdırılması) ile elde edilir. Kirecin bağlayıcı olarak ilk kullanımı Babil, Finikeliler, Hitit ve Persler'de görülmüştür (Eriç 2002). Kirecin hammaddesi, kalker taşı, tebeşir vb., CaCO_3 kökenli külteler veya dolomit gibi MgCO_3 'dan meydana gelen kültelerdir. Kireçtaşları oluşumlarına göre üç gruba ayrılırlar (Torraca 1982):

1. Kimyasal kireçtaşları (CaCO_3 'ın suda çökmesi ve karbonatlaşması ile oluşur.)
2. Organik kireçtaşları (organizmaların fosilleşmiş kabuklarından oluşur.)
3. Klastik kireçtaşları (çökelen karbonat kayalar veya daha önce oluşmuş kireçtaşı parçalarının depolanmasıyla oluşur.)

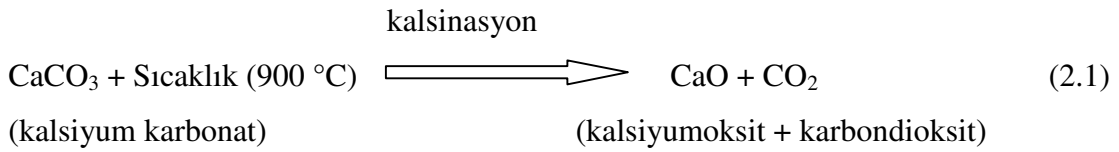
Kirecin hammaddesi, kalsiyum karbonat (CaCO_3) minerallerinden oluşan kireç taşlarıdır. Bu taşlar ısı ile kalsine olup karbondioksit gazının (CO_2) yapıdan ayrılması sonucunda kalsiyum okside (CaO) dönüşürler. Elde edilen bu malzemeye sönmemiş kireç denir. Kalsinasyon sonucunda elde edilen sönmemiş kireç (CaO), su veya havada bulunan nem ile reaksiyona girerek kalsiyum hidroksite (Ca(OH)_2) dönüşmektedir. Bu malzemeye sönmüş kireç denir. Kirecin sönmesi için havada %15 oranında nisbi nemin olması yeterli gelmektedir. (Boynton 1980, Mahrebel 2006). Kireç, sönmemiş kireç, hidrate kireç ve hidrolik kirecin çeşitli kimyasal ve fiziki şekillerini içeren genel bir terim olup, kireçtaşının (CaCO_3) ve dolomitin ($\text{CaMg (CO}_3)_2$) 850-1400 °C'de pişirilmesi ile elde edilen, su ile karıştırıldığında cinsine göre suda veya havada katılaşma özelliği gösteren inorganik bir bağlayıcıdır (Torraca 1996, Borrelli 1999). Kireç, hidrolik ve hidrolik olmayan kireç olmak üzere ikiye ayrılır. Hidrolik olmayan kireç, kirecin saf formudur, bunlara hava kireci ya da yüksek kalsiyumlu kireç te denir. Gelişmiş analizler gösteriyor ki, Romalılar sadece hidrolik olmayan kireç kullanmışlardır. Hidrolik olmayan kireçlerle hazırlanan harçlar CO_2 'nin harç tarafından emilmesiyle sertleşirler. Bu uzun bir süreçtir (betonda 10-15 yıl), 1000 yıllık yapılarda dahi karbonatlaşma olmamış olabilmektedir (Akman vd 1986).

İ.Ö. 90–20 yıllar arasında yaşamış Vitruvius’un bilgilerine göre, kireçtaşının ocağa atılmasından sonra sıcaklığın etkisiyle katı özelliğini kaybedip, gözenekleri açılır ve içindeki CO₂ buharlaşır, ocaktan çıkarıldıktan sonra hacmi değişmediği halde içindeki CO₂’nin kaybolmasıyla ağırlığı 1/3 oranında azalır. Kalsinasyon işleminin ardından suya atıldığında açılmış gözeneklere nem dolmasıyla sıcaklık kireçten atılmış olur ve sönme işlemi tamamlanır. Bizans’ta kireç ocaklarının inşaatın hemen yanına yapıldığı bilinmektedir. İstanbul’da tarihi yarımada da yer alan birçok kireç ocağı Büyük Saray’ın bulunduğu bölgede, tüm yapılara yakın olarak yer almıştır (Eyice 2006).

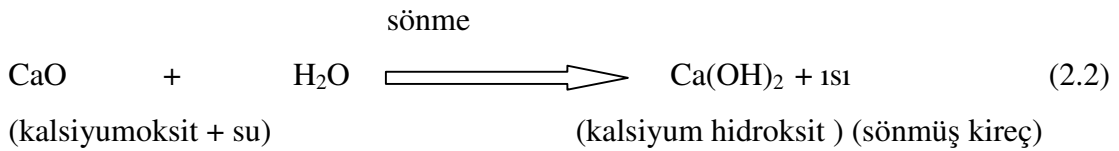
Kirecin ve kireç-horasan karışımının sertleşmeleri bilindiği gibi tamamen farklı kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Kuruyan hidrate kireç Ca(OH)₂ kristalleşir ve katılaşıp, ancak bu katılaşma geçicidir ve su ile temas halinde tekrar yumuşar. Kirecin suda erimeyen bir katı cisme dönüşmesi ancak CO₂ ile birleşerek kalsiyum karbonat (CaCO₃) oluşması ile mümkündür. Kalsiyum karbonatın ise asit karbonikli sularda çözüldüğü bilinmektedir. Kirecin kalsiyum karbonata dönüşmesi için havaya, daha doğrusu CO₂ içeren bir ortama ihtiyaç vardır. CO₂’in iç katmanlara difüzyonu çok uzun seneler gerektirdiğinden ve hidrate kirecin önce kuruması zorunlu olduğundan sertleşme süreci çok yavaştır, 1000 yıllık yapı temellerinde hala karbonatlaşmanın tamamlanmadığı gözlemlenmiştir. Kireç- horasan karışımının katılaşması ise bir asit-baz reaksiyonu sonucu suda çözülmeyen bir tuz oluşumuna dayanır. Pişmiş kil camlaşmış yani kimyasal aktivite kazanmış silistir (SiO₂), nitelik yönünden zayıf bir asit, kireç ise kuvvetli bir bazdır. Bu iki elemanın reaksiyonu ile bir kalsiyum silikat tuzu meydana gelir. Bu, yavaş gelişen bir kimyasal reaksiyondur, ancak havaya gereksinim yoktur, aksine ortamın ıslak oluşu kimyasal reaksiyonun daha elverişli biçimde gelişmesi için zorunludur; ayrıca elde edilen ürün asit karbonik içeren sularda dahi erimeyen jel yapılı bir hidrate tuzdur. Puzolanik etki olarak adlandırılan bu reaksiyonun başarılı olabilmesi için ortamın nemli, silisin daha aktif ve ince taneli olması gerekir (Akman vd 1986).

Kirecin kızdırılması ve sönmesi bir kimyasal reaksiyonlar dizisidir. Kireçtaşının özelliği, kalsit büyüklüğü, fiziksel özellikleri, gözeneklilik dağılımı, söndürme işlemindeki suyun saflığı, fırın sıcaklığı, ısıtma süresi kirecin özelliğini değiştirir (Özkaya vd 2006, Böke vd 2004).

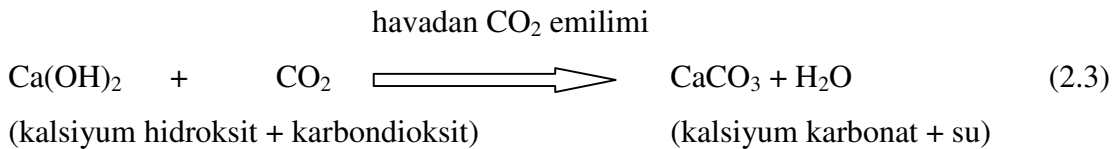
Kirecin kalitesine ve sönmemiş kirecin reaktifliğine yumru büyüklüğü, gözenekliliği, gözeneklilik dağılımı gibi fiziksel özellikleri ve kalsiyum karbonat kristallerinin büyüklüğü etki eder. Bunların yanı sıra su/kireç oranları, sönmemiş kirecin saflığı, parçacık büyüklüğü, pişirme sıcaklığı, karıştırma, söndürmede kullanılan suyun saflığı da kirecin özelliklerini etkileyen etkenlerdir (Böke vd. 2004). Sönmemiş kireç (CaO), CaCO₃ içeren kireçtaşının uygun bir ocakda 850–900 °C ısıtılması ile oluşur. Kireçtaşı yaklaşık 900 °C’de ısıtılırsa CaO’e dönüşür (2.1). Kirecin yakılmasında (kalsinasyon) amaç, CO₂ ve nemin açığa çıkarak geriye reaktif CaO’in yani sönmemiş kirecin kalmasıdır (Ashurst 1984, Borrelli 1999, TS EN 459-1 2011).



Sönmemiş kireç (CaO), su ile söndürülerek hidrate kireç (Ca(OH)₂) haline getirilir (2.2). Kirecin söndürülmesinde gaye, harç içinde bağlayıcı malzeme olarak kullanılan ve CO₂ ile birleşerek CaCO₃ oluşturmaya hazır kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂)’i meydana getirmektir (Ashurst ve Ashurst 1990, TS EN 459-1 2011, Borrelli 1999).



Karbonatlaşma adı verilen bir işlemle kireçtaşı priz yapar. Sönmüş kirecin sertleşmesi, havadaki CO₂ ile reaksiyona girmesi ve suyun buharlaşması ile oluşur (2.3) (Borrelli 1999).



Karbonatlaşma reaksiyonu çok hassastır ve hızı, su buharlaşma oranlarına ve CO₂'in varlığına bağlı olarak değişir. Gözenek yapısının da harcın kalınlığı kadar önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Karbonatlaşma hızı, karbonatlaşma ortamının bağıl nemine göre de değişir. Bir kireç harcında hidrate kireç, oluşum aşaması boyunca hem katı parçacıklar halinde hem de doymuş çözelti olarak mevcut olabilir. Havadaki CO₂ doğrudan doymuş Ca(OH)₂ çözeltisi ile reaksiyona girer, yavaş yavaş yüzeyden iç tabakalara ulaşır ve ince bir kristal CaCO₃ yüzey tabakası oluşturur (Ashurst ve Dimes 1990). Karışımdaki suyun buharlaşmasıyla oluşan büzülme mikro çatlakların oluşumuna neden olur. Bu mikro çatlaklar havadaki CO₂'in girişi için bir yol açar ve ardı ardına dönüşümler başlar. Su buharlaştıkça karbonatlaşma meydana gelir. Karbonatlaşma işlemi iç tabakalara doğru ilerledikçe kireç harcında sertleşme oluşur (Ashurst ve Ashurst 1990, Borrelli 1999). Kireç harçları yapılarda kullanıldıktan sonra havanın karbondioksitiyle birleşip, sertleşirler. Su altında sertleşen, priz alan ve su ile reaksiyona giren kireçlere hidrolik kireç denir. Hidrolik olma özelliği kireçtaşının kızdırılması sırasında içindeki killerden (silika, alümina ve demiroksit) kaynaklanır. Hidrolik kireç oluşumunda kireçtaşının yanmasıyla, 400–600 °C'de kil ayrışıp, 950–1250 °C'de kireç ile birleşerek kalsiyumlu silikat ve alüminat oksitleri oluşturur, özellikle trikalsiyum silikat ve dikalsiyum alüminat oluşur (Ashurst 1984). Hidrolik kirece puzolanik olmayan agrega katılmasıyla, hidrolik kireç içindeki reaktif olmayan silikat ve alüminatlar su ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidrat (C-A-H) oluşturarak sertleşirler (Çizer vd 2004).

Su kireci (hidrolik kireç), bileşiminde %10'dan fazla kil bulunan killi kalkerlerin (marn) 1000–1200°C civarında pişirilip öğütülmesi ile elde edilen, su ile karıştırıldıktan sonra havada ve su altında sertleşen bağlayıcı maddedir. Hava kireçlerine göre daha yüksek sıcaklıkta pişirildikleri için pişme sırasında kirecin kalsiyum oksiti (CaO) ile kilin bileşeni olan silis (SiO₂), alümin (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) ile birleşerek monokalsiyum silikat (CaOSiO₂), monokalsiyum ferrit (CaOFe₂O₃), monokalsiyum alüminat (CaOAl₂O₃) karma oksitlerini oluşturur. Bunlar suda çözünmeyip su içinde çökerek kristalleşir, hava kireçlerine göre daha fazla mukavemet kazanır (Saraylı 1987).

Vicat tarafından 1837’de yapılan çalışmalar temel alındığında hidrolik kireci şöyle sınıflandırabiliriz (Borrelli 1999):

- Zayıf hidrolik kireç (%12’nin altında kil içeren kireçtaşıdan üretilir.)
- Normal hidrolik kireç (%12-%18 arası kil içeren kireçtaşıdan üretilir.)
- Güçlü hidrolik kireç (%18-%25 arası kil içeren kireçtaşıdan üretilir.)

2.3.2.2. Agregalar

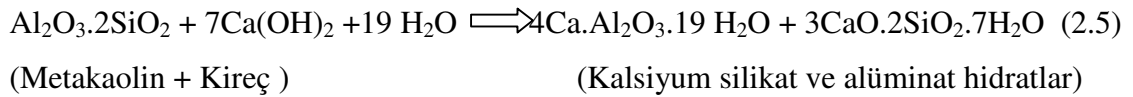
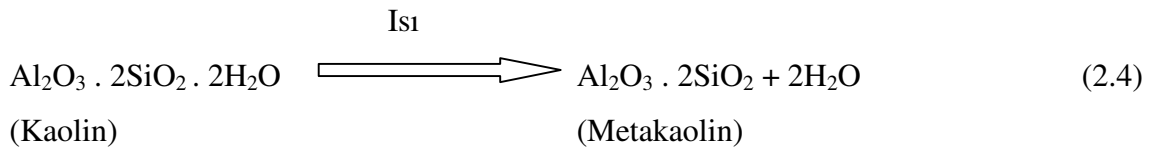
İnce veya iri, küresel, plak, iğne, kübik olmak üzere değişik şekilli ve çeşitli nedenlerle ufalanmış, taneli taş yığınının agrega denir (Saraylı 1987). Agregalar oluşumlarına göre doğal, yapay ve özel agrega olarak sınıflandırılır, elde edildiği kayaç cinsine göre de adlandırılır. Genellikle taşların ufalanması ile agrega oluştuğuna göre bünyedeki mineralleri bakımından ana kayaçla aynı özelliklere sahiptir ve silisli, kalkerli, feldspatlı gibi adlandırılır. Agregaları ağırlıklarına veya elde edildiği yere göre de sınıflandırmak mümkündür, ancak gerçek anlamda tane çaplarına göre ayırt edilir. Bazı hallerde iri agrega olarak çakıl yerine, doğal taş blokların konkasör ile parçalanması sonunda elde edilen kırmataş agregalarda kullanılır (Postacıoğlu 1986). Agregalar harç yapımında bağlayıcı malzemelerle birlikte kullanılarak rötreyi sınırlayan, silikat ve kalsiyum temel bileşimlerini içeren, farklı boyutlardaki mineral kökenli malzemelerdir. Agregalar genellikle reaksiyona girmezler, bazen reaktif olabilirler (kırılmış tuğla veya tuf gibi). Bazen karışımı çekme gerilmelerine karşı güçlendirmek için saman, kütük gibi lifli malzemeler de eklenebilir (Borrelli 1999).

Kireç harcı ve sıvalarının yapımında dolgu malzemesi olarak kullanılan agregalar, kireç ile reaksiyona girmeyen ve reaksiyona giren (puzolan) agregalar olarak sınıflandırılabilirler. Reaksiyona girmeyen agregalar, taş ocağı, dere ve denizlerden temin edilen agregalardır. Puzolanik agregalar kireç ile reaksiyona girerek harç ve sıvaların nemli ortamlarda, hatta su altında da sertleşmesini sağlayan amorf silikatlar ve alüminatlardan oluşan agregalardır. Puzolanlar doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılabilir. Doğal puzolanlar (tuf, tras, opal vb.) genelde volkanik küllerden oluşmaktadır. Yapay puzolan olarak birçok tarihi yapının harç ve sıvalarında tuğla, kiremit vb. pişirilmiş malzemeler kullanılmıştır (Lea 1940).

Kum ve çakıllar doğal agregalar; kırma taş, yüksek fırın cürufları ve pişmiş küller yapay agregalardır. Geleneksel harçlarda en çok rastlanan agregalar; kum, tuğla ve taş kırıkları, midye kabukları, yüksek fırın cürufları ve küllerdir (Borelli 1999, Eri 2002). Agreganın ilavesiyle harcın stabilitesi ve strüktürel performansının daha iyi olması sağlanmıştır. Agreganın tipinin yanı sıra mineralojisi, karışımdaki miktarı, maksimum tane büyüklüğü dağılımı ve bağlayıcı/agrega oranı da harcın performansını etkilemektedir (Stefanidou ve Papayianni 2005). Köşeli agreganın kullanılması ile harçta sürtünme artacağından harç daha dayanıklı olur, çatlakların oluşmasını engeller, güçlü kompakt yapı oluşur, boşluklu yapı sağlaması ile harcın tuza, donma ve çözünmeye karşı direncini artırır (Güleç 1992, Stefanidou ve Papayianni 2005, Velosa vd 2007). Doğal agregalar (akıl ve kumlar) derelerden, eski dere yataklarından oluşan ocaklardan, denizlerden ve çöllerden sağlanır. En iyi malzemeler derelerden elde edilenlerdir. Bunlar temiz, düzgün tanelerden oluşur. Ocak kumlarında kil (mil) oranı yüksektir. Deniz ve l kumları ise tekdüze taneli ve genellikle de ince malzemelerdir. Deniz kumlarındaki midye, istiridye kabukları (kavkı ve tuz) durabilite açısından sorunlar çıkarırlar, agreganın yerleşmesini güçleştirirler, dona dayanıklılığı dşrrlenir, bazen de düşük mukavemetli taneler oluştururlar (Akman 1990).

Agreganın harç ve beton içindeki oranı % 70-75 olduğundan ve kompozit zelliliğini etkilediğinden agreganın fiziksel, mekanik özelliklerinin ve granülometrisinin (tane ölçümü) belirlenmesi için uygun deneylerin yapılması gerekir. Örneğin; küçük boyutlu agregaların iri boyutluların arasını doldurması sağlandığında, agreganın yüzeyini saran bağlayıcı miktarı ve sertleşme ile hacim küçülmesi az olup harcın mukavemeti yüksektir. Agreganın boyutu, dayanıklılığı, içeriği harç ve sıvanın mukavemetini doğrudan etkiler. Yuvarlak veya köşeli agregalardan sürtünme miktarını ve buna bağlı sağlamlılığı artırması nedeni ile köşeli olanlar tercih edilmelidir. Tarihi yapılarda yaygın olarak kum, tuğla ve kiremit kırığı, kırılmış taş, mermer, tras kullanılmıştır. Tarihi yapıların onarımında çoğunlukla silis içeren, yıkanmış olması sebebiyle bünyesinde kil ve silt gibi zararlı maddeler barındırmayan dere kumları kullanılmaktadır. Deniz kumları ise homojen, temiz ve ince taneli olmalarına rağmen içerdiği tuz sebebi ile harç mukavemetini dşrrlenir. Toprakta ıkarılan kum ise içerisinde olabilecek kil ihtimali yüzünden iyice yıkandıktan sonra kullanılmalıdır (Akbulut-Ekşi 2006).

Tuğlaların harçta kullanılmasının yapısal faydalarının yanında harca verdiği renkle de yapıda kullanılan malzemelere uyumlu oluşu estetik açıdan da önem taşır (Akman vd 1986). Tuğlalar kil, kuvars, feldspat gibi hammaddelerin su ile karıştırılarak şekillendirilmesi, kurutulması, 850-900 °C arasındaki sıcaklıkta pişirilmesi ile üretilir. Bu pişirilme sırasında kristal yapıları bozularak puzolanik özellikleri olan silikat ve alüminatlar oluşur. Eğer tuğla 1000 °C'nin üzerinde pişirilirse puzolanik özelliğini kaybederek mullit ve kristobalit mineralleri oluşur (Budak vd 2004, Böke vd 2007). Tuğlaların hammaddesi olan kaolin pişme sırasında 600 °C'de puzolanik özellikli metakaoline dönüşür (2.4)(2.5).



Bu reaksiyondan da görüleceği gibi, hidrolik olmayan kireç hidrolik özellik kazanır. Horasan harcında kullanılan tuğlalar yüksek miktarda silis, alüminyum oksit, demir oksit içerirler (Böke vd 2007). Tuğla agregaların yoğunlukları diğer agregalardan daha düşük olduğu için horasan harçları hafif olup ve yüksek çekme dayanımına sahiptirler (Böke vd 2004).

2.3.2.3. Puzolan

Puzolanın Latincedeki karşılığı “pulvis puteolanus” (Puteoli powder) Puteoli çevresindeki volkanik tüflerden gelmektedir. İ.S. 2. yüzyılda puzolanın kireçle reaksiyona girerek harca hidrolik özellik verdiği fark edilmiştir. İ.S. 235’lerde Roma harcı volkanik tuf olan puzolan ve kirecin karışımı ile yapılmıştır. Sur duvarlarında, tonozlarda hatta birçok sivil mimari yapılarda da kullanılmıştır (Ward-Perkins 1974, Moropoulou vd 2005, Kahraman 2008). İtalya’nın batısında Latium ve Campania Cumhuriyetlerinde volkanik kum olarak “puzolana” kullanılınca bunun daha dayanıklı olduğunu saptamışlardır (Ward-Perkins 1974, Kahraman 2008). Puzolan malzemeler

ince öğütülmüş silisli ve alüminli maddelerdir. Yalnız başına bağlayıcılık özellikleri olmamasına karşın kireç veya çimento ile karıştırıldığında su ile yaptığı reaksiyon sonunda, 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, alümina ve silikatlarca zengin bir maddedir, kireçle birleştiğinde alümina ve silikalar reaksiyona girerek, kumla yapılmış harçtan 8-10 kat daha güçlü harç elde edilmiş olur. Puzolan ve kireçle hazırlanan harç, su altında sertleşir. Puzolanlar su ile karşılaştıklarında kendi kendine reaksiyona girmezler. Puzolanın ince elenmiş olması aktifliği ile orantılıdır. İnceliğinin ortalama 3000 cm²/gr ve 7200 cm²/gr arasında olması tavsiye edilir (Koçu 1997). TS 25'e (2008) göre puzolan, özgül yüzeyi en az 4000 cm²/gr ve maksimum tane boyutu 100 µm olacak şekilde öğütülmelidir. Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal puzolanlar, tüf ve ponza taşından oluşurlar. Yapay puzolanlar ise tuğla, kiremit gibi pişmiş seramik malzemeler ve uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü gibi malzemelerdir (Özkaya vd 2006). Puzolanlar, Çizelge 2.3'de görüldüğü gibi kökenlerine göre doğal ve yapay puzolanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar (Massazza 1989).

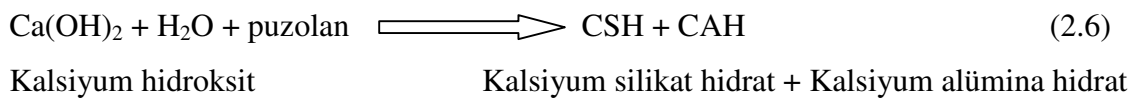
Çizelge 2.3. Kökenlerine göre puzolan çeşitleri (Massazza 1989).

DOĞAL PUZOLANLAR	YAPAY PUZOLANLAR
1. Piroklastik malzemeler a. Gevşek kayalar (Santorin toprağı) b. Sıkı kayalar (Alman Ren trası) *Killi madde *Aktif olmayan zeolitli 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 killer)	1. Pişmiş şistler 2. Pişmiş killer 3. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu 4. Silis dumanı 5. Pirinç kabuğu külü

Yapay puzolan olarak bilinen maddelerin en önemlilerinden biri pişmiş kildir. Kil pişirildiğinde bünyesindeki suyun buharlaşmasından sonra ısıнын etkisiyle kimyasal bir olay meydana gelir ve sertleşir. Saf killer 600-700°C’de, marnlı killer ise 800°C’de pişirilip, öğütülerek puzolan olarak kullanılabilirler (Postacıoğlu 1986). Silis Dumanı; silisyum ve alaşımlarının üretiminde bir yan ürün olarak elde edilen silis dumanı, küçük boyutlu olması nedeniyle hamur içindeki boşlukları doldurarak dayanımı artırır, geçirimsizliği azaltır. Silis dumanı ferrosilisyum ve silisyum metal endüstrisinin yan ürünüdür. Elektrik ark fırınlarında yüksek saflıkta kuvarsitin, kok kömürü ile redüksiyonu sonucu elde edilir. Yüksek sıcaklıkta gaz haline geçen SiO, fırının düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde veya sisteme ilave edilen kolektörlerde SiO₂ olarak yoğunlaşır. Ani soğuma nedeniyle kristalleşemeyen SiO₂ amorf yapıda, çok küçük küresel taneli, çimentodan 30-100 kat daha ince, bünyesinde %90’dan fazla silisyum dioksit içeren yüzey alanı 220.000–300.000 cm²/gr olan mineral katkı maddesidir (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 şeklinde olan tanelerin boyutları 0.5-200 arasında değişen uçucu külün hiçbir öğütme işlemi yapılmadan kullanılmaktadır (Yeğınobalı 2004). 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 “letiyе” denir (Postacıoğlu 1986).

Puzolanlar, tek başına bağlayıcı olmayıp, kireç veya çimento gibi bağlayıcılarla karıştırılınca, bağlayıcı malzeme içerisinde bulunan serbest kireçle (Ca(OH)₂) reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan malzemelerdir (Ashurst ve Ashurst 1990). Bünyelerinde SiO₂ ve Al₂O₃ bulundurlar. Su ile karıştırıldıklarında çamur haline gelirler, kuruyunca tekrar eski hallerine dönerlerken, kireçle karıştırıldıklarında

bağlayıcılık kazanarak suda çözünmeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler. İyi bir puzolan % 40 ile % 90 arası aktif silis içermelidir (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). Puzolanların reaktif durumda içerdikleri silika (SiO_2) ve alümina (Al_2O_3) bileşimleri, Ca(OH)_2 ve su ile reaksiyona girerek yeni bileşimler oluştururlar (2.6). Oluşan kalsiyum silikat hidrat (CSH) ve kalsiyum alümina hidrat (CAH) ürünleri bu harç tipinin kimyasal oluşum araçlarıdır (Borrelli 1999, Gibbons 1999).



Bu reaksiyonun hızı, sönmüş hidrate kireç, inert kumlarla (kalsit, kuartz, kaya parçacıkları gibi) karıştırılırsa, karbonatlaşması daha fazladır. Bunun nedeni ise puzolanik harcın daha hızlı sertleşmesidir (Borrelli 1999). Kireç ve portland çimentosuna katılan puzolanların serbest kireçle birleşmesi, bu maddelerin harcın bazı özelliklerinin değişmesini ve yeni özellikler kazanmasını sağlamaktadır. Yapılan çeşitli çalışmaların sonucu, puzolanın, harcın, suların zararlı etkilerine karşı dayanıklılığı artırarak kimyasal mukavemetini yükselttiğini göstermiştir. Başlangıçta mekanik mukavemette önceleri bir düşüş görülmekle birlikte zamanla mekanik mukavemetin de arttığı tespit edilmiştir (Tunçoku ve Caner-Saltık 2006).

2.3.2.4. Katkı maddeleri

Horasan harçlarında, mukavemeti arttırmak için organik ve inorganik katkı maddeleri ekleniyordu, ancak bunlar zamanla harçta mikrobiyolojik bozulmalara yol açtığı tespit edilmiştir. Katkı maddeleri lifli katkılar ve organik katkılar olmak üzere ayrılmaktadır. Lifli katkı olarak keten, saman, bitki lifleri, hayvan kılı kullanılıyordu. Bunlar sıvalara katılarak dayanma gücünü artırmaktaydılar. Bizans'ta lifli katkılar kullanılmamıştır. Organik katkı maddeleri olarak ise albümin, keratin, yumurta akı, yumurta sarısı, peynir, incir sütü, şeker, kemik tutkalı, pirinç, kazein, balmumu, kesilmiş süt gibi maddeler kullanılıyordu. İncir sütü, kesilmiş süt, domuz yağı harçta sertleşmeyi sağlamak için, yumurta akı ve kan sertleşmeyi geciktirmek için, şeker,

donma-çözünme sırasında meydana getirdiği bozulmaları engellemek için, kazein ve beziryağı yalıtım için kullanılmaktaydı (Güleç 1992, Böke vd 2004).

Tarihi yapılarda harç ve sıvaların dayanımını artırmak için bağlayıcı ve agreganın dışında en çok kullanılan katkı lifli katkılardır. Erken dönemlerde kullanılan kireç harçlarının özellikle de sıvaların çekme mukavemetini arttırmak için bitkisel lifler, hayvan kılları ve tüyleri kullanılmış, mikro donatı tekniği uygulanmıştır. Ülkemizde bulunan en eski uygulamaya Truva (İ.Ö. 2500) kazılarında rastlanmıştır. O bölgenin insanları pişmiş tuğla ile yapılan örme duvar üzerindeki sıvalarda saman çöpü ve keçi kılı kullanarak mikro donatı teknolojisinin ilk örneklerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, bu tür katkıların sıva ve harçlarda plastik rötreyi azalttığı, işlenebilirliği artırdığı ve sıva işlemleri sırasında dökülmeleri azaltarak ekonomi sağladığı görülmüştür. Örneğin; İstanbul'daki Ayasofya kilisesinin yapımı sırasında duvar sıvası karışımına karaağaç kabuğu ve sıcak arpa suyu katılmış olduğu belirlenmiştir (Satongar-Laçinyurt 1994). Yapı malzemelerine katılan lifler önceleri bitkisel kökenliler ve sonrasında cam lifler olurken günümüz teknolojisi ile çelik, polimer ve selülozik esaslı lifler de kullanılmaktadır. Daha önceleri kullanılan liflerden cam liflerinin özellikle alkali ortamlarda iyi sonuç vermemesi nedeni ile bugün çelik ve polimer esaslı liflerin, başta beton olmak üzere, sıva ve harçlara katılması yaygınlaşmıştır (Gürdal ve Acun 2004).

2.3.3. Tarihi yapılarda kullanılan harçlarla ilgili yapılan çalışmalar

Harçların özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesi ilgili çalışmalar 19. yüzyılda başlamış, 20. yüzyılda bilimsel nitelikli çalışmalar ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalara bakıldığında, bu çalışmaların üç ana grupta toplandığı görülmektedir.

İlk grup çalışmalarda tarihi yapılarda kullanılan harçların özgün niteliklerinin belirlendiği karakterizasyon amaçlı araştırmalar yer almaktadır. Bu araştırmalarda, çeşitli yöntemlerle özgün harçların fiziksel, kimyasal, mekanik, içyapı analizleri yapılmıştır.

İkinci grup çalışmalarda ise onarımlarda kullanılacak harçları oluşturan malzemelerin araştırıldığı, bu malzemelerle üretilecek onarım harçlarının fiziksel,

kimyasal, mekanik, içyapı analizleri ile niteliklerinin belirlendiği, uygun şartları sağlayamayan malzemelerle üretilen harçların özgün malzemelere verdiği zararların etkilerini araştıran çalışmalar olmuştur.

Üçüncü grup çalışmalar, hem birinci grup hem de ikinci grup çalışmaların birlikte yapıldığı, özgün niteliklerin belirlendiği karakterizasyon çalışmalarının yanı sıra onarım harcı önerilerinin de geliştirildiği araştırmalardır. Üçüncü grup araştırmalar oldukça az sayıdadır.

RILEM tarafından 1988’de Ravello’da gerçekleştirilen bir workshop sonrasında, onarım harçları için gereken genel şartlar belirlenmiştir. Bu rapora göre yeni ve eski harçlar konusundaki çalışmalar paralel yürütülmelidir. Eski harçların malzeme karakterizasyonu, onarım harcı üretilmesi için yapılması gereken ilk çalışmadır. “Harçların içerikleri ve bileşim oranları belirlendikten sonra orijinal malzemelerine en yakın karakterde yeni malzemeler saptanmalı, yapılan deneysel çalışmalar standartlara uygun yöntemlerle gerçekleştirilmelidir. Onarım harcı için yapılan yeni üretimler yine standartlara uygun yöntemlerle analiz edilmeli, malzemelerin tanımı, içeriği ve oranları net olarak yapılmalıdır” ifadesi, yine onarım harçlarının orijinaline uygun üretilmesi konusunda yapılan vurgulardan biridir (Rossi-Doria 1990, Kozlu 2010).

Tarihi yapılarda kullanılan harçların özgün niteliklerini belirlemek için yapılan karakterizasyon çalışmaları ile onarım harçlarının özgün malzeme özelliklerine benzer olabilmesi için yapılan çalışmaların kronolojik gelişimi bu kısımda ele alınmıştır.

İstanbul’da bulunan bazı hamam ve medrese yapılarının harç karakterizasyonlarının yapılması amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, yapılardan alınan duvar örgü harcı ve sıva harcı örneklerinin fiziksel, kimyasal ve petrografik analizleri gerçekleştirilerek içerikleri ve özellikleri belirlenmiştir (Güleç 1992). Tarihi Horasan harçlarının karakterizasyonu ve uygun malzemelerle hazırlanan 13 farklı karışımın analizlerini esas alan bir çalışmada, İstanbul Surları ve Tahtakale Hamamı’ndan alınan Horasan harcı numuneleri incelenmiştir. Yeni karışımlarda puzolanik madde olarak tuğla tozu ve Kapadokya Bölgesinden elde edilen süngertaşları

kullanılan araştırma sonucunda, ponza taşının tuğla tozundan daha etkili bir puzolanik katkı olduğu görülmüştür (Ersen vd 1995).

İtalya'nın Campania bölgesinde 16 adet tarihi yapının duvar örgü harçlarının orijinaline uygun şekilde yeniden yapımı amacıyla bir çalışma yapılmış, yapılan analiz ve araştırmalar neticesinde mevcut harçlara en yakın nitelikte yeni harç karışımları elde edilmiştir. Ancak bu yöntemlerin puzolanik harçlarda olumlu sonuçlar verirken kalker-silikat agrega esaslı harçlarda olumsuz sonuçlar verebileceği belirtilmiştir (Berlucchi ve Corradini 1995). Harçlarda kullanılan puzolanik maddelerin dayanıma etkisi konusunda yapılan bir çalışmada, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi yapay puzolanlar ve doğal puzolan olan Şile trasının harç içerisinde kullanımları sonucu ortaya çıkan ürünlerin dayanım testleri yapılmıştır. Sonuç olarak pirinç kabuğu külü ve silis dumanının, diğer yapay puzolanlara ve doğal trasa göre puzolanik aktivitesinin ve dayanım gücünün daha yüksek olduğu saptanmıştır (Kılınçkale 1996).

Akdeniz Bölgesi'ndeki bazı tarihi yapılar üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, yapılardan alınan harçların fiziksel, kimyasal ve petrografik özellikleri tespit edilmiştir (Moropoulou vd 1997a). Moropoulou vd (1997b), tarihi yapılardaki harçların kompozit malzemeler olduğunu ifade etmişlerdir. Harca ilave edilen kırılmış tuğla ve puzolanik katkılar, aderans ve işlenebilirlik özelliklerini artırmıştır. Harçların aderans özelliği; yapım tekniğine (derz kalınlığı, karbonatlaşma yüzeyi), üretim teknolojisine (karışım oranı, bağlayıcı ile agreganın granülometrik dağılımı) ve kirecin teknolojisine (yakma sıcaklığı, söndürme zamanı, su oranı vs.) bağlıdır. XRD analiz sonucunda, kalsit ve kuvarsın ana bileşen olduğunu, magnezyumca zengin dolomit ve klorit minerallerinin de bulunduğunu gözlemlemişlerdir.

Konya yöresinde yer alan volkanik tüflerin onarım harçlarında puzolanik katkı olarak kullanılması konusunu ele alan bir çalışmada, bu bölgede bulunan volkanik tüflerin kimyasal özellikleri ve puzolanik aktiviteleri araştırılmış, bu katkıların inşaat sektöründe aktif olarak kullanımını sağlamak amacıyla öneriler geliştirilmiştir (Koçu 1997). Selanik'te gerçekleştirilen çalışmalarda Osmanlı dönemine ait yapılardan harç numuneleri alınmış, bu numunelerin bileşim oranları ve içerikleri belirlenerek

onarımlarda kullanılabilecek harçlar üzerine yeni öneriler geliştirilmiştir (Papayianni 1997, Papayianni ve Stefanidou 1997). Papayianni (1997), Selanik'te 15. ve 16. yüzyılda inşa edilen tarihi yapılardan aldığı harç numuneler üzerinde XRD analizi tatbik etmiştir. Tonozlarda ince tuğlalar kullanıldığını ve zeminlerde kalın tuğlalar (genişliği 6 cm ve üzeri) kullanıldığını belirtmiştir. Papayianni ve Stefanidou (1997), restorasyonda kullanılan harçların üretimi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Restorasyon harçlarının görünümü (renk), bileşenleri, mukavemeti ve porozitesinin tarihi yapılardaki malzemelerle benzer özellikler taşıması gerektiğini belirtmişlerdir. Papayianni ve Hatzitrifonos (1997), Selanik'teki Pazar Hamamı'nın restorasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Restorasyona başlamadan önce tarihi yapıların mimari morfolojisi, yapısal sistemi ve patolojisinin yapılmasının gerekliliğini ifade etmişlerdir.

Geç Roma dönemine doğru tuğla kırığının çok yaygın kullanıldığı, yatay derzlerdeki kalınlığın 1-1.5 cm'den 6-7 cm'ye çıktığı, bu özelliğin Bizans döneminde de kullanıldığı ve Ayasofya'da 7 cm.'lik derz kalınlığına ulaşıldığı görülmektedir. Tuğla kırığı kullanılmasının imparatorluk zamanında da devam ettiği görülürken Ortaçağa doğru azalmıştır. Bunun nedeninin ekonominin zayıf olması ya da tuğla kullanımının az olduğu yapıların yapılmasına bağlı olabilir (Baronio vd 1997a, Stefanidou ve Papayianni 2005). Baronio vd (1997b), Roma ve Bizans dönemi yapılarda kullanılan kalın harçlardaki agrega ve tuğla tozunun rollerini araştırmışlardır. Hidrate kireç harçlarında, kırılmış tuğlalı malzemelerin kullanıldığını belirtmişlerdir. Roma ve Bizans dönemlerinde yapılmış yapıların derz kalınlıklarının tuğla kalınlıklarına oranının, birin üzerinde olduğunu 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 numuneler üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucu, bağlayıcı ve tuğla parçacıkları arasındaki aderansın genellikle çok iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

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.

8900 yıl önce (Neolitik Çağ) İsrail Yiftael’de yapılan bir yapıda kireç harcı bulunmuş ve bu harç; kırılmış kireçtaşı, kül ve kumun karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Bu harç ile yapılan 4-8 cm kalınlığında 65 m²’lik bir döşemenin yaklaşık 1.6 ton geldiği ölçülmüştür. Döşemenin bazı yerlerinde ölçülen basınç dayanımının 45 MPa gibi yüksek bir değer olduğu görülmüştür (Akman 1997, Baradan 1998).

Riccardi vd (1998), Pavia’nın merkezindeki 4-6. yüzyıl, 9-10. yüzyıl ve 16. yüzyılda inşa edilen üç yapıdan aldıkları tarihi harçlar üzerinde; mikroskopik 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.

Danimarka’da bulunan dört Ortaçağ kilisesinden alınan duvar örgü harcı örneklerinin incelendiği bir araştırmada, örnekler üzerinde polarizan mikroskop, XRD,

XRF ve SEM analizleri yapılarak içerikleri belirlenmiştir. Hidrolik kireç kullanılarak üretilen onarım harcı önerileri ile içerikleri belirlenen harçların karşılaştırmaları yapılmıştır (Andersen vd 1999). İskoçya’da yapılan bir araştırmada, 19. yüzyıl yapılarından alınan harç örneklerinin kimyasal, fiziksel ve petrografik analizleri yapılarak malzeme içerikleri belirlenmiştir. Onarım harçlarında kullanılabilecek hammaddelerin içerikleri tespit edilmiştir (Leslie ve Gibbons 1999). İtalya’nın farklı bölgelerinden alınan 150 harç örneğinin karakterizasyonu ve mekanik özelliklerinin belirlendiği bir çalışmada, onarım harcı önerileri geliştirilmiş, bu onarım harçlarının mekanik özellikleri ile özgün harçların mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır (Baronio vd 1999). Tarihi harçların analiz yöntemleri üzerine yapılan bir araştırmada, kimyasal ve petrografik analizlerin yanısıra termal bir analiz yöntemi olan DTA yönteminin de kullanılması gerektiği çeşitli örneklerle açıklanmıştır (Ellis 1999).

Moropoulou vd (2000), tarihi harçların kompozit malzemeler olduğunu belirtmişlerdir. 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 kompleks silikatlarında bulunduğunu ancak alçının bulunmadığını göstermişlerdir. Franzini vd (2000), Pisa’dan aldıkları tarihi harçlar üzerinde SEM ve XRD analizleri uygulamışlardır. Fiziksel özelliklerden özgül kütle, birim hacim kütle ve su emme deneylerini yapmışlardır. Özgül kütle değerinin $2.52 - 2.69 \text{ gr/cm}^3$, birim hacim kütle değerinin $1.09-1.70 \text{ gr/cm}^3$, su emme değerininse % 32.60- %51.50 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. XRD analizi ile harçların bağlayıcı kısımlarının kristalize kuvarslardan oluştuğunu saptamışlardır.

Callebaut vd (2000), Sagalassos antik kentindeki harçlarda kullanılan agregaları kireçtaşı, kırılmış seramikler (chamotte) ve volkanik kayaç kırıntılar olmak üzere üç tipte incelemişlerdir. Kireç harçlarında kullanılan ham maddeleri ortaya çıkarmak için mineralojik ve petrografik analizler yapmışlardır. Chamotte katkısında, feldspat, kuvars, mika, hematit, piroksen ve amfibol mineralleri bulunduğunu, volkanik kayaç kırıntılarının, tuf, lav, pomza ve kum taşından oluştuğunu belirtmişlerdir. Biotit ve ojit minerallerinin genellikle pomza parçacıklarında bulunduğunu ve lav parçacıklarındaysa plajioklad ve alkali feldspatlarının var olabileceğini ifade etmişlerdir. Callebaut vd (2001), 19. yüzyıl'da Saint Michael kilisesinde yapılan restorasyon harçlarını incelemişlerdir. Harçlar üzerinde XRD, SEM/EDX ve kimyasal analizler yapmışlardır. Kimyasal analize dayalı olarak hidrolik indeksi ve çimento indeksini Boynton'a göre hesaplayıp, değerlendirmişlerdir.

Macchiarola vd (2001), tarihi magnezyum kireç harçlarının mineralojik özelliklerini XRD analizle gözlemlemişlerdir. Magnezyum kireç harçlarının, dolomitik kireç taşlarından üretildiğini belirtmişlerdir. XRD analizinden elde edilen sonuçlar, geçmişte kullanılan ham maddeler ve bunların hazırlama metotları hakkında yararlı bilgiler ortaya çıkarmaktadır. Mistakidou vd (2001), Yunanistan'daki tarihi yapıların restorasyonu üzerine çalışmışlardır. Restorasyon harçlarının üretilmesi için hidrate kireç, tuğla tozu, deniz kumu ve portland çimentosu kullanmışlardır. Üretilen restorasyon harçlarının mineralojik özelliklerini belirlemek için optik mikroskop, XRD ve XRF analizleri yapmışlardır. Üretilen harçların durabilitesinin ve işlenebilirliğinin mükemmel olduğunu tespit etmişlerdir. Papayianni ve Stefanidou (2001), tarihi harçların kireç, hidrolik kireç veya kireçle puzolandan yapıldığını ifade etmişlerdir. Harç numunelerin mineralojik özelliklerini incelemek için SEM analizi yapmışlardır. Harçların porozite değerinin % 20 - % 28 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Konya civarındaki Anadolu Selçuklu yapılarında kullanılan kireç harçlarının araştırıldığı bir çalışmada, bölgedeki dönem yapılarında kullanılan harçların fiziksel, kimyasal, petrografik ve mekanik özellikleri tespit edilerek karakterizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir (Tunçoku 2001). Biscontin vd (2002), Venedik'te bulunan tarihi

yapılardan aldıkları harçların fiziksel, kimyasal, mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu özelliklerin belirlenmesi ile onarım harçlarının üretimi hakkında bilgiler ortaya çıkmaktadır. Onarım harçlarında kullanılabilecek bağlayıcı/agrega oranları ve içerikleri belirlenmiştir. Degryse vd (2002), Sagalassos antik kentindeki tarihi yapılarda kullanılan harçları incelemişler, mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemişlerdir. Harçlarda kullanılan ham maddeleri (kireçtaşı, kırılmış tuğla, volkanik parçacıklar) ortaya çıkarmışlardır. Agregada olarak sadece kırılmış tuğla kullanılan bazı harçların daha zayıf olduğu, buna karşılık volkanik malzeme ve kireçtaşı kullanılan harçların dayanımının daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Volkanik taş parçaları ve kireci karıştırarak restorasyon harçlarını üretmişlerdir. Elde edilen restorasyon harcının donma ve çözölmeye karşı çok iyi değerler gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Moropoulou vd (2003), tarihi harçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesiyle üretim süreci hakkında yararlı bilgiler verebileceğini ve bu bilgilerin restorasyon sırasında önemli olduğunu belirtmişlerdir. Harçları, tipik kireç harcı, kırılmış tuğla kireç harcı, cementitious harcı ve portland çimentolu harç olmak üzere dört sınıfta incelemişlerdir. Tipik kireç harcı, kalsit (%80) ve kuvarstan oluşan karışımı içermektedir. Bağlayıcı malzeme ince kristalize kalsittir. Kırılmış tuğla kireç harcının, ince tuğla parçacıkları ile bağlayıcı malzemelerden oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu teknolojinin Erken Bizans Periyodundan Osmanlı Periyoduna kadar uzandığını ve mükemmel puzolanik özellik gösterdiğini belirtmişlerdir. Cementitious harçları, Vitruv'un bahsettiği opus caementicium diye bilinen harç olduğunu ve bu harcın, kum, kireç, puzolan (volkanik toprak) ve çakılın birebir kullanılmasından oluştuğunu ifade etmişlerdir. Portland çimentosu ile üretilen harcın, günümüz teknolojisinde kullanılan harç tipi olduğunu da belirtmişlerdir. Maravelaki-Kalaitzaki vd (2003), tarihi yapılardan aldıkları harç örneklerini kireç katkılı, hidrolik kireç katkılı, kırılmış tuğla katkılı ve puzolan katkılı olmak üzere gruplandırmışlardır. Harç örneklerinin mineralojik ve kimyasal özelliklerini kıyaslamalı olarak ortaya koymuşlardır. Genestar ve Pons (2003), Palma de Mallorca'nın duvarlarından aldıkları tarihi harç numuneleri üzerinde SEM/EDX ve XRD analizleri tatbik etmişlerdir. Bu analizler, numunelerin mineralojik bileşenleri ve morfolojisi hakkında yararlı bilgiler ortaya çıkarmaktadır. XRD analiziyle harç bileşenlerinin kristalize yapısını

belirlemişler, kalsit mineralini ana bileşen olarak gözlemlemişlerdir. SEM/EDX analizi piklerinde bitkisel karbonun varlığına da rastlamışlardır. Bu çalışma sonucunda farklı kültürlerin kullandıkları teknikler ve malzemelerin özellikleri ile tarihi yerlerin kültürel olarak değerlendirilmesi ve kronolojik ilişkilerin kurulabilmesi sağlanmıştır.

Yapılan bir çalışmada, puzolanik tarihi harçların restorasyonunda kullanılabilecek alternatif puzolanik maddeler araştırılmıştır. Doğal puzolan olarak Yunanistan Milos Adası toprağı, yapay puzolan olarak da tuğla tozu ve metakaolin kullanılmıştır. Analizler sonucunda metakaolin/kireç karışımı bağlayıcının diğerlerine göre yüksek reaktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Moropoulou vd 2004). Moropoulou vd (2005), bağlayıcı malzemelerin Roma çağından itibaren tarihsel gelişimlerini incelemişlerdir. Kireç harçları, hidrolik kireç harçları ve puzolanik kireç harçları olmak üzere harçları, üç ana sınıfta değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sırasında en çok kireç harçlarına rastlamışlardır. Hidrolik kireç harcı, marley kireç taşının düşük sıcaklıkta yakılması ile oluştuğunu ifade etmişlerdir. Puzolanik harçların, su ve neme karşı mukavemet istenen yerlerde kullanıldığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen verilerin, restorasyon sırasında uygun malzemenin seçimi için önemli olacağını da belirtmişlerdir.

Seferihisar-Urla'daki Osmanlı hamamlarının harçları üzerine yapılan bir çalışmada kireç harçlarının fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik özellikleri incelenerek karakterizasyon çalışması yapılmıştır (Çizer 2004). İspanya Navarra'da bulunan bir manastır yapısından alınan harçlar üzerinde yapılan bir çalışmada, harçların kimyasal, termal ve petrografik analizleri gerçekleştirilerek bağlayıcı ve agrega içerikleri belirlenmiştir (Montoya vd 2004). İstanbul Kara Surları harçları üzerine yapılan bir araştırmada harçların fiziksel, kimyasal, petrografik ve mekanik analizleri yapılarak karakteristik özellikleri belirlenmiş, onarım harçları için öneriler geliştirilmiştir (Güleç vd 2004). Bianchini vd (2004), Ferra'daki tarihi yapılardan aldıkları harç numunelerin kimyasal bileşenlerini belirlemek için XRF analizi uygulamışlardır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler, restorasyon harçların üretimi için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Elsen vd (2004), Belçika'daki Tournai katedralinden aldıkları harç örnekleri üzerinde kimyasal ve mineralojik analizler yapmışlardır.

Döneme ait harç örneklerinde kullanılan özgün malzemeler ve kaynakları hakkında bilgi sahibi olmaya çalışmışlardır. Harçların karakterizasyonunda, kimyasal ve mineralojik çalışmalar öncesinde optik mikroskop ve ince kesit çalışmalarının önemini vurgulamışlardır. Harçların hidrolik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır.

Bruno vd (2004), İtalya'nın Bari kentindeki bir tarihi yapıdan aldıkları harç örneklerinin kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklerini belirlemişlerdir. XRD, TG/DTA analiz tekniklerinden yararlanarak harç örneklerinin bağlayıcı ve agrega özelliklerini ortaya koymaya çalışmışlardır. XRD analizlerinden harçların, kalsit, kuvars, feldspar fazlarının yanında az miktarda kil mineralleri içerdiğini saptamışlardır. Freidin ve Meir (2004), İsrail'de Bizans dönemine ait bir kiliseden aldıkları harç örnekleri üzerinde XRD ve SEM analizleri tatbik etmişlerdir. Bu analizler harçların yapısı ve morfolojisi hakkında yararlı bilgiler vermiştir. Zemin ve duvardan aldıkları harç örneklerinde kalsit, kuvars ve dolomiti ana bileşen olarak tespit etmişlerdir. Duvarından alınan örneklerdeki kalsit miktarının, zeminden alınan örneklerdekine nazaran fazla olduğunu belirlemişlerdir. Kalsit miktarının fazla olmasının sebebini, hidratasyona ve kirecin sertleşme işlemine bağlamışlardır. Bianchini vd (2004), Ferra'daki tarihi yapılardan aldıkları harç numunelerin kimyasal bileşenlerini belirlemek için XRF analizi uygulamışlardır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler, restorasyon harçlarının üretimi için önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Horasan harcı ve sıvaları hidrolik özelliklerinden dolayı suya karşı dayanıklıdır. Hamam yapılarındaki sıvalar, su ile doğrudan veya yüksek nemin yoğunlaşması nedeni ile sürekli temas halindedir. Sıvanın yapısında bulunan kalkerleşmiş kireç (CaCO_3) gözenek suyunun içinde çözülme ve yeniden çökelmektedir. Bu süreçte sıva tabakası bozulmaya uğrayarak tabakalara ayrılmış olmasına karşın, çöken kalsiyum karbonat sayesinde kopmamaktadır. Bu durum sıvaların iç kısmında da gözlenmektedir. Yer yer çözünen kalsiyum karbonat, harç içindeki tuğlaların gözeneklerinde yeniden çökeliş sıvanın dağılmasını önleyerek onları dayanıklı hale getirmektedir. Bu gözlemler horasan harcı ve sıvalarının ıslak mekânlar için kullanılabilecek en uygun malzemeler olduğunu göstermektedir (Böke vd 2004). Sanchez-Moral vd (2005), İspanya'daki Roma mezarlarının restorasyonu konusunda yaptıkları çalışmada, volkanik tüflere oyulmuş

olan mezarların sıva onarımlarında, kireç-puzolan karışımı bir onarım sıvasının yapı bünyesiyle oldukça uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Moropoulou vd (2005), hamam, sarnıç, su kemeri gibi tarihi yapılarda kullanılan harçlar üzerinde yaptıkları çalışmada, bağlayıcı çeşitleri, doğal ve yapay puzolan kullanımının harçların performanslarına, hidrolik özelliklerine ve durabilitelerine olan etkilerini ve organik katkı maddelerinin harçlara kazandırdığı özellikleri araştırmışlardır.

Efes Yamaçevleri'nde bulunan Roma Dönemi yapılarından alınan harç örneklerinin araştırıldığı bir tez çalışmasında örneklerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizleri yapılarak karakterizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir (Kuleli 2005). İzmir'de 14. yüzyılda inşa edilmiş bir hamam ve bir mescitin harçlarının fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik özelliklerinin tespit edildiği bir çalışmada, bu yapıların onarımlarında kullanılabilecek harç önerileri için ısıtma işlem görmüş ve görmemiş kil, puzolanik malzeme olarak kullanılarak standart kum ile kireç harcı önerileri hazırlanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır (Budak 2005). İtalya Pavia'da bulunan tarihi bir yapıdan alınan duvar örgü harcı ve sıva harçlarının analizlerinin gerçekleştirildiği bir çalışmada, termal ve kimyasal analizler kullanılarak harçların malzeme içerikleri belirlenmiştir (Tomasi vd 2006). Tarihi yapılarda kullanılabilecek harç alternatifleri için iki farklı agrega (kum ve tuğla kırığı) ve kirece katılan farklı puzolanik malzemeler (tuğla tozu, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu) ile hazırlanan harç karışımlarının fiziksel ve mekanik analizleri gerçekleştirilmiştir (Akbulut-Ekşi 2006).

Kireç harçlarına katılan puzolanik malzemelerin, harcın mekanik özelliklerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, kireç harcının içerisine kuvarslı kumlar, metakaolin, öğütülmüş tuğla ve öğütülmüş cam tozu katılarak yeni harçlar üretilmiştir. Bu harçlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucu kireç harcına katılan puzolanik malzemelerin mekanik dayanımlarını arttırdığı tespit edilmiştir (Cerny vd 2006). Papayianni ve Stefanidou (2006), kireç ve puzolan kullanarak onarım harcı üretiminde dayanım ve porozite arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Çalışmada bağlayıcı/agrega oranı, 1/2 ve 1/3 olan onarım harcı üretiminde porozitenin dayanımı büyük oranda etkilediği, su miktarının ayarlanmasının öneminin büyük olduğu, mümkün olduğu kadar

az su kullanılarak üretilen, dolayısıyla düşük poroziteye sahip olan harçlarının dayanımlarının yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Böke vd (2006) çalışmalarında, bazı Osmanlı yapılarından aldıkları harç ve sıva örneklerini, hammadde özelliklerini, temel fiziksel, mineralojik, mikro yapısal ve hidrolik özelliklerini belirlemek amacıyla XRD, SEM/EDS, TGA tekniklerini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında harç üretiminde agrega olarak kullanılan öğütülmüş tuğla parçacıklarının harçların hidrolik özellikleri üzerindeki etkileri üzerinde durmuşlar ve bu tür malzemelerin kireç harçlarının hidrolik özelliğini artırdığını ortaya koymuşlardır. Bultrini vd (2006) yaptıkları çalışmada tarihi yapılardan aldıkları harç örneklerinin mineralojik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Lawrence vd (2006), hidrolik olmayan kireç harçlarda karbondioksitin karbonatlaşmaya olan etkilerini ve kireç harçlarındaki karbonatlaşma hızını, termik analizler yardımıyla belirlemişlerdir. Papayianni ve Stefanidou (2007), Yunanistan'da Olynthos antik kenti harçları ve taşlarını araştırdıkları çalışmada, tarihi yapıdan alınan örneklerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizlerini yaparak, bağlayıcı, agrega içeriklerini belirlemişlerdir. Zamba vd (2007) çalışmalarında, Yunanistan'da Roma dönemine ait bir yapıdan aldıkları harç örneklerinin karakterizasyonunu yapmışlar, SEM/EDX ve XRD analizleri kullanarak harçların malzeme içeriklerini belirlemişlerdir. Harç örneklerinin kimyasal kompozisyonlarının kalsit, kuvars ve düşük oranda kil minerallerinden oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Velosa vd (2007) Portekiz'de Conimbriga antik kenti harçları üzerinde yaptıkları çalışmada, harçların fiziksel, kimyasal, petrografik ve mekanik analizlerini yaparak, bağlayıcı, agrega içeriklerini belirlemişlerdir. Roma dönemine ait harç örnekleri üzerinde XRD, XRF, TG/DTA analizleri ve ince kesit çalışmaları yaparak elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda harç örneklerinin mineralojik ve kimyasal özelliklerini ortaya koymuşlardır. Pavia ve Caro (2007) çalışmalarında Roma dönemine ait harçlar üzerinde petrografik analizler yaparak harçlarda bağlayıcı, agrega özelliklerini ortaya koymaya çalışmışlardır.

Osmanlı hamamlarında kullanılan harçların hidrolikliği üzerine yapılan bir araştırmada, taş ve tuğladan inşa edilen yapılardan alınan harç örneklerinin XRD, SEM/EDS ve TGA analizleri yapılarak hidroliklik özellikleri tespit edilmiştir (Böke vd 2008). Sicilya'da bulunan San Filippo di Fragala manastırı üzerine gerçekleştirilen bir

çalışmada, TG/DTA, XRD ve ince kesit analizleri yapılarak harçların malzeme içerikleri belirlenmiştir (Cardiano vd 2008). Rizzo vd (2008), Sicilya'da Roma dönemine ait sarnıç, su kanalı gibi bazı su yapılarında kullanılan tarihi harçların bağlayıcı, agrega içeriklerini tespit etmişlerdir. Duran vd (2008), İspanya Sevilla kentinde bulunan üç adet tarihi yapıda duvar resimleri ile kaplanmış olan sıvaların ve duvar örgü harçlarının fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizlerini yaparak bağlayıcı, agrega içeriklerini belirlemişlerdir. Adriano vd (2009), Portekiz'de bulunan Santa Maria Kilisesi harçları üzerine yaptıkları çalışmada, SEM/EDX, XRD, TG/DTA ve ince kesit analizleri kullanılarak duvar örgü harçları ve sıva harçlarının malzeme içeriklerini belirlemişlerdir.

Gleize vd (2009), Brezilya'da Santa Catarina bölgesinde Roma dönemi ve Ortaçağ'a tarihlenen dokuz adet yapıdan aldıkları harçlar üzerinde çalışmışlardır. Alınan harç örneklerinin kimyasal, XRD, TG analizlerini yaparak harçların bileşim oranları, içeriklerini tespit etmişlerdir. Onarımlarında kullanılacak harçlar için genel ilkeleri belirlemişlerdir.

Veiga vd (2009), Portekiz'de bulunan ve taştan inşa edilmiş olan tarihi kalenin, çevre şartlarının olumsuz etkilerinden korunabilmesi amacıyla sıvalarının yenilenmesi için çalışmalar yapmışlardır. Hava kireci-hidrolik kireç, hava kireci-beyaz çimento, hava kireci-Cabo Verde puzolanı, hava kireci-silis dumanı, hava kireci-metakaolin olmak üzere beş farklı bağlayıcılı sıva harcı karışımı üretmişlerdir. Bu sıvaların özelliklerini karşılaştırmışlar, buna göre gerek mekanik dayanım, gerekse estetik görünüm açısından hava kireci-Cabo Verde puzolanı karışımının en iyi sonucu verdiğini tespit etmişlerdir.

Labiadh vd (2009), Tunus'da bir kale ve su kemerinden aldıkları harç örneklerinin suya dayanım özelliklerini araştırmışlardır. Tarihi harçların kimyasal, fiziksel, mekanik ve petrografik özelliklerini belirleyerek puzolan içeriklerini tespit etmişlerdir.

Bergama Serapis Tapınağı harçları ve tuğlalarının araştırıldığı bir çalışmada yapıdan alınan örneklerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik analizleri yapılmıştır (Böke ve Özkaya-Aslan 2009).

Hamamlarda kullanılan tuğla-kireç harçlarının sıcak ve nemli ortamlara dayanımlarının araştırıldığı bir çalışmada, XRD, SEM/EDX, fiziksel ve petrografik analizler yardımıyla harçların hidroliklik özellikleri saptanmıştır (Böke ve Uğurlu 2009). Arıkan (2009), Antalya Patara Hurmalık Hamamında harçlar üzerinde yaptığı çalışmada, XRF analizleri ile elde edilen oksit yüzdeleri kullanılarak hesaplanan hidroliklik ve çimentolaşma indekslerine bakıldığında, agrega olarak öğütülmüş seramik kullanılan harçların kum kullanılanlara oranla yüksek olduğunu, bu durumunda seramik agregaların puzolanik özelliğinden kaynaklandığını düşünmektedir.

Kozlu (2010), Kayseri yöresindeki tarihi harçların karakterizasyonu ve onarım harçlarının özelliklerini belirlediği çalışmasında, mekanik analizler sonucunda özgün malzemelerin basınç dayanımlarının 3.0-7.3 MPa arasında değiştiğini, onarım harçlarının açık havada kurutulmuş 3 aylık eğilme dayanımlarının 0.58-1.11 MPa, basınç dayanımlarında 3.02-5.07 MPa arasında olduğunu belirtmiştir.

Kahraman-Altaş vd (2012), İstanbul'daki Roma dönemi saray yapılarında kullanılan Horasan harçları üzerinde fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik özelliklerini belirleyen çalışma yapmışlardır. Mekanik özelliklerinden basınç dayanımlarının 6-8 MPa aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir.

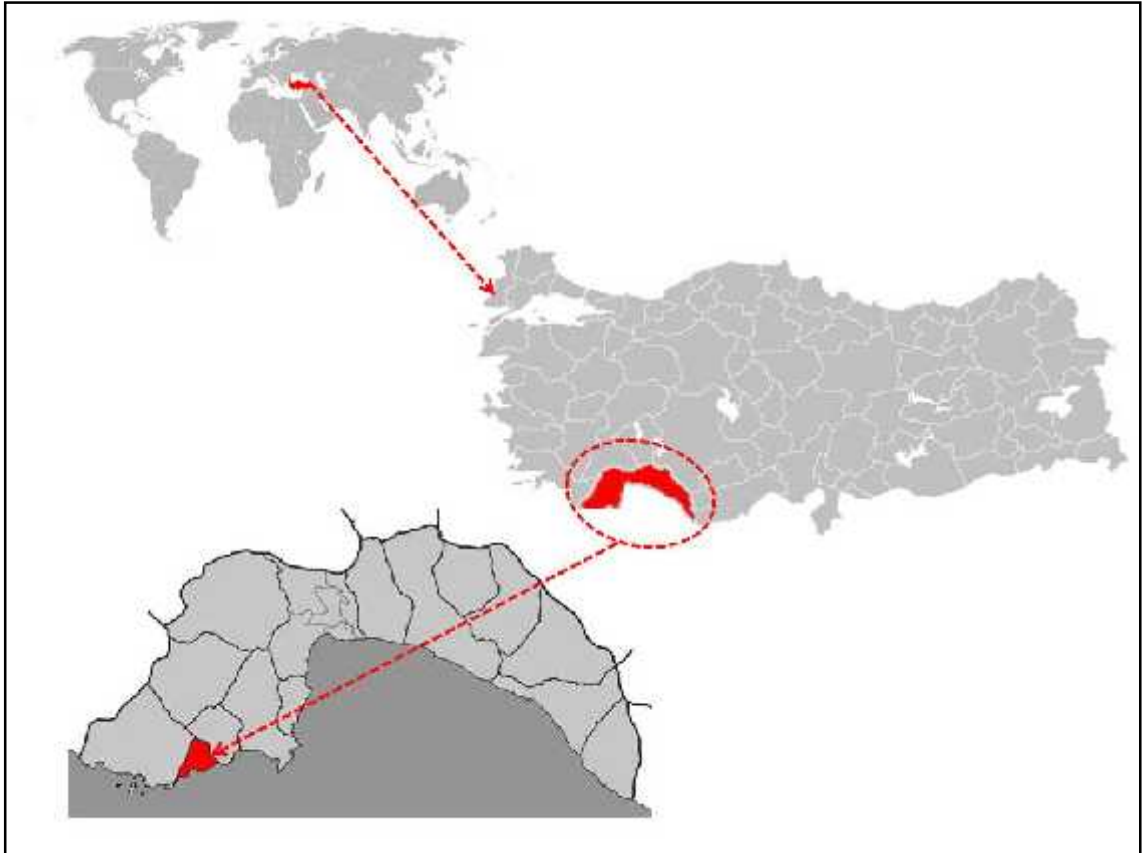
3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada, Antalya ili Demre ilçesi sınırları içerisinde bulunan Myra ve limanı Andriake'deki tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, doğal taşların özgün malzeme özellikleri incelenmiştir. Bu bölümde Myra ve limanı Andriake'de numune alınan sekiz tarihi yapının tanıtımı ve bölgenin tarihçesi hakkında bilgi verilecektir.

3.1.1. Bölgenin ve İncelenen Yapıların Tanıtımı

Myra ve 4.7 km güneybatısında yer alan Andriake liman yerleşimi, Antalya körfezinin batısında Teke yarımadasının güneyinde yeralan, Antalya il merkezine 140 km uzaklıkta Demre ilçesi sınırlarındadır (Şekil 3.1). Demre, doğusunda Finike İlçesi, batısında Kaş İlçesi, güneyinde ise Akdeniz ile sınırdır. Şekil 3.2'de çalışma alanının uydu görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanının yer bildirim haritası



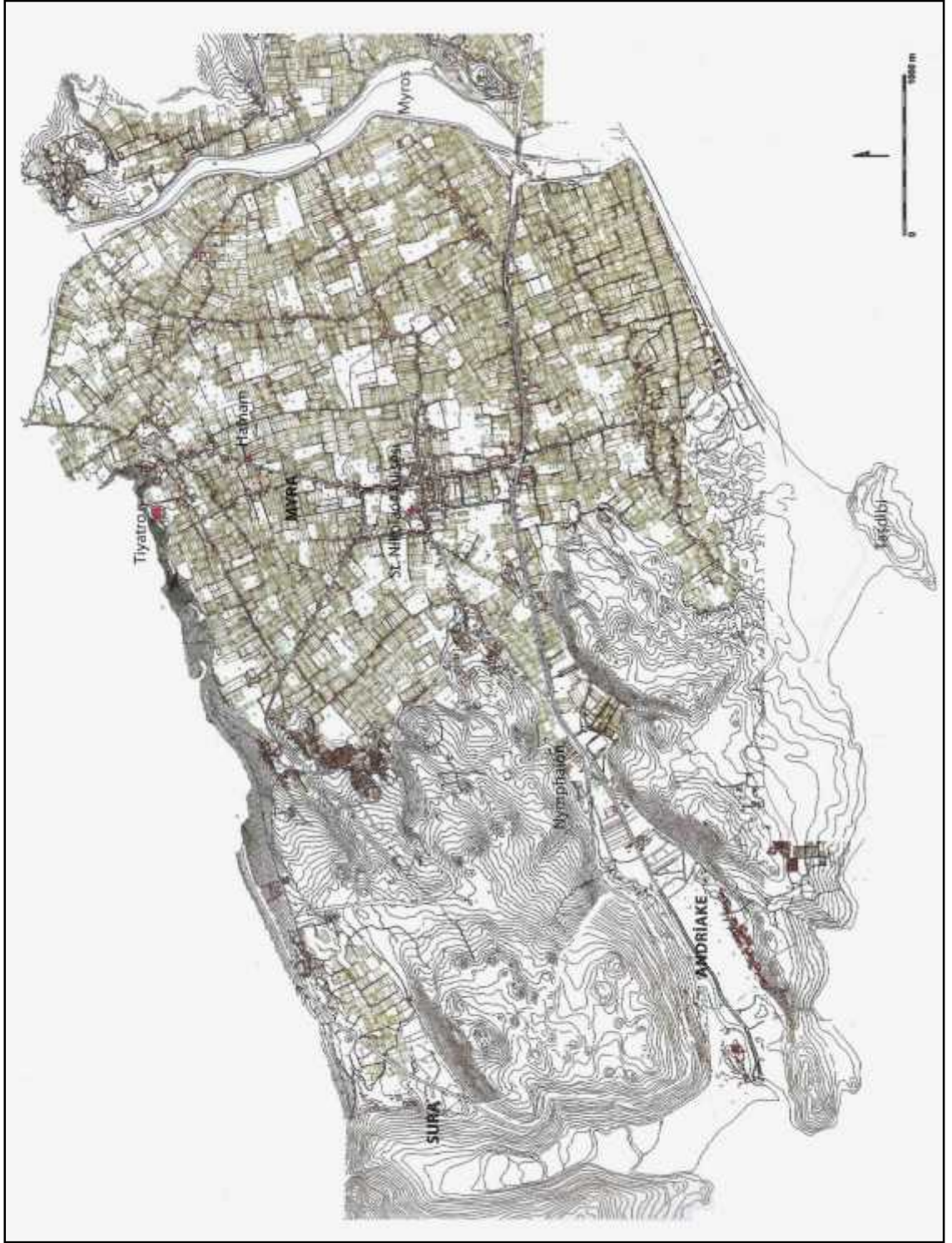
Şekil 3.2. Çalışma alanının uydu görüntüsü. (Google Earth)

Myra, Antalya'nın Demre ilçesinde, deniz ve kara yollarının buluştuğu Orta Likya'da, her dönemde Likya sanat ve kültürünü nitelikle temsil eden parlak bir metropoldür. Antik Çağ' dan bugüne 1.5 m çöken bölgenin antik kentlerinin sahil yapılarını altına alan Kekova suları zengin ekosistemler denizidir. Kaya mezarlarının benzersiz görkemi Klasik Dönem'de Likya'nın en önemli birkaç yerleşiminden biri olduğunu göstermektedir. Myra kenti, Likya'nın baştanrısı Apollon Syrios'un kehanet tapınağı ve kaynaklarda "Likya'nın en güzel tapınağı" olarak geçen Artemis Tapınağı ile Likya'nın tanrı ailesine ev sahipliği yapar. 11.500 kişi kapasiteli, bölgenin en büyük ve en nitelikli tiyatrosu, alüvyon altında gömülü kentin Roma Dönemi'nde bölgenin en büyük merkezi olduğunu göstermektedir.

Bölgenin en önemli limanı Andriake ve mükemmel sığınma olanakları sunan doğal limanı taçlandıran görkemli liman yapıları ile Antik Dönemlerde uluslararası bir ticaret merkezi ve uğrak yeridir. Andriake kazılarında ele geçen bulguların çeşitliliği

tam bir uluslararası kozmopolit yerleşim karakteri yansıtmaktadır. Aziz Nikolaos nedeniyle Hristiyanlık hac merkezi ve İmparator Constantinus Porphyrogenitus'un tanımıyla, "Tanrının hizmetkarı kudretli Nikolaos'un üç kez kutsanmış ve mür soluyan şehri"dir. Bugün de yıllık 500.000 turist sayısı ile bölgede rakipsiz bir kültür ve doğa turizmi merkezidir. Seracılık ve narenciye üretimiyle de tarımda önemli bir yer edinmiştir.

Myros (Demre) Çayı'nın etkileyici dev kanyondan taşıdığı 8 m yüksekliğe varan alüvyon dolgu altındaki saklı ve korunmuş haliyle de, Likya kültür ve tarihinin karanlıkta kalmış pek çok noktasını aydınlatma konusunda bilime çok şey katmaya aday olan bir tür "Pompeii"dir. Demre'nin farklı yerlerinde açılmış olan sulama kuyuları ve kanallarında, 4-5 m derinlikte ele geçen kalıntılar, bu "antik bilgi rezervi"nin zenginliğinden izler vermektedir. Klasik Dönem'den Osmanlı'ya kadar her dönemde sığınılmış kalesi, çok özel örnekleriyle kaya mezarları, tiyatro, hamam, nymphaion gibi yüzeyde görünen anıtsal kalıntılarıyla Myra, Likya denilince akla gelenleri en nitelikli örneklerle anlatır (Şekil 3.3) (Çevik ve Bulut 2010). Bölgenin tarihine bakılırsa; Myra kent adının Helen öncesi yer adlandırmaları içerisinde her hangi bir karşılığı henüz belgelenmemiştir. Ksanthos yazıtında anılan 'muri' sözcüğünün Myra yer adıyla aynı olma olasılığı söz konusudur. Smyrna adının Myrrh ile ilişkisi, aynı ilişkinin Myra adı için de geçerli olabileceğini de düşündürmektedir. Olasılıkla Myra'ya ve sonra da Demre'ye dönüşmüş olabilecek "Myrrh ya da Muri" yer adı ünlü Myra yağının üretildiği mersin bitkisinden (*Commiphora myrrha*) gelmektedir. Myra'nın Likçe adının da Myrrh'in de kaynağı olan "Muri" gibi bir kelime olması beklenmelidir. Yanıltıcı olmakla birlikte diğer bir isim kaynağı mür'dür (*Murex brandaris*=impérial purple). Andriake'de Antik Dönem boyunca üretildiğini ve satıldığını bildiğimiz kırmızı-mor renk maddesi de kentin adını çağrıştırır. Myra'daki yoğun varlığı, önemi ve cazibesi nedeniyle Myra'nın adı Murex'ten de gelseydi normal olurdu (Çevik 2010).



Şekil 3.3. Myra ve Andriake haritası (Çevik ve Bulut 2010).

Myra tarihi, Bronz Çağı'ndan itibaren izlenebilen Lukka-Likya tarihine paralel gider. Myra tarihinin önemli anlarından bazıları şunlardır: İ.Ö. 3. bin içlerindeki Bronz Çağı yerleşimcilerinin varlığı; Gelidonya ve Uluburun batıkları ile Doğu Likya'da bulduğumuz verilerin doğruladığı, hem karada hem de denizdeki yaşamsal varlık; sahil yerleşimleri açısından Demir Çağı'nda şimdilik bir alacakaranlık; İ.Ö. 546'da Harpagos'la gelen Pers egemenliği; İ.Ö. 333'de Büyük İskender'in gelişiyle değişerek hızlanan kentleşme; İ.Ö. 197'de III. Antiokhos'un, Andriakos Çayı ağzındaki limandan girerek Myra'yı alması; İ.Ö. 168'de kurulan Likya Birliği'nde, Merkezî Likya temsilcisi olarak 3 oy hakkı ve ayrıcalığıyla bulunması; İ.Ö. 42'de Brutus'un, komutanı Lentulus Spinther'i para toplamak için Myra'ya göndermesi ve Spinther'in Andriake liman girişindeki zincirleri kırıp kenti işgal etmesi; İ.S. 18'de Germanicus ve karısı Agrippa'nın Myra ziyareti ve Andriake'ye heykellerinin dikilmesi; İ.S. 60 yılının Ekim ayında Aziz Paulus'un Kudüs'te yarattığı huzursuzluğun hesabını vermek üzere Roma'ya giderken Andriake limanına ve ana kent Myra'ya uğraması; Nero Dönemi'nde gümrük yapılanması ve bunun belgesi olarak limana dikilen ünlü yazıt; Traianus'un uluslararası bir liman yapımı için kararı; İ.S. 129'da Hadrianus adına Andriake liman yapılarının inşa edilmesi; İ.S. 142 depremi; İ.S. 2. yüzyıl'da "metropolis" unvanı alması; II. Theodosius (İ.S. 408-450) Dönemi'nde "Likya'nın başkenti" ilan edilmesi; bu tarihten itibaren bölgenin metropolisi olması, metropolitin makamı ve rezidansının Myra'da olması; Antik Dönem dinlerini yansıtan mimarlık ve heykeltıraşlık eserlerinin Hristiyanlar tarafından tahribi; İ.S. 529 depremi; İ.S. 789'da Arap donanmasının Myra'ya saldırması; İ.S. 809'da Harun Reşid'in Myra'ya saldırması; İ.S. 1034'te Afrikalı Ziridlerin işgali; İ.S. 1147 yılında Türklerin Myra'ya gelişi; son başpiskopos Eustathios'un İ.S. 1174 yılında atandığı halde görevine başlayamaması; 17. yüzyıl'da dinsel idarenin Myra'dan Meis Adası'na geçmesi; Osmanlı idaresi; 1923 Türkiye Cumhuriyeti Dönemi yaşanmıştır. Akropol eteğinde küçük bir köy olarak kurulan Demre bugün 18.000 nüfuslu bir ilçe haline gelmiştir. 2009 yılında arkeolojik kazılara başlanmıştır (Çevik 2010).

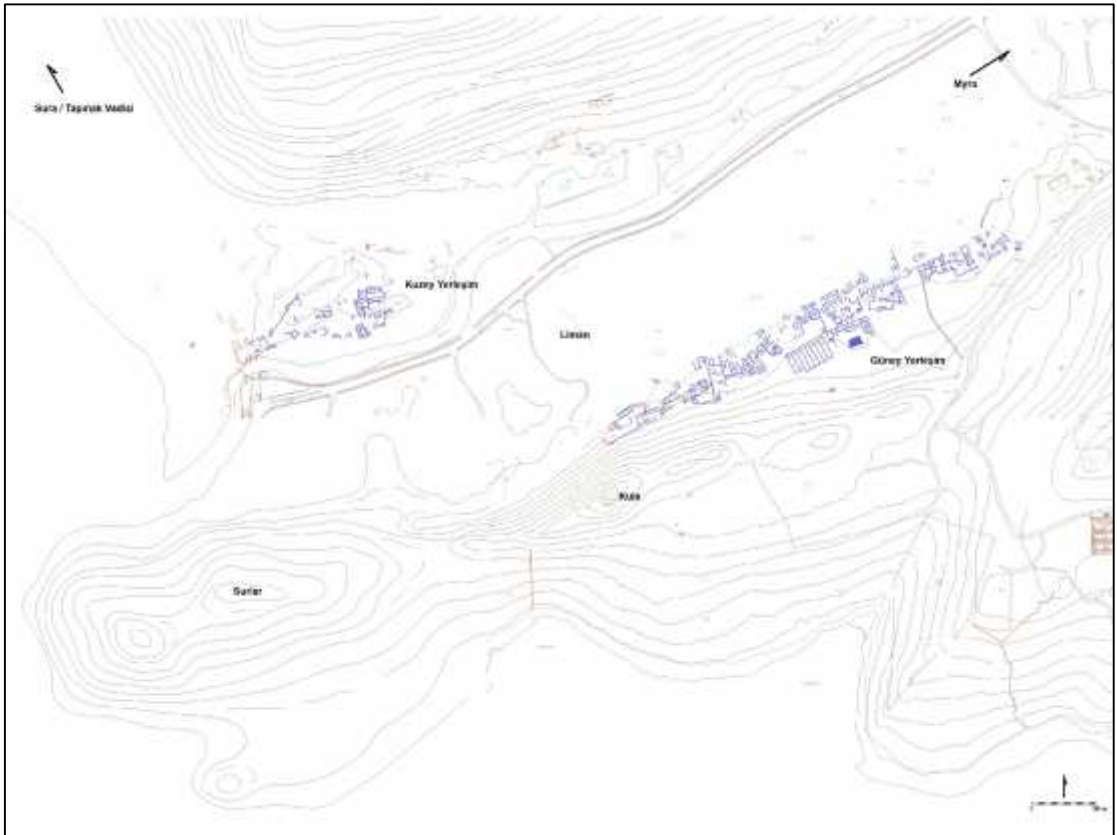
Kalıntılar Myra akropolünde Klasik Dönem'den itibaren Osmanlı'ya kadar her dönemde savunma yapısının (kale) bulunduğunu göstermektedir. Hellenistik Dönem ve sonrasındaki sur duvarı onarımları ve revizyonları kalenin yüzyıllar boyu aktif olarak

kullanılmış olduğunu göstermektedir. Myra’da ticaretin gelişmesiyle ve bunun kente yansmasıyla birlikte akropol eteklerinden başlayan ve denize doğru yayılan bir genişleme söz konusudur. Myra’nın extraurban savunma sistem ve yapılarının tamamı Hellenistik Dönem’e tarihlenmektedir. Myra’nın deniz tarafında asal savunma noktası Andriake limanıdır. Andriake güney kentte tepe sırtı boyunca 200 m kadar uzanan sur duvarları ve kulelerinde duvar işçiliği izodomdur. Bizans Dönemi’ne gelindiğinde birçok yerleşimde olduğu gibi, Myra akropolünün de tekrar surlarla çevrilmiş olduğu görülmektedir. Nedeni Bizans Dönemi’nde korsanlar ve Arap akınları gibi büyük tehlikelerin varlığıdır. Osmanlı Dönemi’nde de yeniden revize edilerek kullanılmıştır. Bu dönemlerdeki savunma düzenlemeleri seramik ve diğer bulgularla da desteklenmektedir. Andriake savunma sisteminin varlık nedeni Hellenistik ve Roma dönemlerinde çok gelişen liman ticareti ve organizasyonunu koruma amaçlıdır. Çünkü varlık arttıkça, korsanlık ve diğer tehlikeler de buna paralel olarak artmaktadır (Çevik 2010).

Andriake yerleşimi Antalya’nın Demre ilçesinde Myra antik kentinin 4.7 km güneybatısında yer alır. Myra’nın liman yerleşimidir (Şekil 3.4, Şekil 3.5). Plinius yerleşimden “Andria civitas” yani bir kent olarak bahseder. Liman, güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda uzanan Kumdağ Tepe ile Bozdağ Tepe arasındadır. Andriake şansını korunaklı, denizden saklı, muhteşem doğal deniz girintisinden alır. Yaklaşık 10.000 yıl önce bir ada iken, 5000 yıl önceden itibaren karasal bağlantısıyla birlikte derin bir koy oluşmuştur. Andriakos ağzındaki bu koy, özellikle Roma Dönemi’nde ünlenen Andriake limanına dönüşmüştür. Sonradan nehrin taşıdığı alüvyonlarla bir iç göle dönüşüp kapanmıştır. En az 2000 yıllık bir liman kullanımının söz konusu olduğu anlaşılmaktadır. Myra’nın liman mahallesi Andriake, Akdeniz seferlerinin Likya ile bulunduğu ve Likya’nın dünyaya açıldığı bu nokta Akdeniz limanlar zincirinin önemli bir halkasıdır. Antiokheia-Roma hattı yanında İstanbul-Kıbrıs-Mısır hattının da önemli bir uğrağıdır. Akdeniz sahillerinin olasılıkla en yüksek kapasiteli uluslararası ticaret limanıdır (Çevik 2010).



Şekil 3.4. Andriake hava fotoğrafı doğudan 2009 (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.5. Andriake yerleşim planı (Çizim: Çakır Afşin Aygün)

Andriake ayrı ve bağımsız bir yerleşim değildir. Myra'nın liman mahallesidir. Antik kentlerde alışılan tiyatro, toplantı salonu gibi kamusal yapıları içermez ve bu nedenle normal bir antik yerleşim urbanistiği göstermez. Andriake'nin arkeolojiye ve Likya bilimine katkısı çok özeldir. Andriake, Roma Dönemi'nde ve öncesinde sadece limanlarda bulunan depolar, ticari alanlar ve ticari yapılardan oluşan dokusuyla ve bu dokunun nicelik ve nitelikte bölgenin en iyisi olmasıyla özel bir örnek sunmaktadır. Bizans Dönemi'nde ise liman fonksiyonlu kullanımın devam etmesi yanında sayısı artan konutlarla ve bu yoğunlaşmaya bağlı olarak yapılan altı kiliseyle küçük bir yerleşime dönüşmüştür. Liman yapıları dışındaki oluşum altı kiliseden ve bir sinagogdan görölse de, Andriake hiçbir zaman piskoposluk listelerinde anılmamıştır. Myra metropolisinin bir mahallesi olmaya devam etmektedir. Andriake'nin tarihi, tam bağılılığı nedeniyle Myra ile paralel ve ortak gelişmiştir. Dolayısıyla en geç Klasik Dönem'den itibaren Myra'nın varlığına bağılı olarak Andriake limanının işlediğı düşünölür. İ.Ö. 200 yıllarında Andriakos'un (Kokarçay) ağzında Andriake diye bir yerleşimin varlığı bilinmektedir. İ.Ö. 197'de Antiokheia (Antaya)'dan yola çıkan III. Antiokhos Ptolemaioslar'ın elinde bulunan yerleri alıp filosuyla Andriake'ye gelmiştir. III. Antiokhos daha önceden beri kullanılmakta olan bilinen bir limana gelmiş olmalıdır. Bu nedenle tarihi kaynaklarda ilk kez adının anıldığı İ.Ö. 2. yüzyıl'da limanın kurulmuş olduğı söylenemez. Klasik Dönem'in görkemli kenti Myra'nın Klasik Dönem'den itibaren bu limanı kullanıyor olması beklenir. Piri Reis'in Kitab-ı Bahriye'sinde adının geçmemesi 15. yüzyıl öncesinde limanın işlemez hale geldiğini düşündürmektedir. 1478'de Cem Sultan'ın gelişinden sonra kapanmış olduğı düşünölün Patara limanı ile aynı dönemlerde ömrünü tamamlamıştır (Çevik 2010). Andriake'nin tarihine bakılırsa;

Günümüzden 2000-3000 yıl kadar önce, Myros Çayı'nın getirdiğı alüvyonlar zamanla Myra Çayı Deltası'nı doldurarak yerleşime uygun bir ovaya dönüştürmüş; Kumdağ ve Taşdibi ise yarımada olmuştur. Bu tarihlerde alüvyonun, Çayağzı Kavşağı'nı da doldurmasıyla, doğal ve korunaklı bir iç liman oluşmuştur. Andriake yerleşiminin Myra'ya koşut olarak Klasik Dönem'de faal olduğunu söylemek olasıdır. İ.Ö. 333'te Büyük İskender'in Likya'yı fetihini, İ.Ö. 306'da Ptolemaios'ların egemenliğı takip eder. Tyros'lu Porphyrius, Ptolemaios egemenliğinde bulunan Limyra,

Patara, Ksanthos ve Andriake'nin İ.Ö. 197 yılında Seleukos kralı III. Antiokhos tarafından ele geçirildiğini aktarmaktadır. Appianos'ta, İ.Ö 42'de Brutus'un, komutanı Lentulus Spinther'i para ve asker toplamak için Myra'ya gönderdiği ve Spinther'in Andriake liman girişindeki zincirleri kırıp kenti işgal ettiği anılır.

Andriake'de İmparator Nero'nun onurlandırıldığına dair bir yazıt ele geçmiştir. Bu dönemde Andriake'ye dikilen Likya Birliği Gümrük Yasası'nı içeren yazıt, limanın ne denli önemli olduğunu gösterir. Yazıt, Nero Döneminde Likya Eyaleti valisi olan C. Licinius Mucianus zamanına İ.S. 60-63 yıllarına tarihlenir. Bu yıllar Aziz Paulus'un Likya'yı ziyaret ettiği dönemlerdir. Hadrianus Dönemi özellikle liman yerleşimi Andriake için imar faaliyetlerinin en yoğun yaşandığı bir dönem olmuştur. Bu dönemde Andriake'nin en önemli yapıları olan Granarium ve hemen doğu bitişiğindeki ticari agora/plakoma inşa edilmiştir. Kentin sahip olduğu korunaklı liman, özellikle imparatorluğun Mısır'dan ihraç ettiği tahılın güvenli bir şekilde taşınması ve korunmasında önemli bir rol oynamış olmalıdır. Akdeniz'de doğudan batıya uzanan deniz rotasında yer alan Andriake limanında ve Patara'da inşa ettirilen Horrea, imparatorluğun bu kentlere verdiği önemi gösterir. Söz konusu kentlerin sahip oldukları korunaklı limanlar, özellikle imparatorluğun Mısır'dan ihraç ettiği tahılın güvenli bir şekilde taşınması ve korunmasında önemli bir rol oynamış olmalıdır. Praxis de Stratelatis'te, Andriake ile ilgili de önemli bilgiler vardır. Plakoma olarak adlandırılan mevkiide askerlerle bölge sakinleri arasında hububat yüzünden çıkan bir tartışma yaşandığı belirtilmektedir. Burada anılan plakoma, Andriake'deki Granarium'un doğusunda yer alan agora olmalıdır. II. Theodosius Dönemi'nde (İ.S. 408-450) Likya'nın başkenti ilan edilmesiyle bu tarihten itibaren artık bölgenin metropolitliği Myra'dadır. Myra artık dini ve idari bir başkenttir. Dolayısıyla Andriake, bölge metropolünün limanı konumuna gelmiş ve önemi de buna paralel olarak daha da artmıştır. Liman sirkülasyonunun artması nedeniyle, bu dönemde Andriake'de yoğun bir imar faaliyetinin gerçekleştirilmiş olduğu düşünülebilir. Andriake'de bulunan 6 kiliseden beşi, İ.S. 5. yüzyıl'ın sonuna tarihlenmektedir. Kiliselerin aynı tarihte inşa edilmeleri, Myra'nın metropol olması ve İ.S. 5. yüzyıl'dan sonra artan hac yolculuğunda, Myra'daki azizlerin martyrionlarını ziyarette gelen kişilere hizmet etmeye yönelik inşa edilmişlikleriyle açıklanabilir (Çevik ve Bulut 2010).

I. Justinianus Dönemi'nde İ.S. 529 yılında meydana gelen ve tüm orta Likya'yı etkileyen büyük depremde, Myra ve Andriake de etkilenmiştir. Aziz Nikolaos kilisesinin birinci yapım dönemi de bu evreye tarihlenmektedir. Malalas'ın Khronografyası'nda bu depremde sonra Myra'nın I. Justinianus tarafından tekrar inşa edildiği anlatılır. 2010 yılında Agora ve Liman Yapıları'nda gerçekleştirilen kazılar, Andriake'de bulunan kiliselerden bazılarının İ.S. 529 depreminde yıkılmış olabileceklerini göstermiştir. Sionlu Nikolaos'un ölümünden sonra (İ.S. 527-565) kaleme alınan Vita Nikolai Sion, bölgenin dini ve sosyal yaşamına dair önemli bilgiler içermesinin yanı sıra Andriake'den de söz ediyor olması bakımından da önemlidir. Bu kaynağa göre Azizin, kutsal topraklara iki defa seyahat yaptığı ve İ.S. 6. yüzyıl'da Phoniks ve Tristomon'un yanında Andriake limanının da aktif olduğu anlaşılmaktadır. I. Basileos (İ.S. 867-886) Döneminde Konstantin Judaeus, Aziz Nikolaos'un mezarını ziyaret etmek için Myra'ya gelir. İ.S. 10. yüzyıl Likya ve tüm Akdeniz'de Bizans egemenliğinin hissedildiği bir dönemdir. İ.S. 10. ve 11. yüzyıllarda Azizin mezarını ziyaret etmek isteyen hacıların rahatlıkla Andriake limanına ulaştıkları düşünülür. Ancak, Andriake'de yapılan kazılarda, bu döneme işaret edecek herhangi bir arkeolojik veri elde edilememiştir. 2009 ve 2010 yılı kazılarında yaklaşık iki bin sikkeler ele geçmiş olup bunlar arasında tarihlenebilen en geç sikkeler II. Constans İ.S. 641-668 dönemine aittirler. Ayrıca, numizmatik veriler seramik buluntularıyla da örtüşmektedir. Bu nedenle Andriake Limanı'nın İ.S. 7. yüzyıl'ın sonu 8.yüzyıl'ın başlarından itibaren yoğun kullanımını kaybetmiş olması söz konusudur (Çevik ve Bulut 2010).

3.1.1.1. Andriake Granarium

Cephede yer alan ithaf yazıtı Granarium'un İmparator Hadrianus'un III. Konsüllüğünde (İ.S. 119-138) inşa edildiğini gösterir. İ.S.131 yılında ikinci Anadolu seyahatinde olasılıkla Patara'ya uğramış olması gereken Hadrianus, Andriake ve dolayısıyla Myra'yı da ziyaret etmiş olmalıdır. Bu varsayımdan hareketle ve Sabina büstünün saç stiliyle Granarium'un inşasının İ.S. 129 veya 130 yılında tamamlandığı söylenebilir.

Praxis de Stratelatis'te, Andriake ile ilgili de önemli bilgiler vardır. Plakoma olarak adlandırılan mevkiide askerlerle bölge sakinleri arasında hububat yüzünden çıkan

bir tartışma yaşandığı belirtilmektedir. Burada anılan Plakoma, Andriake'deki Granarium'un doğusunda yer alan agora olmalıdır. Patara ve Andriake'de inşa edilen granariumlar Roma'nın Doğu Akdeniz'de limanlara ve söz konusu kentlere verdiği önemin bir göstergesidir. Bu bağlamda Mısır'dan Roma'ya tahıl taşıyan yük gemileri kötü hava koşulları ve zorunluluk gerektiren durumlarda stratejik öneme sahip Patara ve Andriake limanlarına sığınabiliyorlardı. Limanlarda inşa edilen bu dev silolarla, tahıl geçici olarak buralarda korunabiliyordu. Ayrıca söz konusu limanların sahip olduğu donanım hububat gemilerinin lojistik hizmet alabilmesine de olanak sağlıyordu. Wörrle Patara ve Andriake'de Granarium'ların İmparator Hadrianus'un söz konusu kentleri ziyareti çerçevesindeki kişisel düzenlemeleriyle bağlantılı olarak inşa edilmiş olabileceklerini ve de sadece Mısır'dan yapılan tahıl ihracatının güvenliği için değil, ayrıca Likya yaylalarındaki hububatın depolanması için de kullanılmış olabileceklerini düşünür (Çevik ve Bulut 2010).



Şekil 3.6. Granarium hava fotoğrafı 2011 (Myra-Andriake kazı arşivi)

Akdeniz sahillerinde sadece iki benzeri bulunan Andriake Granarium'unun (Horrea Hadriani - İmparatorluk Silosu) arkeolojide çok özel bir yeri vardır. 8 bölümden oluşan çok iyi korunmuş yapı 64.24 x 38.65 m ölçülerindedir (Şekil 3.6). Batı

yönündeki iki oda diğerlerinden yaklaşık 6 m daha kısa tutulmuştur. G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 mekanlarının yaklaşık genişlikleri 7.10-7.20 m arasında, uzunlukları 32.70-32.85 m arasındadır. G7 mekanı 7.12x26.66 m plan ölçülerinde G8 mekanı ise 7.18x26.68 m plan ölçülerindedir. Duvar yükseklikleri zeminden saçak kotuna kadar yaklaşık 6.40 m'dir. Duvar kalınlıkları 70-90 cm arasında değişmektedir. İç duvarlar cephe duvarlarına nispeten daha incedir. Duvarlar dışta izodomik, içte ise polygonal bloklarla örülmüştür. Toplam 2.307 m² alana oturan Granarium'un kapalı bölümlerinin iç alanları toplamı 2.081 m²'dir. Her bölüme ön cepheden 2.32-2.41 m genişliğe 3.10-3.20 m yüksekliğe sahip kapılarla girilir. Her bölümün ayrı kapısı bulunduğu gibi, içerdense her bölüm birbirine birer kapıyla bağlanmaktadır. Mekanları ayıran duvarların ön cepheye yakın bölümlerinde açılan kapılar mekanları birbirine bağlar.

Kuzey cephenin doğu ve batısında kare planlı iki küçük mekan yer alır. Doğudaki oda 3.73x3.59 m, batıdaki ise 3.72x3.53 m ölçülerinde olup kemerli kapılara sahiptirler. Ön (kuzey) cephe boyunca uzanan ve üzerinde ithaf yazısını da içeren silmeli blok dizisi, aynı zamanda kapı lentosu olarak da kullanılmıştır. Bu blok dizisinde cephe boyunca değişen aralıklarla yerleştirilmiş konsollar vardır. Orta giriş kapısı üzerinde imparator Hadrianus ve karısı Sabina'nın büstleri işlidir. Uzunca yazıt ve girişteki İmparator Hadrianus ve karısı Sabina'nın büstleri yapının İmparator Hadrianus'un III. Konsüllük dönemine denk geldiğini belgeler (İ.S. 129). Cephedeki her kapının üstünde iki adet pencere bulunur. Doğu ve batı yöndeki ikinci odaların hizasına dek üçgen alınlık uzanır. Andriake'ye özgü denilebilecek bir yapı malzemesi olarak arkeolojide ilk kez burada murex harcı'ndan bahsetmek gereklidir. Kazısı 2009' da tamamlanan Granarium kuzeye doğru eğimli anakaya üzerine inşa edilmiştir. Mekanlar içinde anakayanın genellikle doğal haliyle bırakıldığı ve anakaya boşluklarının kireç harcı ve moloz taş ile doldurulduğu görülmüştür. Orijinal zemine ait izlere, doğudaki ilk odada rastlanmıştır. İn situ olarak ele geçen tuğla plakalar kireç harcı üzerine oturur. Geç dönem kullanımlarıyla büyük oranda tahrip olan zeminde İ.S. 6. yüzyılda faal olduğunu düşünülen murex işliklerinin artıklarıyla kireç harcının karıştırılması suretiyle elde edilen murex harcı kullanılmıştır.

Dördüncü kapının sol tarafında, Myra ve Arneai kentlerindeki ölçümlerin nasıl

yapılacağına ilişkin bir kararname bulunmaktadır. Buradaki yazıt Elavius Eutolmius Tatianus'un valiliğinde (İ.S. 388-392) yazdırılmıştır.

Anadolu'nun en büyük granarium'unun, daha küçük benzerlerini komşu kent Patara'da ve Kuzey Afrika'da Djemilla'da bulunmaktadır. Granarium'da sadece depolama işlevinin karşılandığı anlaşılmaktadır. Andriake'de tüm bu limansal fonksiyonlar ana kent Myra'nın 5 km güneybatısında aynı organizasyonda gerçekleştirilmiştir.

İ.S. 2. yüzyıl'la birlikte Roma'nın erzak temin politikası değişmiştir. Artık belli noktalarda büyük toplama merkezleri yapılmakta ve buralardan Roma'ya büyük gemilerle sevkiyat yapılmaktaydı. Bu biriktirip taşıma işlemi nedeniyle İmparatorluk horreum'u denilen bu dev silolar yapılmıştı. Hadrian Horreum'u yapılmadan önce Andriake limanında mutlaka liman yapıları ve depolarının varlığı beklenmelidir. Zaten yazılı belgeler bunu kanıtlamaktadır. Andriake liman caddesinde bulunmuş ve değerlendirilmiş olan 87 satırlık uzunca bir gümrük yazıtı, Likya limanlarındaki gümrük uygulamaları ve ticaret mallarına ilişkin bilgileri çarpıcı bir biçimde tümlenmektedir (Çevik ve Bulut 2010).

3.1.1.2. Andriake Plakoma

Limanın çevresinde, liman yerleşimine ilişkin pek çok yapı kalıntısı bulunmaktadır. Bunların en önemlisi görkemli liman agorası'dır. Ticaret limanının bu uluslararası alışveriş merkezi limana bakan ve ortadan açılan anıt kapısıyla girilmekte ve çevresini iki katlı mekanlar çevrelemekteydi. Limana bakan ön yüzü revaklı olan agora, Likya'nın bu en önemli limanında ticaret mekanları konusunda gelişmiş olanaklar sunmaktadır (Çevik 2010).



Şekil 3.7. Plakoma hava fotoğrafı 2011 (Myra-Andriake kazı arşivi)

Yapı, Andriake kentinin güney yerleşiminde, Granarium'un hemen doğusundaki alanda, güneydeki sırttan kuzeye doğru tesviye edilerek elde edilen düzlükte kuruludur (Şekil 3.7). Kazılar sonunda bugün görüldüğü kadarıyla yaklaşık 60 x 56 m'lik dörtgen bir alana oturmaktadır. Alanın ortasında bir sarnıç bulunmakta, bu sarnıcın dört tarafını kısmen korunmuş durumda mekanlar çevirmektedir. Meydana giriş kuzey taraftan limana bakan bir ana kapıdan sağlanmaktadır.

Agora'nın ortasında yerin altındaki sarnıcın ölçüleri 23.62 x 12.09 m'dir. Yüksekliği ise 7 m'den fazladır. Dikdörtgen planlı sarnıç, tamamı korunmuş olan iki sırada sekizden toplam 16 kemerle taşınmaktadır. Sarnıcın çörlenleri çoğunlukla güney kesimdedir. Çünkü yamaçlardan toplanan su bu yönde sarnıca dolabilmektedir. Bir oluk da kuzey yönden toplanan sular için bırakılmıştır. Büyük dikdörtgen taşlarla örtüldüğü için plakoma denilen sarnıç üst alanı agora'nın ortasında bir meydan merkezi oluşturmaktadır. Agora zemininden 40 cm yüksekte bir oturma alanı da sunmaktadır. Plakaların üzerindeki izlerden bu kaplama zemin üzerinde bazı anıtların bulunduğu anlaşılmaktadır. Sarnıcın orijinal girişi ise batı yandan inen ve bugün bir kısmı

korunmuş basamaklarla verilmiştir. Plakoma'nın güney ve batı yanlarında işlenmiş murex artıklarının yığınları görülmektedir. Hatırı sayılır bir renk maddesi üretimi-satışı olduğu, 300 m³'ü bulan bu yığınlardan rahatlıkla anlaşılmaktadır. Agora ile Granarium arasında İ.S. 6. yüzyıl'da yapılmış olan murex işliğinin artıklarının agora'ya yığılmış olması agora'nın İ.S. 6. yüzyıl'dan sonra önceki fonksiyonda kullanılmadığını göstermektedir. Ayrıca agora mimari malzemelerinin 6. yüzyıl kiliselerinde kullanılmış olması da bu işlev kaybını doğrulamaktadır. Agora'nın doğusunda ve kuzeyinde kalan, 200 m'den fazla uzayan büyük düzlük boş bırakılmışlığıyla dikkati çekmektedir. Liman yapılarının bunca sıkışık düzenine karşın Andriake'nin bu en uygun düzlüğündeki yapısızlığın nedeni buranın boş haliyle bir işlevi karşılamış olmasıdır. Granarium ve agora odaklı limanın karasal bağlantı yönünün doğu olması, bu taraftan gelmek zorunda olan kervanlara, konaklayabilmek ve yükleme-boşaltma işlerini görebilmek için böyle bir düzlüğün zorunlu olduğunu düşündürmektedir (Çevik 2010).

Plakoma'nın üzerine kurulu olduğu alan, kazılarda ve sarnıcın içinde gözlemlenen ana kaya yapısından anlaşıldığı kadarıyla inşa faaliyetlerinden önce güneyden kuzeye doğru alçalan bir eğime sahip, doğal kayalıklarla kaplı bir alandır. Sarnıç ve agora inşası sırasında bu kayalıklar tıraşlanmış, boşluklar ise doldurularak alan tesviye edilmiştir. Sarnıç kısmen ana kayaya oyulmuş, kayanın yeterli olmadığı kesimlerde ise kaba yontulmuş iri taşlarla örülen duvarlarla yapı tümlenmiştir. Meydanın ortasında yer alan sarnıcın içi, yıkıntılardan ölçülebildiği kadarıyla yaklaşık 23.6 x 12.1 m boyutlarında olup, kuzey kısmın orta kesimlerinde genişlik 11.8 m'ye kadar düşmektedir. Sarnıcın derinliği üst yüzeyden dibe kadar 6.28 m'dir. Sarnıcın üzerini kaplayan ve aynı zamanda agora meydanını oluşturan plakalar, antik kaynaklarda "Plakoma" olarak geçen yerin bu meydan olduğunun düşünülmesine neden olmuştur. Bunların yanı sıra kuzeydoğu köşeden sarnıcın içine inen bir merdiven bulunmaktadır. Plakoma dükkânları olarak adlandırdığımız mekanlar, ortasında bahsi geçen plaka kaplı sarnıç bulunan meydanın çevresinde yer almakta, dikdörtgen bir plan düzenlemesi ile meydanı çevirmektedir. Bugün yapının kuzey kanadı tamamen, batı kanadı 2. dükkâna kadar, doğu kanadı ise 6. dükkâna kadar görülebilmektedir. Güney kanatta yer alan dükkânların arka duvarları dışındaki tüm duvarların sökülmesi suretiyle agora, güneyde sanki bir çevre duvarı ile sınırlandırılmış gibi görünmektedir. Bu güney

dış duvarın arka (güney) tarafında, Granarium'un arkasında devamı gözlenen ve muhtemelen çatı suyunu agoradaki sarnıca taşıyan bir su kanalı bulunur. Yapının kuzey cephesi yaklaşık 59.4 m boyundadır, yıkılan ve kimi yerlerde kalıntılara ulaşılan güney cephe de yaklaşık bu kadar olmalıdır. Doğu ve batı cepheler, köşeleri henüz kazılmamış olsa da yapı düzeninden anlaşıldığı kadarıyla yaklaşık 53-56 m kadar olmalıdırlar. Dükkânlar 5.76-6.26x3.95-4.27 m ölçülerinde olup girişleri meydana bakmaktadır. Salt köşelerdeki dükkânların girişleri meydana bakmaz. Agora'da bulunan dükkânlar, yaklaşık aynı ölçülere sahip olup tümünde girişler meydana bakar ve kapılar ortalama 1 m genişliğindedir. Duvarları büyük oranda yıkık durumda günümüze ulaşan dükkânların dış duvarları ortalama 0.75 m, ara duvarları 0.65 m, meydana bakan cephe duvarları ise 0.70-0.75 m kalınlığı sahiptirler.

Murex ışıkleri, Plakoma'nın kuzey giriş kapısının doğusunda kalan dükkânların içindedir. Bu dükkânlardan kapının hemen doğusundaki üç tanesi, ara duvarları yıkılmak suretiyle birleştirilmiş, en doğudaki köşe oda ise olduğu gibi kullanılmıştır. Buradaki mekânlar içinde toplam beş adet ışık tespit edilmiştir, ışıklar güneye bakmaktadır. Seramik fırınlarıyla benzer bir forma sahiptir, ışıklar, dairesel forma sahiptir ve ortasında bir platform ile bunu çevreleyen kanallardan oluşur. Kanalların çapları 2.5 ile 2.9 m arasında olup korunan derinlikleri 50-90 cm arasındadır. Kanalların genişlikleri 8-22 cm arasındadır ve sıvandıklarına dair izler bulunmaktadır. Tamamen moloz taş kullanılarak örülmüş ışıklerde, kiliseye ve olasılıkla portikosa ait sütunlar ve mimari parçalar da kullanılmıştır. Dükkânların güney duvarı ve bu duvardaki kapı açıklıkları içine giydirilen kemerler fırın ağızına ait olmalıdır. Tuğla ve harç ile örülen kemerlerin içinde ateş yakıldığını kanıtlayan kül kalıntılarına rastlanmıştır. Bütün fırınların aralarında ve arkalarında küçük havuzcuklar ve kanallar da bulunmaktadır (Çevik ve Bulut 2010). İ.S. 6.yüzyıl'da faaliyet gösteren ışıklerin boya üretim atölyeleri oldukları düşünülmektedir. Tüm Antik Çağ boyunca değer verilen, kimi zaman statü sembolü, hatta İmparatorluk ailesine özel olmaya varacak kadar önem kazanan mor kumaş boyası, önemli bir ticari üründür. Bu boya özellikle Murex Trunculus, Murex Brandaris ve Hexaplex Trunculus türü kabuklu deniz yumuşakçalarından elde edilmektedir. Andriake'deki üretimde ağırlıklı olarak Hexaplex Trunculus türü kabuklu kullanılmıştır. Özüt, kumaşları kırmızı, eflatun ve mor tonlarında boyamak için

kullanılmaktadır. Bu renk varyasyonu hayvanın türüne, bölgeye ve üretimde geçirdiği işlemlere göre değişiklik göstermektedir. Binanın temel seviyesinde bulunan İ.S. 119-129 tarihli bir Hadrianus Dönemi sikkesi, Plakoma'nın tarihlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Sikke, Hadrianus'un İ.S. 129-130'da Andriake'ye ziyareti öncesinde gerçekleştirilen imar faaliyetleri çerçevesinde Granarium ile birlikte Ticari Agora'nın da inşa edildiği yönündeki görüşleri doğrulamaktadır (Çevik ve Bulut 2010).

3.1.1.3. Andriake Liman Yapıları

Limanın güney kıyısında yamaçla liman caddesi arasındaki az eğimli alan boyunca sahil şeridinin tamamında yapılar sıralanmaktadır. Özellikle granarium ve agora önünde yük indirip bindirmek için yanaşan gemilere hizmet etmiş olan liman/rıhtım caddesi kıyının doğal formu boyunca ilerlemektedir. Özellikle granarium ve liman agorası önünde nitelikleşen bazı alanlarda cadde içeriye doğru alansal bir girinti yapıp genişlemektedir. Meydanın güney tarafında limandan gelenleri karşılayan iki anıta ilişkin podyumların kalıntıları bulunmaktadır. Podyumlara ait pek çok mimari blok yerlere dökülmüştür. Liman boyunca olduğu gibi burada da yapı aralarında limanla granarium arasındaki yokuşu çıkan basamaklı sokaklar bulunmaktadır. Deniz koduyla karşılaştırmalı yaptığımız su düzeyi ölçümlerine göre liman caddesini su dışında görmemiz şimdilik olanaklı görünmemektedir. Ancak bir üst koddaki liman yapıları görülecek hale gelebilecektir.

2009 - 2010 yıllarında kazısı gerçekleştirilen dükkân ve depolar, Granarium'un kuzeydoğusunda yer alır. Batısında Anıt 1 ve Anıt 2, kuzeyinde ise liman caddesi bulunur. Andriake'nin, özellikle güney yerleşimin liman kıyısında yoğunlaşan yapıları, depo, dükkân, gemi barınakları veya tersaneye ait birimler olmalıdır (Şekil 3.8). Limanın en yoğun trafiğinin yaşandığı Granarium'un kuzey önündeki mekânlarda gerçekleştirilen kazıların amacı, söz konusu mekânların fonksiyonlarını belirleyebilmektir. Ortalama 20.8x15.5 m'lik bir alan kazılmış ve dükkan, üç depo ile bunların kuzey önündeki anıtsal giriş tamamen açığa çıkarılmıştır. Dört adet dükkân kuzeydoğu-güneybatı yönelimlidir. Cepheleri limana dönüktür. Dükkânlar eşit ölçülere sahip değildir; doğuya doğru ölçüleri artmaktadır. Ortalama 3.65x7.30 m ölçülerindedirler. (Çevik ve Bulut 2010).



Şekil 3.8. Liman yapıları hava fotoğrafı 2011 (Myra-Andriake kazı arşivi)

Kapı lentolarına dek korunmuş olan dükkânlar iki katlıdır. Kapı lentoları seviyesinde ele geçen kapı ve pencere söveleri, bu durumunu kanıtlar niteliktedir. Duvarlar moloztaş ve harç kullanılarak örülmüştür. Yer yer duvar boyunca uzanan tuğla hatıllar depreme yönelik olmalıdır. Doğu uçtaki dükkân içinde nişler ve mekan içine uzanan duvarda da tuğla kullanılmıştır. Kazılarda zemin seviyesinde çok sayıda sikke ele geçmiştir. Dükkân-1'den ele geçen İ.S. 284-305 yıllarına tarihlenen göre dükkânların en yoğun kullanım evresi İ.S. 4. ve 5.yüzyıl, son kullanım evresi ise İ.S. 6.yüzyıl'dır.

Dükkânların kuzey önünde 3.95 m genişliğindeki dar bir sokak bulunur. Düzenli bir şekilde dükkân cephelerinde ve anıtsal kapı ve ofis duvarlarından sokağa taşırılan payandalar, sokağın geç dönemde tuğla tonozla örtüldüğünü göstermektedir. Sokağın kuzey bitişiğinde dükkânlara paralel uzanan yapının merkezinde 9 ayakla vurgulanan anıtsal bir giriş yer alır. Anıtsal girişin üzerinin tonozla örtülü olduğu, lentolar üzerinde kalan duvar kalıntılarından anlaşılır. 13.2x5.30 m'lik bir alanı kapsayan Anıtsal Kapı'da, ortalama 3 m'lik iki geçenek bulunur. Bu kapılar sokak ile

rıhtım caddesi arasındaki trafiği sağlarken, doğu ve batı yöndeki ofislere geçiş için de olanak verilerler. Ofislerden doğudaki 2.90x3.40 m, batıdaki ise 2.60x3.60 m. ölçülerindedir. Zemini kireçtaşı plakalarla kaplıdır. Ofisler Granarium'dakilere benzer bir fonksiyona sahip olmalıdırlar.

Dükkânların batı bitişiğindeki dar sokaktan sonraki alanda yer alan iki adet anıt, kuzeye limana bakmaktadır. Doğudaki I nolu anıta ait podyumun kuzey yarısı temel seviyesine kadar sökülüştür. Anıta ait bloklar, geç dönemde kuzeyde yer alan yapıda örgü malzemesi olarak kullanılmıştır. Anıta ait bir adet yazıtlı blok ise doğusundaki dükkân içinde bulunmuştur. 3.60x3.50 m ölçülerindeki anıt, üç basamaklı bir podyum üzerine oturur. II nolu anıt 7.40x0.85 m ölçülerindedir. Kuzeye/limana bakan, üç basamaklı bir podyum üzerinde yükselen anıt, 3.85 m yüksekliğindedir. Son blok dizisini heykel altlıkları oluşturur (Çevik ve Bulut 2010).

3.1.1.4. Andriake Sinagog

Sinagog, 2009 kazı sezonu çalışmalarında büyük bir sürpriz bulgu olarak ortaya çıkmıştır. Yapı, Horrea Hadriani'nin batı köşesi önünde, limana (kuzeye) bakar biçimde konumlandırılmıştır. 3.90 m çapındaki apsisin bulunduğu ana odanın ölçüleri 7.25 x 5.08 m'dir. İki girişten biri kuzeyde, diğeri de batıdandır. Yapının batı bağlantısında bir oda daha bulunmaktadır (Şekil 3.9). Yapı ve mimari bezemeler sinagog kalıntılarının İ.S. 5. yüzyıl'dan olduğunu göstermektedir.

Bulgular, Hristiyanlığın merkezi olan Myra'da ve üstelik de en baskın olduğu 5.yüzyıl'da, Bizans Dönemi dinsel/sosyal yapılanmasında Yahudi cemaatinin yerini ve erken varlığını açıkça anlatmaktadır. Sinagog hem limandaki küçük Yahudi topluluğuna hem de özellikle limana ticaret için gelen Musevilerin kullanmasına yönelik bir liman sinagogudur. Yahudi varlığının bu dönemde Likya'nın en önemli uluslararası ticaret merkezi olan Myra'nın limanında (Andriake'de) keşfedilmiş olması tüccar karakterli Yahudi halkı için tesadüf de değildir. Asıl Yahudi topluluğunun da ana kent Myra'da yaşamış olması beklentiler arasındadır (Çevik 2010).



Şekil 3.9. Sinagog hava fotoğrafı 2011 (Myra-Andriake kazı arşivi)

3.1.1.5. Taşdibi

Mevcut arkeolojik, tarihsel, epigrafik ve topografik verilerden çıkartabildiği üzere, 6. yüzyıl ortalarından itibaren (529-530 depremi) Andriake limanının etkin kullanımında düşüş başladığı ve limanın önemini kaybetmeye başladığı anlaşılmaktadır. Limanın 7. yüzyıl ortalarından itibaren de (655 Emeviler ile Doğu Roma arasındaki Direkler Savaşı) kayda değer bir fonksiyon gösterdiğine dair de henüz buluntu ele geçmemiştir. Bu düşüşte en önemli üç etken unsurun ilki, 601-602 depremidir. 529-530 depreminin Myra ve Andriake’de yol açtığı büyük yıkımdan yalnızca 70 yıl sonra gelen ve Lykia sahil şeridinin 1.5 - 2 m çökmesine yol açan bu deprem limanın yok oluşunun başlangıcı gibi görünmektedir. İkincisi 542-748 arasında yaşanan büyük veba salgınıdır. Limanlar ve Andriake’deki anıtsal M.S. 2. yüzyıl Granarium gibi tahıl depolama tesisleri aracılığıyla bulaşıp yayılmış ve Andriake’de nüfusun %60 kadar azalmasına neden olmuş olmalıdır. Üçüncüsü ise, Doğu Roma denizciliğinin, ticaretinin, ekonomisinin ve hazinesinin Suriye’nin 613’te, Filistin’in 614’te ve Mısır’ın 619’da

Sasaniler’ce fethi, bu yerlerin geri alınmasının getirdiği mali yük ve bu zengin ve verimli yerlerin sırasıyla 636, 638 ve 642’de kalıcı olarak İslam karşısında kaybedilmesi dolayısıyla aldığı darbedir. Bu durum, sahil kesiminde Müslüman yağma saldırılarının önünü açmış ve sonuçta da Doğu Roma donanmasının 655 yılında komşu Finike Körfezi’nde, Direkler Savaşı -dhat al-Sawari’de İslam güçleri tarafından bozguna uğratılması ile sonuçlanmıştır (Duggan ve Aygün 2010).

Burada, 10.yüzyıl’da ticaret, seyahat ve hac tekrar başladığında Andriake limanının, 250 yıl boyunca terk edilmiş durumda liman tesisleri yıkıntı halinde ve limanın deniz girişi kum dağları tarafından kapatılmış bir halde kullanılamaz durumda olduğu ve bunun sonucunda Myra ve kalesinin güney yönünde yer alan Kum Burnu’nun doğu tarafındaki Taşdibi İskele limanının Myra’nın limanı durumuna geldiği ve, Kum Burnu yarımadasındaki sarnıç ile tepede bulunan seramik malzemeden hareketle, Taşdibi’nin Roma ve Erken Doğu Roma dönemlerinde de küçük bir liman olarak işlev görmüş olabileceği önerilmektedir (Duggan ve Aygün 2010). Hellenkemper ve Hild (2004), Latin hacıların 2 km kadar içeride yer alan St. Nikolas kompleksini ziyaret etmek için karaya çıktıkları yerin Taşdibi olduğunu belirtirler.

Saewulf, 1102-1103 yılında Kudüs’e olan hac seferinin anlatımında bu limanın Stamirra olarak adlandırıldığını belirtir. Gidiş yolculuğunda Myra kentine ziyaretinden bahseder ve dönüş yolunda "Stamirra ve St. Nikolas’ın Patras’ını (Patara) geçtikten sonra, Vaftizci Yahya’nın Şehitlik Gecesi’nden (29 Ağustos) hemen önce Rodos Adası’na ulaştık demektedir (Borchhardt 1975).

Taşdibi’nde Borchhardt tarafından, 1970’lerde görülen bugün sahildeki çakıl yığınlarının altında gömülü halde bulunan geç Osmanlı bina kalıntıları bulunmaktadır ve bu kalıntıların altında da Myra’nın olasılıkla 655 sonrasındaki limanı olması ve St. Nikolas kutsal alanına giden törensel yolun başlangıcı olması nedeniyle Ortaçağ yapılarının bulunması beklenir. Burasının Myra’nın Andriake sonrasındaki limanı olduğuna dair bir diğer veriyi ise yarımada karaya çıkış yerinin tam üzerindeki bir noktaya inşa edilmiş olan mânar (Selçuklu topraklarında silindir bir kule anlamına gelen Arapça bir kelime) sağlamaktadır. Dörtgen kaidesi, 6.70 x 6.70 metre boyutları

ve 5 metre yüksekliği ile bugün büyük oranda in situ korunmuş durumdadır. Güney duvarından dar oda benzeri bir yapı kalıntısı uzanmaktadır ve muhtemelen çağdaş bir sarnıç kaidenin hemen batısında bulunmaktadır. 2010 yılında bu alanda Selçuklu dekoratif yapı malzemeleri bulunmuştur. Kum Burnu'ndaki mânar hem görsel olarak bölgeyi İslâmî olarak tanımlayan bir işaret olarak, hem de bir rota işaretleme kulesi olarak Myra'ya çıkış yeri - limanını belirtir şekilde İskele yerinin tam üzerinde gövdesi, gündüz hem doğuya hem de batıya giden gemilerce kilometrelerce uzaktan görülebilir biçimde, hem de o dönemde seyrek olarak yapılan gece yolculukları için bir deniz feneri fonksiyonu görmesi için, 1225'ten sonra, Sultan I. Alaeddin Keykubat döneminde (1220-1236) inşa edilmiş olduğunu göstermektedir (Duggan ve Aygün 2010).

Aynı zamanda da deniz seviyesinden kulenin ve tepenin toplam yüksekliği ile yaklaşık 55 metre yüksekte bir gözlem noktası olarak da Myra'ya karşı denizden sürpriz saldırıları önlemekte de olmalıdır. Myra kalesi ile (garnizonu) limana yaklaşmakta olan gemiler ile ilgili işaretleşmenin yapılabildiği bir yerdi. Aynı zamanda muhtemelen de batıya doğru ara mânarlar aracılığıyla, sonraki dönemde mânar olarak yeniden kullanım gören Patara Roma Dönemi Pharos'u ile Meğri-Fethiye'deki manar ile ve olasılıkla Dalaman ve doğu yönüne doğru Taşlık - Gelidonya Burnu'ndaki mânar ve başka ara mânarlar aracılığı ile Antalya kentindeki 1225 tarihli Yivli Mübarek Mânar ile iletişim sağlanmaktaydı. Antalya'daki Yivli Mübarek Mânar ancak 1373'ten sonra yanı başında eskiden kilise olan yapının camiye dönüştürölmesi ile bir minare haline getirilmiştir. Taşdibi'ndeki mânarın da olasılıkla, duvar kalınlığı göz önünde bulundurulduğunda kaidenin üzerinde Antalya Yivli minareye benzeyen bir gövdeyle 20 metre kadar daha yükselip mukarnas üstünde bir platform ile tamamlanmış olabileceği önerilebilir. Gövdesinin de olasılıkla dönemin karakteristik stiline uygun olarak kırmızı-beyaz şevron motifleri ile ve/veya aralarda 2010 yılında küçük kalıntıları ele geçen turkuaz çiniler ile dekore edilmiş olması beklenebilir (Duggan ve Aygün 2010).

Kum Burnu'nda bu noktada mânar yapılmadan önce bir başka yapının bulunup bulunmadığı net değildir, ancak özellikle kule kaidesinin batı kısmı daha erken bir duvarın üzerine yapılmış gibi görünmektedir. Kaidenin batı tarafında erken bir sarnıç

mevcuttur. Taşdıbi'ndaki mânar Rizo'nun 1490 tarihli portulanında Tore de Stalimure-Stamira Kulesi olarak, 16.yüzyıl tarihli bir Yunan portulanında ise Pyrgos H. Nikolau-Aziz Nikolas(ın) Kulesi olarak geçmektedir. Tore de Stalimure - Pyrgos H. Nikolau Latin ve Yunan denizciler için muazzam yüksekliği ve onlar için Myra ve St. Nikolas'ın limanını işaretlemekte olduğundan oldukça önemlidir. Ancak mânar halen iskele yerini gösterir biçimde ayakta ve Piri Reis, Kekova haritasında Beymelek yakınındaki lagünü, Kum Burnu yarımadasını ve üzerinde dikili mânarı haritanın dip kısmında sıkışık bir kesimde göstermektedir. Bunun yanında önceki liman olan Andriake belirtilmemiştir. Karaya çıkış yeri iskelenin kullanımının azalmasının sonucu olarak, 1741 depreminde Kum Burnu'ndaki mânarın silindir gövdesi yıkıldıktan sonra, aynı sismik olayda yıkılmış bulunan Gelidonya Burnu'ndaki (Yılan Başlık Burnu-Taşlık Burnu) yapının aksine, onarım görmemiş veya yeniden inşa edilmemiştir (Duggan ve Aygün 2010). Taşdıbi'nin uydu görüntüsü Şekil 3.10'da, Taşdıbinde bulunan mânar'ın görüntüsü Şekil 3.11'de verilmektedir.



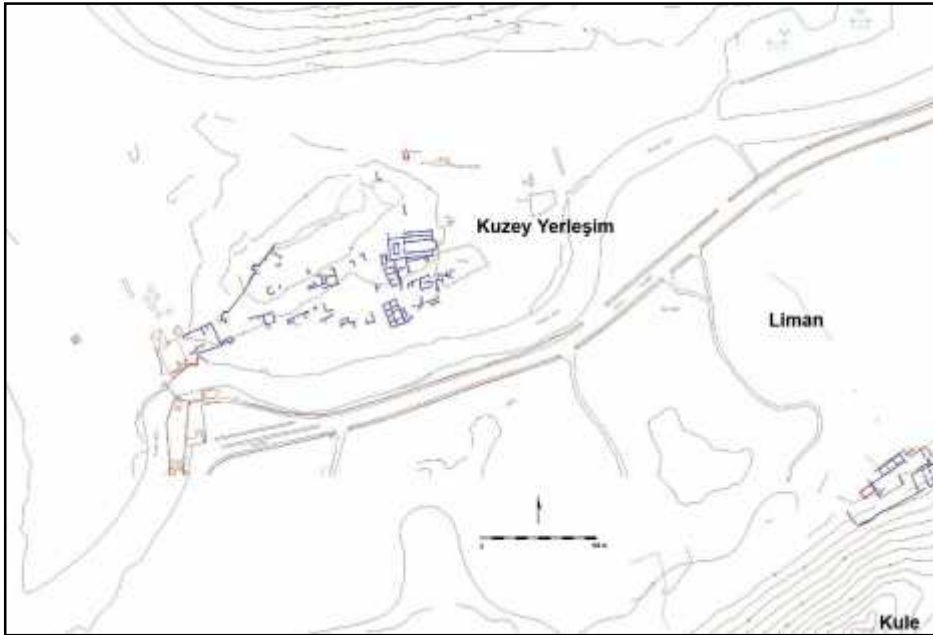
Şekil 3.10. Taşdıbi uydu görüntüsü 2011 (Google Earth)



Şekil 3.11. Taşdibi mînâr fotoğrafı 2011

3.1.1.6. Andriake Kuzey Yerleşim

Kazı çalışmaları henüz başlamamıştır. Arkeolojik bulgular 6.yüzyılda yapıların inşa edildiğini göstermektedir. Kuzey Yerleşimin plan ve uydu görüntüleri Şekil 3.12, Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Kuzey yerleşim yerleşim planı (Çizim: Çakır Afşin Aygün)



Şekil 3.13. Kuzey yerleşim uydu görüntüsü ve numune alınan yapı yeri(Google Earth)

3.1.1.7. Myra Hamam

Myra'nın Roma ve Bizans dönemlerinde görkemli bir metropol olduğu bugün alüvyon dolgu üstünde kalan kısımları nedeniyle sadece birkaç yapıdan anlaşılabilmektedir. Bunlar tiyatro, hamam, aquaductus ve nympheion yanında St. Nikolaos Kilisesi çevresinde kazılar sonucu 4-5 m derinlikte ortaya çıkan kalıntılardır. Roma Dönemi'ne ilişkin yer üstünde en çok görünen önemli yapılardan biri hamamdır. Tuğla ve harç kalınlıklarına göre Borchhardt İ.S. 3. yüzyıl'a, Farrington İ.S. 2. ya da 3. yüzyıl'a tarihlenmektedir. Bugün yol kenarında, seralar arasına sıkışmış olarak oldukça iyi korunmuş olan hamamın tüm bölümleri görünmese de görünen beş odası tanımlanabilmektedir. Klasik Likya hamamı planındadır. Üç dikdörtgen birim, uzunlamasına, yan yana sıralanmış ana yıkanma birimlerinin (tepidarium-caldarium) doğusu boyunca da hamamın asal odası uzanır. KuzeyDoğu köşedeki küçük ilk oda apoditerium olmalıdır. Hamamın güney duvarı ortasında güçlü bir altyapı üzerine hamamın su deposu (castellum) yerleştirilmiştir. Aynı yöndeki duvarların alt kesimlerinde praefurniumlar sağlam korunmuştur. Duvarlardaki izlerden hamamın alttan ve duvarlardan ısıtıldığı görülmektedir. Duvar örgüsü çoğunlukla tuğla-harç ağırlıklıdır (Şekil 3.14). Myra hamamı planından çok inşaat malzemesiyle özeldir. Pür Roma tekniğinde, tamamen tuğlalarla örülen yeğane hamamdır. 3-4 m yüksekliğinde alüvyon kaplanmış olması yanında, tuğlanın sağlamlığı ve özellikle de devşirme malzeme olarak blok taş kadar uygun olmayışı yapının sağlam korunmuşluğundaki temel nedenlerdir. Jeofizik ölçümlere göre 3 m derinde hamam zemini ve altında da yaklaşık 1.5 m yüksekliğinde hypocaustum sistemi bulunmaktadır. Bundan başka,

yazıtlar kentte aynı dönemde iki hamam/gymnasium daha olduğunu göstermektedir. Bunlar Iason'un stoa eklediği hamam, diğeri de Opramoas'ın exedra eklediği hamamdır. Ancak bunların aynı hamam mı yoksa farklı hamamlar mı olup olmadığı açık değildir. Anlaşılan Pax Romana boyunca doruk yapan Likya'daki Roma şehirciliğinin önemli bir örneğini de Myra oluşturmaktadır (Çevik 2010).



Şekil 3.14. Hamam hava fotoğrafı 2011 (Myra-Andriake kazı arşivi)

3.1.1.8. Myra Tiyatro

Tiyatro ile ilgili değiniler en erken Likya literatüründen itibaren görünür. At nalı formundaki cavea, altta 29, üstte ise 9 oturma sırasına sahiptir. Cavea 13 kerkidese bölünmüştür. Diazoma'dan üst kottaki oturma sıralarını ayıran parapet oldukça yüksek tutulmuştur. Cavea, doğu ve batı yönde iki katlı tonozlu galeriler üzerine, merkezi aksta ise yamaca oturtulmuştur. Çift katlı tonozla kapatılan paradoslardan, doğudaki tonozlar halen görülebilmektedir. Helenistik Roma tipindedir ve Likya'nın en büyük tiyatrosu olarak 11.500 kişi kapasitelidir. İ.S. 141' deki deprem sonrasında tiyatronun onarımı için Rhodiapolisli Opramoas tarafından bağış yapılmıştır. Opramoas bu değerli

yardımlarından dolayı Myra vatandaşı olarak onurlandırılmıştır. Myra tiyatrosu bölgenin en görkemli ve en nitelikli dekorasyona sahip tiyatrosudur; bu bakımdan benzersizdir. İlk yapım yılıyla ilgili belge olmamakla birlikte onarımların tarihleri bilinir. İlk 141 depremi sonrası onarım, ikincisi ise İ.S. 3. yüzyıl'ın ilk çeyreğindeki onarımdır. Aynı yüzyılda Roma tarzı oyunların gerçekleştirilebileceği biçimde bazı düzenlemeler yapılmıştır. 40 m çapındaki orkestranın çevresine parapetler yerleştirilmiştir. Parapetleri oluşturan bloklar devşirme olup, üzerlerindeki izlerden stylobat blokları olduğu anlaşılmaktadır. Cephelelerinde yer alan düz silmeler, söz konusu blokların agora ya da sütunlu caddenin portiklerinde kullanılmış olabileceklerini düşündürür. 62.00x12.5 m ölçülerindeki üç katlı sahne binası frizlerinde, Ganimed, kartal, Mithras, Medusa, çok çeşitli masklar, syren ve menadlar tarafından taşınan girlandlar işlidir. Likya'da ilk kez sahne binasının dış yüzünde girland taşıyıcıların bulunduğu kabartmalı bir friz görülmektedir. Sahne binasında yer alan kapılardan birinde görülen su künkleri, tiyatrodaki su gösterilerin yapılmış olabileceğini göstermektedir (Çevik ve Bulut 2010).

8 m yüksekliğinde alüvyon kaplanmış kentte, bugün, Antalya Müzesi'nin 1960'larda yaptığı çalışma sonucu tüm iç temizliği orkestra zeminine kadar yapılmış olduğu için görülebilen en büyük sivil bina tiyatrodur. Mimarisiyle gerçek bir Roma Çağı tiyatrosudur. Oturma sıralarını taşıyan tonozlar giriş çıkış için organize edilmişlerdir. Tiyatro'da bulunan yazıtlar kentin değişik yönlerine ilişkin bilgiler verir. Orkestra'daki yazıtta kentin ithalat-ihracat işlerinden kazandığı paradan Likya Birliği'ne 7000 dinar vergi ödediği yazmaktadır. Bu miktar en yüksek vergidir. Bu miktara en çok yaklaşan Kaunos bile 6.000 dinar vergi ödemektedir (Çevik ve Bulut 2010).

2009 yılında başlayan kazı çalışmaları ile Tiyatro'nun 2011 yılındaki hava fotoğrafı Şekil 3.15'de görülmektedir. Kazı çalışmalarının hızla devamı neticesi Şekil 3.16'da 2012 kazı sezonu sonundaki Tiyatro'nun değişimi verilmektedir.



Şekil 3.15. Tiyatro hava fotoğrafı 2011 (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.16. Tiyatro hava fotoğrafı 2012 (Myra-Andriake kazı arşivi)

3.1.2. Taş, tuğla, harç ve sıva numune alma çalışmaları

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; T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün 29.11.2010 tarih ve 240206 No'lu, 11.05.2011 tarih ve 100631 No'lu izinleriyle, Antalya Müze Müdürlüğü'nün 23.06.2011 tarih 160.01/1789 sayılı ekspertiz raporu tamamlanarak Antalya ili Demre ilçesi sınırları içerisinde yer alan Myra ve Limanı Andriake antik kentinde yüzey çalışmaları ile numune alma çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar Antalya Müze Müdürlüğü, kazı başkanı ve kazı ekibi ile ortak yapılmıştır (Ek-1).

Araştırmanın başlangıcında, numune alınacak yapı malzemelerinin yerlerinin belirlenmesi için yapılarda görsel inceleme yapılması gerekmektedir. Numune alma işlemi sırasında yapıya zarar verilmemesi ya da en az zarar verilmesine özen gösterilerek, en az miktarda örnek alınmıştır. İncelenen yapılar tarihsel süreç içinde çeşitli onarımlar geçirmiştir. Bu nedenle bu yapılar hakkında yapım dönemine ait özgün yerleri bulabilmek, doğru yerlerden temsili numuneler alabilmek için detaylı bir literatür çalışmasıyla birlikte kazı ekibi ile çalışma yapılmıştır. Numune alınacak yapıların belirlenmesi ve onarım görmeyen özgün nitelikleri korunmuş numune alınan yerlerin tespiti, kazı ekibinin desteği ile sağlanmıştır.

Numune alma ve hazırlama çalışmaları, karakterizasyon çalışmalarının en önemli kısmını oluşturmaktadır. Tarihi yapılarda incelenecek olan yapı malzeme numuneleri dikkatli bir şekilde alınması önemlidir. Mümkün olduğunca yapının müdahale görmemiş bölümleri tercih edilmelidir. Gerekli olan deneylerin ve geriye dönük çalışmaların yapılabilmesi için örnek boyutları ve sayıları yeterli miktarda olmasına dikkat edilmiştir. Bu bağlamda, Antalya'nın Demre ilçesi sınırlarında yer alan Myra ve Limanı Andriake Antik Kenti içerisinde bulunan sekiz ayrı yapıdan ve yapıların farklı bölgelerinden 54 adet harç, sıva, tuğla, taş numuneler alınmıştır. Numune alınan bölgeler yapıların plan ve hava fotoğrafları üzerinde işaretlenmiş ve bu bölgelerin fotoğrafları çekilmiştir. Numuneler genel olarak, yapının değişik dönemleri hakkında bilgi verecek olan iç ve dış bölgelerden, tonoz, zemin, duvar (taş-taş, tuğla-

tuğla arası) bölgelerinden alınmıştır. Duvar örgü harcı numuneleri alınırken numunelerin mümkün olduğunca yüzeyden olmamasına dikkat edilmiş, özgün malzemelere zarar verilmemesi ilkesi esas alınmıştır. Bu nedenle yapılardan karot alınması yöntemi yerine elle ve yardımcı aletlerle örnek alma yöntemi tercih edilmiştir. Numune alma işlemi, kazı ekibinde yer alan arkeologlar gözetiminde çekiç ve keski yardımıyla yapıya zarar vermemeye özen gösterilerek büyük bir titizlik içerisinde yapılmıştır. Numuneler mümkün olduğunca kütle halinde çıkarılmaya çalışılmış, ancak bazı numunelerin zayıf olmaları ve çabuk dağılmaları nedeniyle kütle elde edilmesi zor olmuştur. Bazı numuneler ise günümüze az miktarda ulaşabildiğinden sınırlı miktarlarda alınabilmiştir. Numuneler alındıktan hemen sonra alüminyum folyoya sarılmış, kilitli plastik torba, kutulara konularak etiketlenmiş, deneyler başlayıncaya kadar değişime uğramamaları sağlanarak korunmuşlardır. Alınan numuneler yapı isimleri ve malzeme türüne göre gruplandırılarak kodlanmış ve laboratuvar çalışmaları başlamadan önce ölçek verilerek fotoğraflanmıştır.

Laboratuvara getirilen numuneler ilk olarak basınçlı hava ve fırça yardımıyla çevresel kirliliklerden temizlenmiştir. Daha sonra temizlenen numunelerden yapılması düşünülen analizlere uygun büyüklükte ve özellikte parçalar seçilmiştir. Mikroskobik çalışmalar için numunelerin yüzeyinin düzgün ve parlatılmış olması gerektiğinden, numuneler kesme cihazı yardımıyla düzgün bir biçimde kesilmiş ve kesilen numunelerin yüzeyleri parlatma cihazı yardımıyla saf su ve özel solüsyonlar kullanılarak parlatılmıştır.

SEM analizleri için numune yüzeyinin iletken olması gerektiğinden 10x10x10 mm boyutlarındaki numunelerin yüzeyleri altın ile kaplanmıştır. XRD, XRF, TG/DTA analizleri için numuneler, öğütücüde öğütülmüş ve tane boyutu 63 µm'nin altında tozlar üretilmiştir. Kimyasal ve fiziksel analizler için 40-50 gr ağırlığında numuneler hazırlanmıştır. Mekanik deneylerin yapılabilmesi için numune boyutlarının 40x40x40 mm'lik küp veya 40x40x160 mm boyutunda prizma olması gerekmektedir. Ancak kireç harçları çok dağınık oldukları için bu boyutta örnek kesmek çok zordur, bu durumda nokta yükleme analizleri de basınç dayanımıyla ilgili bilgi vermektedir (Güleç vd 2004).

Numune kodlamalarında kullanılan simgeler aşağıda belirtilmektedir. Kodlamada ilk harf yapı adlarının ilk harfini (Granarium: G, Plakoma: P, Sinagog: S, Liman Yapıları: L, Kuzey yerleşim: K, Taşdibi: TD, Tiyatro: T, Hamam: H), ikinci harf yapı malzeme cinsini (harç: H, sıva: P, tuğla: T, taş: S) üçüncü rakam da alınan bölgeleri göstermektedir. Örneğin: GH6, Granarium'un 6. bölgesinden alınan harç numunesini ifade etmektedir. Numune alınan yapılar, yapıların inşa tarihleri, numune alınan nokta sayıları, yapı malzemesi türüne göre numune sayıları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

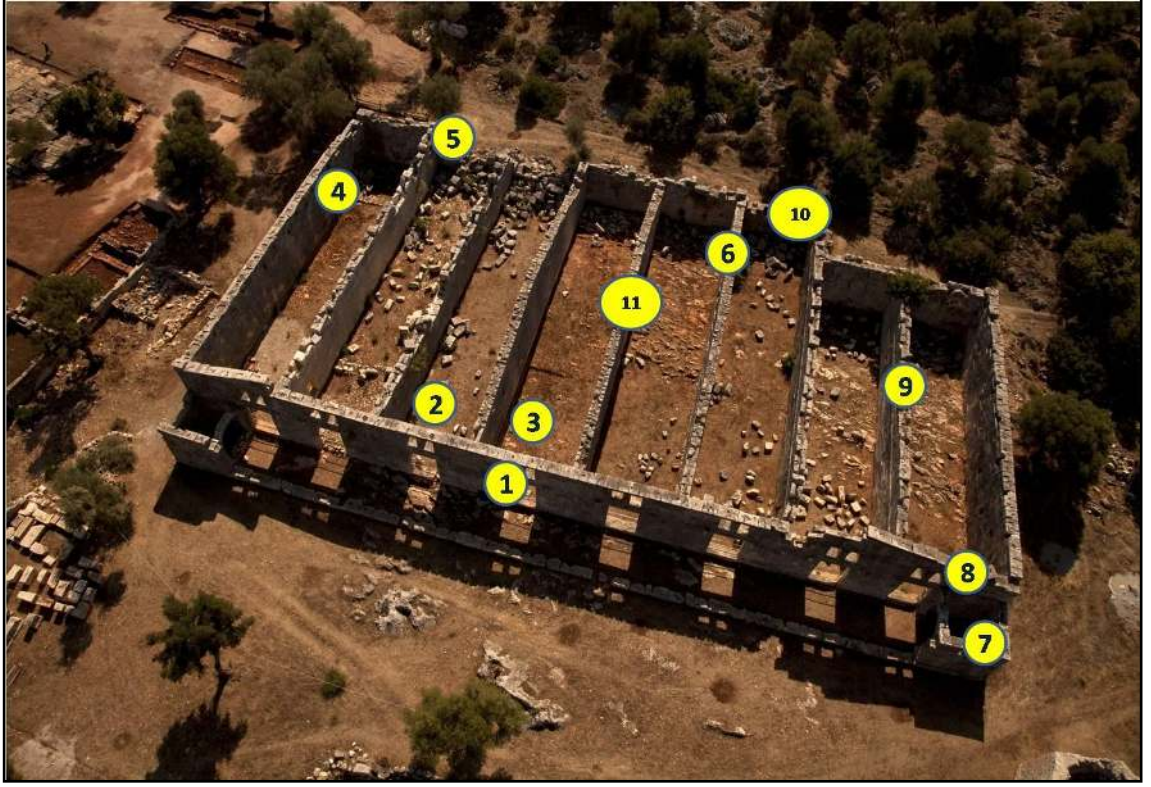
Çizelge 3.1. Numune bilgileri

YER	İNŞA TARİHİ (İ.S.)	NUMUNE ALINAN NOKTA	HARÇ	SIVA	TUĞLA	TAŞ
ANDRİAKE GRANARİUM	2.yy(üst yapı) 6.yy (zemin)	11	10	-	3	-
ANDRİAKE LİMAN YAPILARI	4. yy	6	6	-	2	-
ANDRİAKE PLAKOMA	2.yy	3	1	1	1	1
ANDRİAKE SİNAGOG	5.yy	4	4	-	1	-
ANDRİAKE KUZEY YERLEŞİM	6.yy	1	1	-	1	-
TAŞDİBİ	13.yy	4	4	-	-	-
MYRA HAMAM	3.yy	7	6	-	5	-
MYRA TİYATRO	2.yy	5	5	-	1	1
TOPLAM		41	37	1	14	2

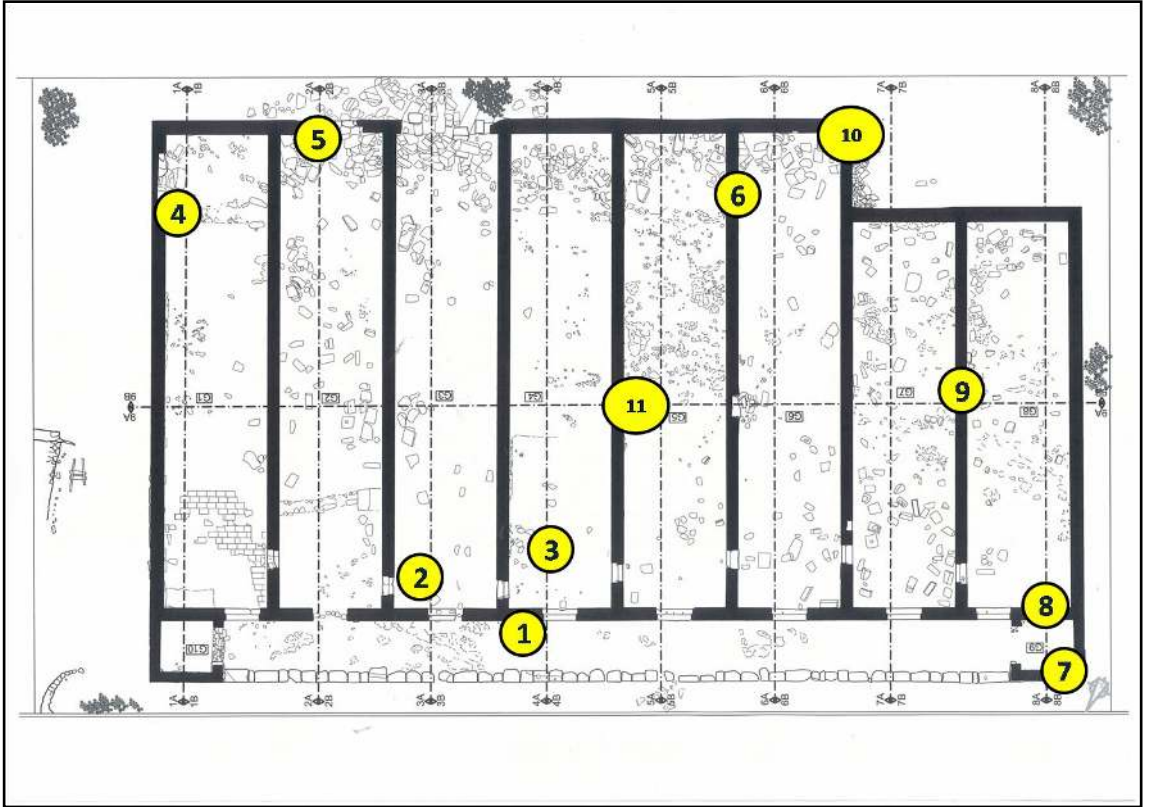
Çalışma kapsamında kazı ekibi ile incelenen yapıları belirlerken, mümkün olduğunca az onarım geçirmiş, 2009 yılında başlayan kazı çalışmaları kapsamında restorasyon çalışmalarına başlanacak, özgün malzeme özelliklerini korumuş, farklı yüzyıllarda inşa edilmiş yapılar seçilmiştir. Bu kapsamda belirlenen ve farklı dönemlerde inşa edilmiş (2., 3., 4., 5., 6. ve 13. yüzyıl'larda) yani Roma, Bizans ve Selçuklu dönemlerine tarihlenen sekiz yapının mimari ve yapım sistemleri incelenmiştir. Yapının bu durumları göz önünde tutularak harç, sıva, tuğla ve taş numunelerin alınacağı yerler hava fotoğrafları ve çizimleri üzerinde işaretlenmiştir. Alınan numunelerin yapı üzerindeki yerleri ve görüntüleri, Şekil 3.17'den Şekil 3.86'ya kadar verilmiştir. Myra ve Limanı Andriake'de bulunan sekiz yapıdan alınan 54 numunenin yapılardaki yerleri ve tanımları Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Alınan numune tipleri ve tanımları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE TİPİ ve TANIMI	ALINDIĞI YER
1	PS1	TAŞ	Plakoma 20 nolu bölüm kuzeydoğudaki fırın önü
2	PT2	TUĞLA (duvar)	Plakoma 20 nolu bölüm kuzeydoğudaki fırın önü tuğla örgüden
3	PH2	HARÇ (tuğla tuğla)	Plakoma 20 nolu bölüm kuzeydoğudaki fırın önü tuğla derzinden
4	PP3	SIVA	Plakoma güneyi duvar sıvası
5	SH1	HARÇ (taş taş)	Sinagog güney dış taş duvar iç yüzeyi örgü harcı
6	SH2	HARÇ (taş taş)	Sinagog batı dış taş duvar iç yüzeyi örgü harcı
7	SH3	HARÇ (taş taş)	Sinagog kuzey taş duvar örgü harcı
8	SH4	HARÇ (zemin)	Sinagog kuzey zemin tuğla yatak harcı
9	ST4	TUĞLA (zemin)	Sinagog kuzey zemin tuğlası
10	GH1	HARÇ (taş taş)	Granarium G4 kuzey dış cephe taş duvar örgü harcı
11	GH2	HARÇ (zemin-murex)	Granarium G3 zeminden tuğla yatak harcı
12	GT2	TUĞLA (zemin)	Granarium G3 zemin tuğlası
13	GT3	TUĞLA (zemin)	Granarium G4 zemin tuğlası
14	GH4	HARÇ (taş taş)	Granarium G1 doğu iç cephe taş duvar örgü harcı
15	GH5	HARÇ (taş taş)	Granarium G2 güney dış cephe taş duvar örgü harcı
16	GH6	HARÇ (taş taş) (çatı)	Granarium G5-G6 arası taş duvar çatı seviyesi örgü harcı
17	GH7	HARÇ (yalıtım-temel)	Granarium G9 kuzey cephe temel-duvar yalıtım harcı
18	GH8	HARÇ (yalıtım-çatı)	Granarium G8 kuzey çatı seviyesi yalıtım harcı
19	GH9	HARÇ (taş taş)	Granarium G7-G8 arası taş duvar örgü harcı
20	GH10	HARÇ (taş taş)	Granarium G6 güney köşe taş duvar örgü harcı
21	GH11	HARÇ (zemin)	Granarium G5 zeminden tuğla yatak harcı
22	GT11	TUĞLA (zemin)	Granarium G5 zemin tuğlası
23	LH1	HARÇ (tuğla tuğla)	Liman yapıları doğu cephe dükkanlar tuğla duvar örgü harcı
24	LT1	TUĞLA (duvar)	Liman yapıları doğu cephe dükkanlar tuğla duvar
25	LH2	HARÇ (tuğla tuğla)	Liman yapıları güney cephe basamaklı sokak tuğla örgü harcı
26	LT2	TUĞLA (duvar)	Liman yapıları güney cephe basamaklı sokak tuğla duvar
27	LH3	HARÇ (taş taş)	Liman yapıları kuzey cephe dükkanlar taş duvar örgü harcı
28	LH4	HARÇ (taş taş)	Liman yapıları kuzey cephe dükkanlar taş duvar örgü harcı
29	LH5	HARÇ (zemin)	Liman yapıları kuzey karşılama bölümü zemin tuğla yatak harcı
30	LH6	HARÇ (taş taş)	Liman yapıları batı cephe taş duvar örgü harcı
31	TDH1	HARÇ (taş taş)	Taşdibi manar kuzey cephe iç kısım taş duvar örgü harcı
32	TDH2	HARÇ (taş taş)	Taşdibi manar güney cephe iç kısım taş duvar örgü harcı
33	TDH3	HARÇ (taş taş)	Taşdibi manar doğu cephe dış taş duvar örgü harcı
34	TDH4	HARÇ (taş taş)	Taşdibi manar kuzeybatı cephe dış taş duvar örgü harcı
35	KH1	HARÇ (taş taş)	Kuzey yerleşim taş duvar örgü
36	KT1	KİREMİT (duvar-derz)	Kuzey yerleşim taş duvar derz kiremit
37	TS1	TAŞ	Tiyatro güney sahne kısmı taş
38	TT1	TUĞLA (kemer)	Tiyatro güney sahne kısmı tuğla örgü
39	TH1	HARÇ (tuğla tuğla)	Tiyatro güney sahne kısmı tuğla örgü harcı
40	TH2	HARÇ (tuğla tuğla)	Tiyatro güney sahne kısmı tuğla örgü harcı
41	TH3	HARÇ (taş taş)	Tiyatro doğu tonozu taş duvar örgü harcı
42	TH4	HARÇ (taş taş)	Tiyatro doğu tonozu taş duvar örgü harcı
43	TH5	HARÇ (taş taş)	Tiyatro güney sahne arkası taş duvar örgü harcı
44	HH1	HARÇ (tuğla tuğla)	Hamam doğu iç tuğla duvar örgü harcı
45	HT2	TUĞLA (duvar)	Hamam doğu iç tuğla duvar
46	HH2	HARÇ (tuğla tuğla)	Hamam güney iç tuğla duvar örgü harcı
47	HH3	HARÇ (tuğla tuğla)	Hamam güney iç tuğla duvar örgü harcı
48	HT3	TUĞLA (duvar))	Hamam güney iç tuğla duvar
49	HT4	TUĞLA (duvar))	Hamam kuzey dış tuğla duvar
50	HH4	HARÇ (tuğla tuğla)	Hamam kuzey dış tuğla duvar örgü harcı
51	HT5	TUĞLA (duvar)	Hamam batı iç tuğla duvar
52	HH5	HARÇ (tuğla tuğla)	Hamam batı iç tuğla duvar örgü harcı
53	HT6	TUĞLA (duvar)	Hamam doğu iç tuğla duvar
54	HH7	HARÇ (tuğla tuğla)	Hamam güney dış tuğla duvar örgü harcı



Şekil 3.17. Granarium hava fotoğrafı 2011 numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.18. Granarium planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.19. GH1 kodlu taş duvar örgü harcı numunesi



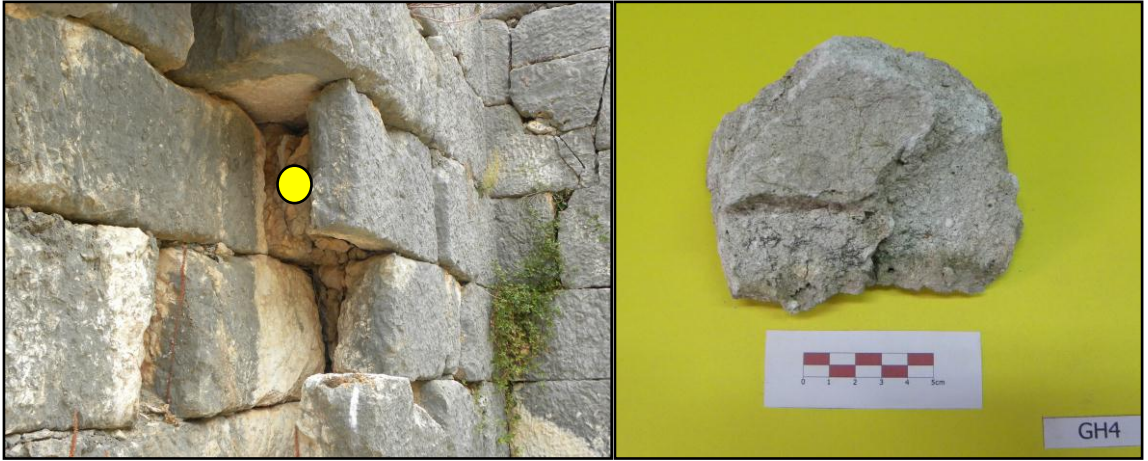
Şekil 3.20. GH2 kodlu tuğla zemin harcı numunesi (murex harcı)



Şekil 3.21. GT2 kodlu zemin tuğla numunesi



Şekil 3.22. GT3 kodlu zemin tuğla numunesi



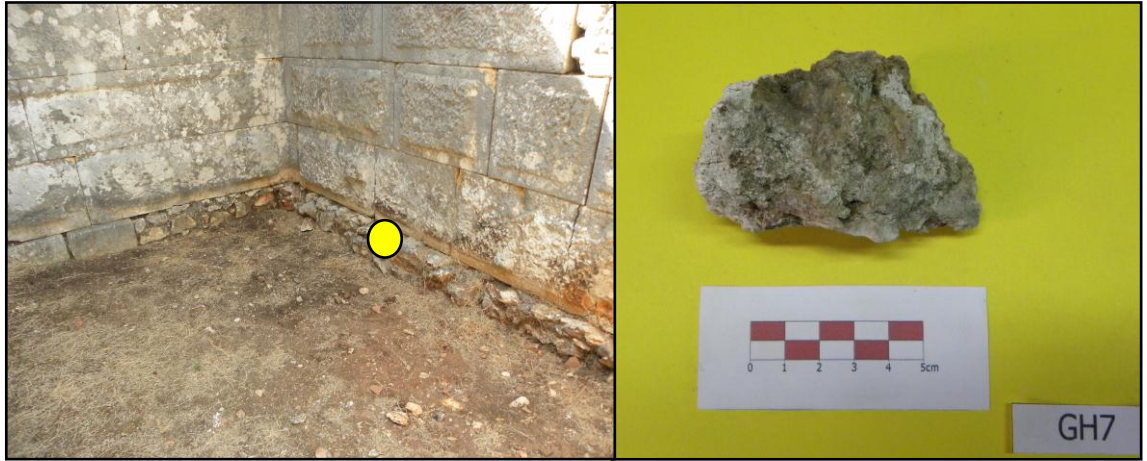
Şekil 3.23. GH4 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.24. GH5 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.25. GH6 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.26. GH7 kodlu zemin yalıtım harcı numunesi



Şekil 3.27. GH8 kodlu çatı yalıtım harcı numunesi



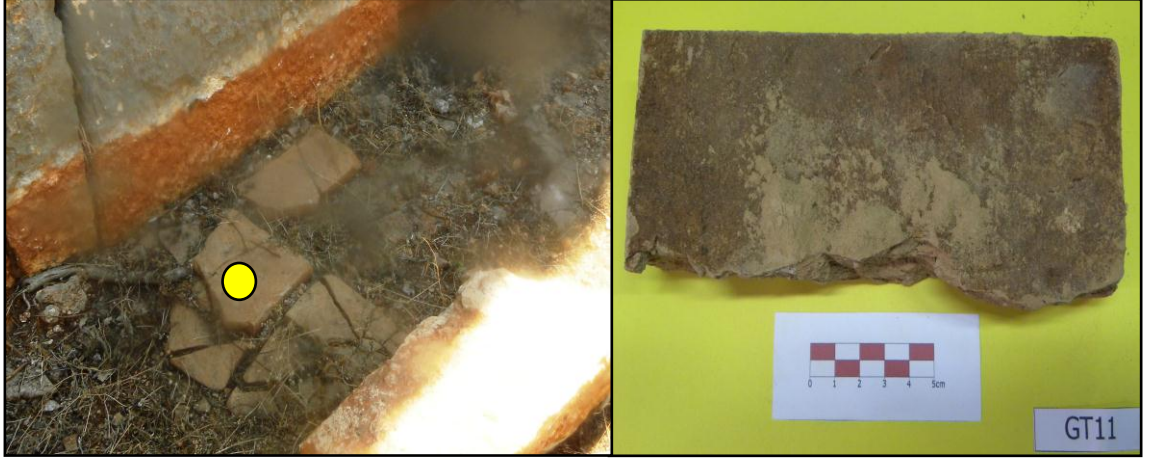
Şekil 3.28. GH9 kodlu taş duvar harcı numunesi



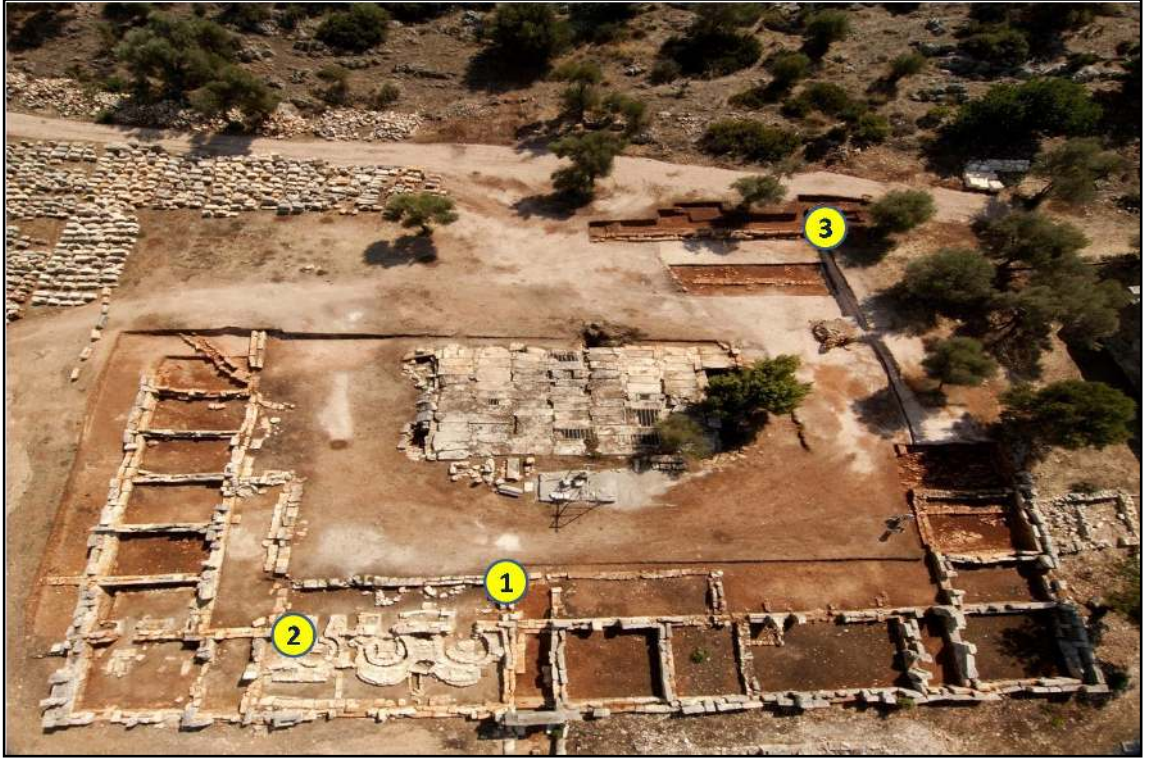
Şekil 3.29. GH10 kodlu taş duvar harcı numunesi



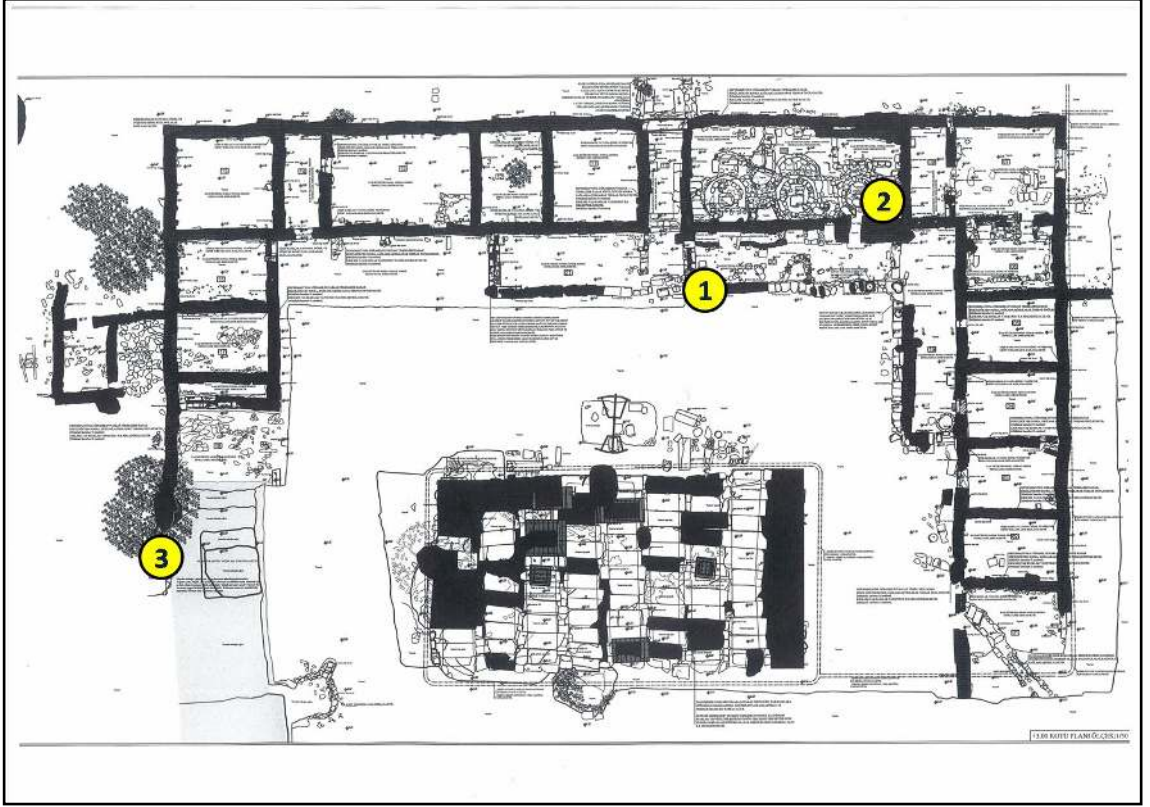
Şekil 3.30. GH11 kodlu zemin tuğla harcı numunesi



Şekil 3.31. GT11 kodlu zemin tuğla numunesi



Şekil 3.32. Plakoma hava fotoğrafı 2011 numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.33. Plakoma planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.34. PS1 kodlu taş numunesi



Şekil 3.35. PT2 kodlu tuğla numunesi



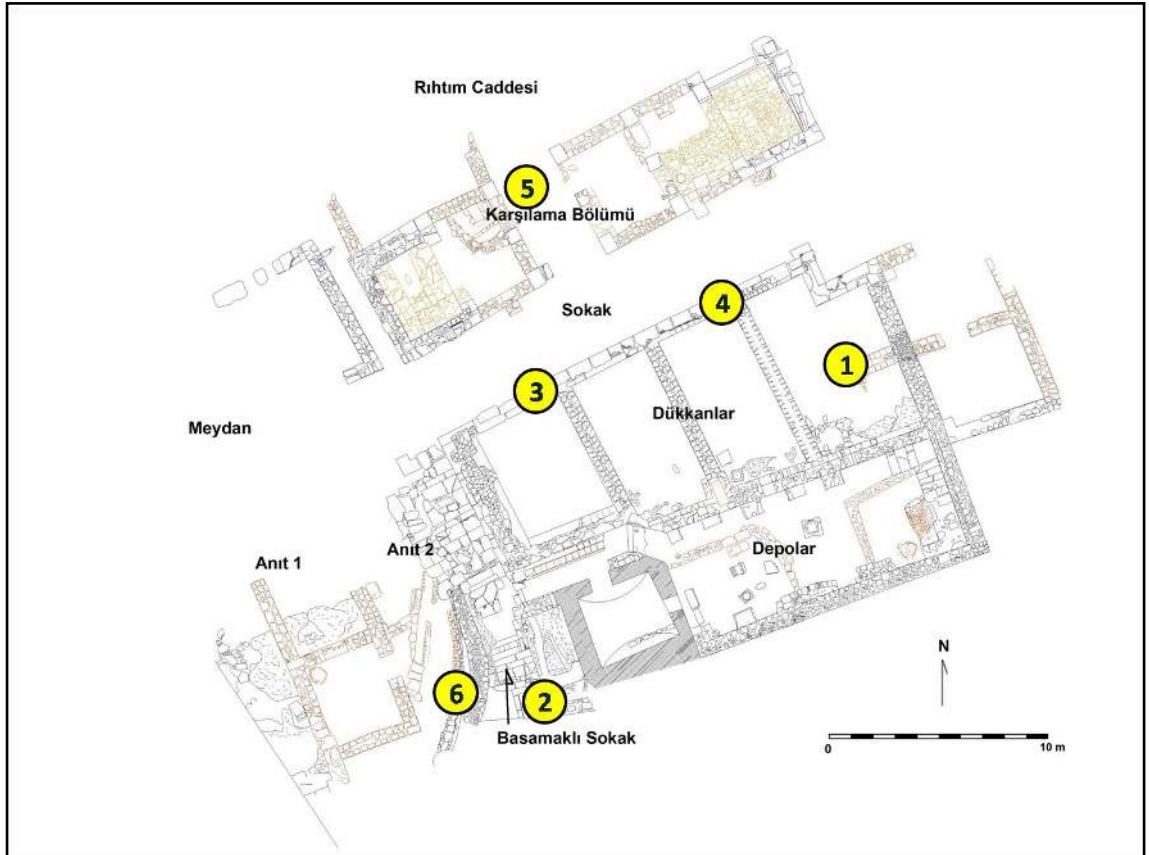
Şekil 3.36. PH2 kodlu tuğla duvar harç numunesi



Şekil 3.37. PP3 kodlu sıva numunesi



Şekil 3.38. Liman yapıları hava fotoğrafı 2011 numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.39. Liman yapıları planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.40. LH1 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



Şekil 3.41. LT1 kodlu tuğla duvar numunesi



Şekil 3.42. LH2 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



Şekil 3.43. LT2 kodlu tuğla duvar numunesi



Şekil 3.44. LH3 kodlu taş duvar harcı numunesi



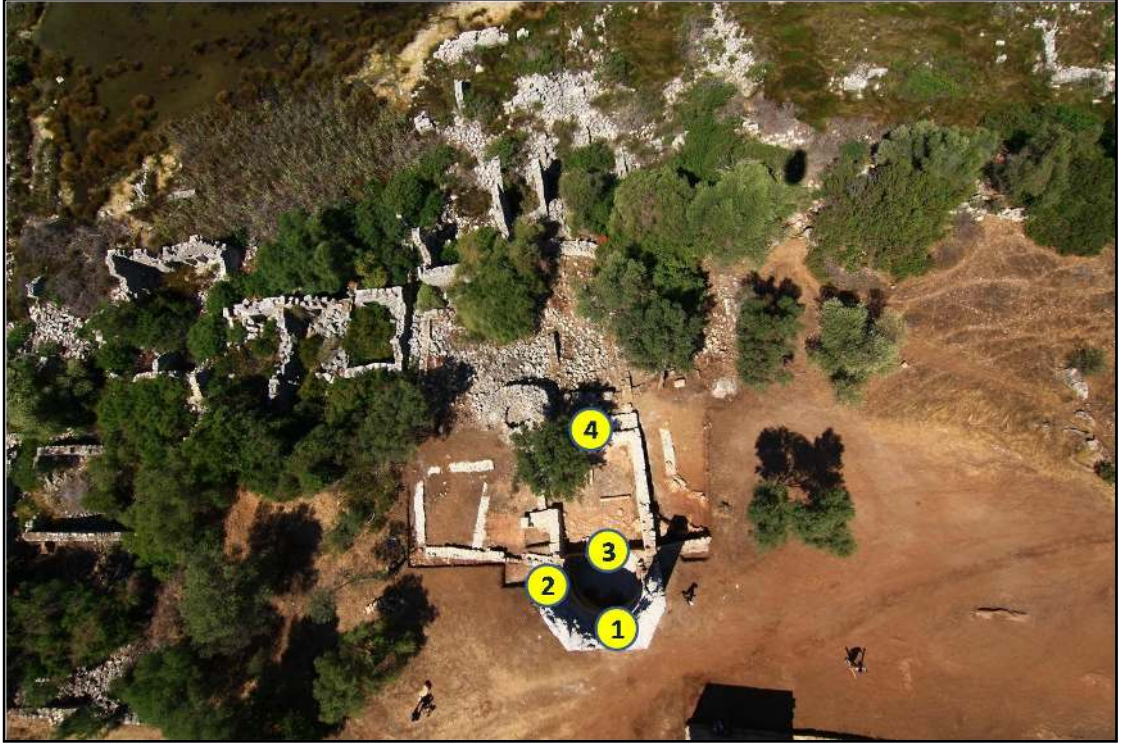
Şekil 3.45. LH4 kodlu taş duvar harcı numunesi



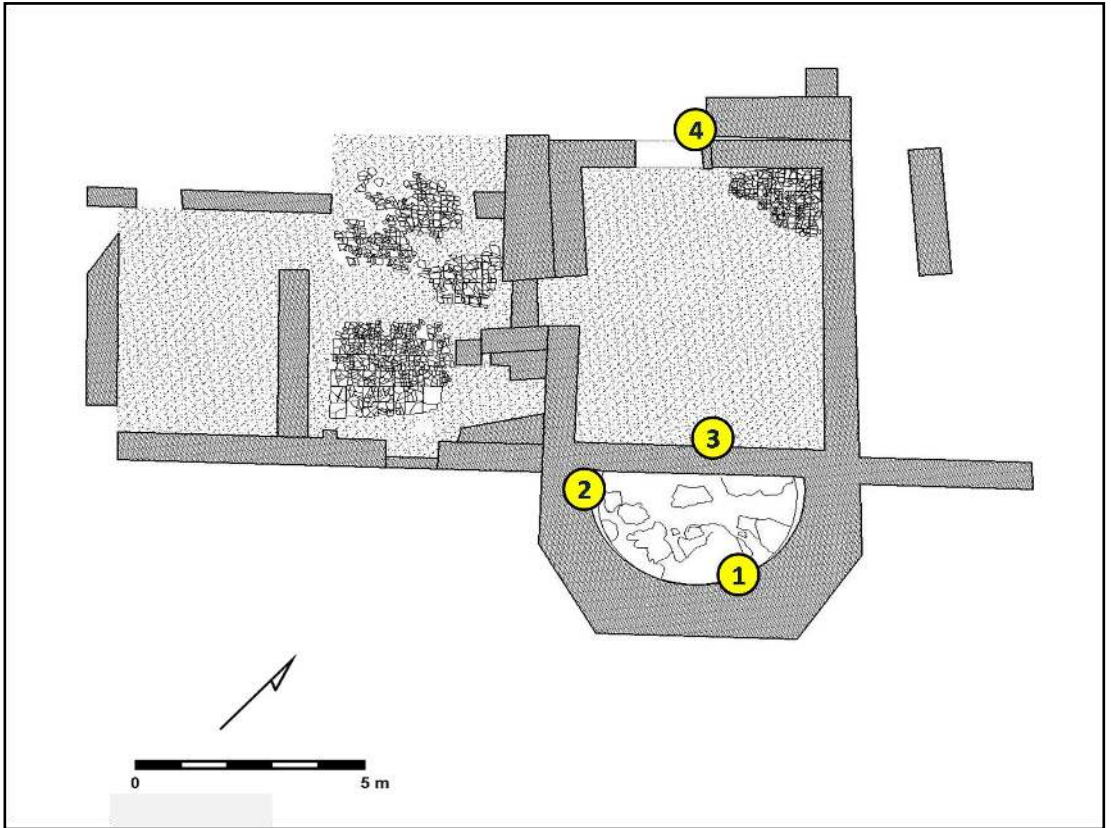
Şekil 3.46. LH5 kodlu tuğla zemin harcı numunesi



Şekil 3.47. LH6 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.48. Sinagog hava fotoğrafı 2011 numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.49. Sinagog planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.50. SH1 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.51. SH2 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.52. SH3 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.53. SH4 kodlu zemin tuğla harcı numunesi



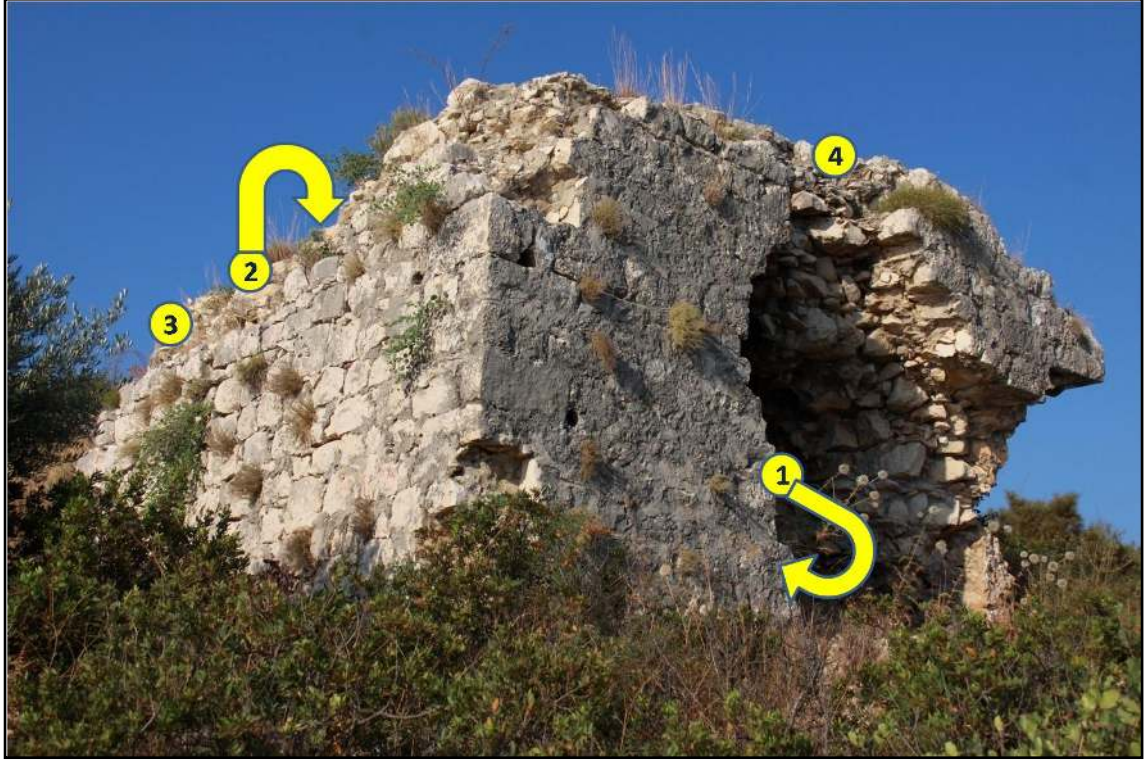
Şekil 3.54. ST4 kodlu zemin tuğla numunesi



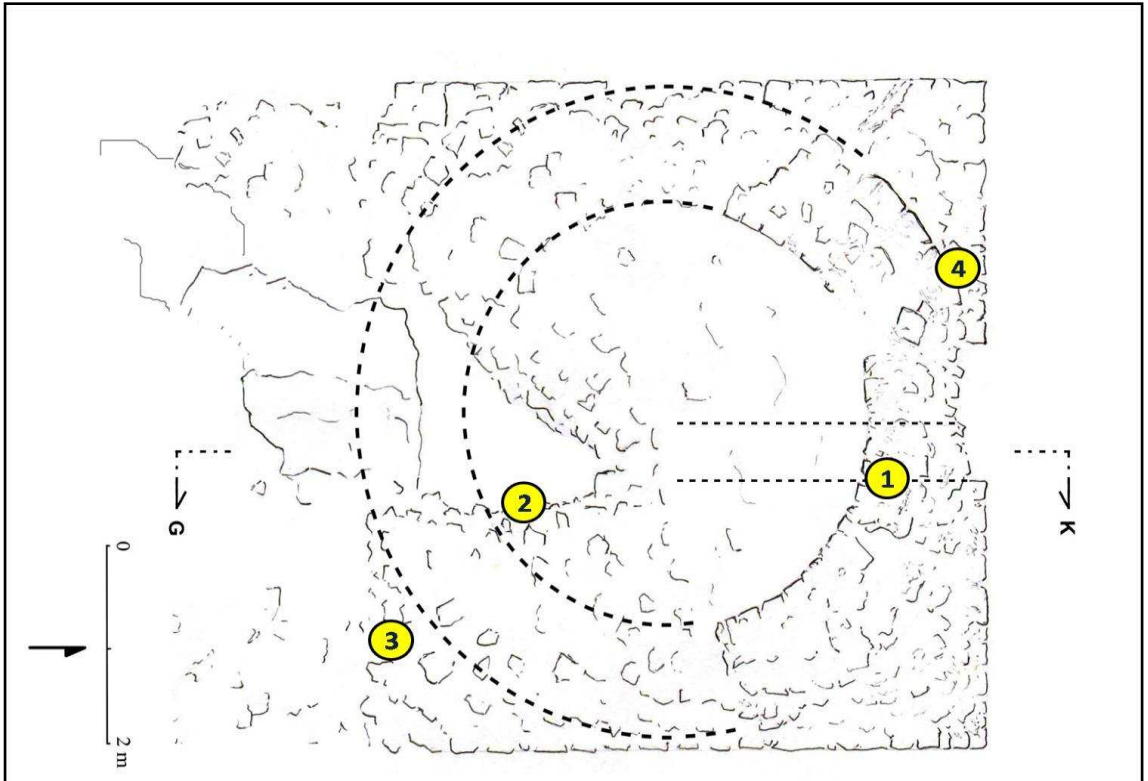
Şekil 3.57. KH1 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.58. KT1 kodlu tuğla numunesi



Şekil 3.59. Taşdibi fotoğrafı 2011 numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



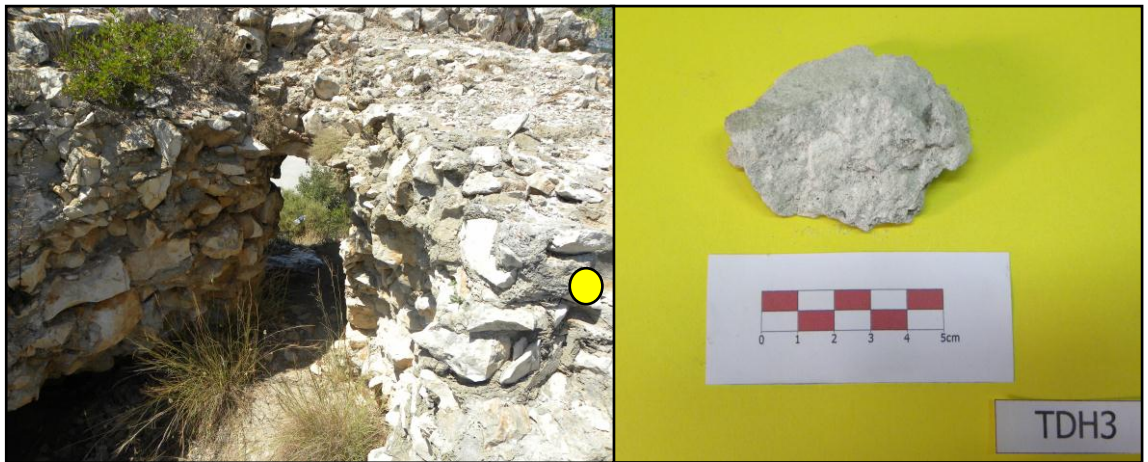
Şekil 3.60. Taşdibi planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.61. TDH1 kodlu taş duvar harcı numunesi



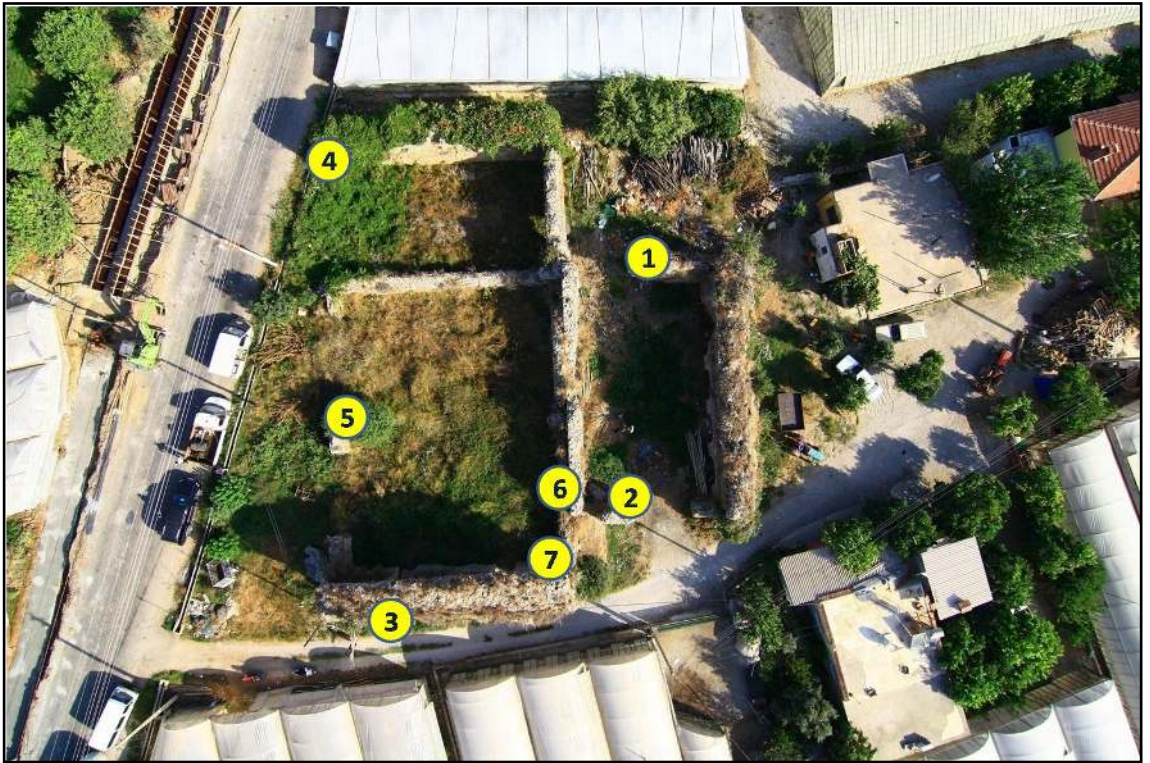
Şekil 3.62. TDH2 kodlu taş duvar harcı numunesi



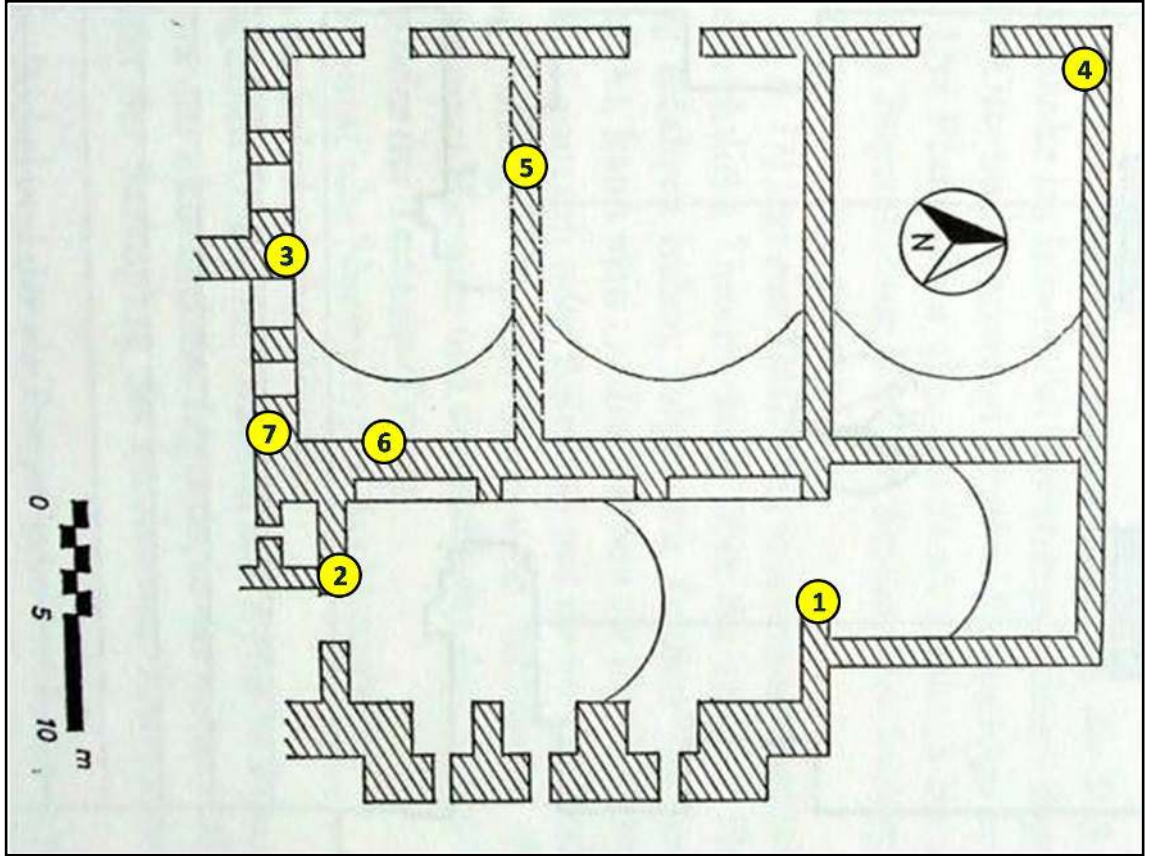
Şekil 3.63. TDH3 kodlu taş duvar harcı numunesi



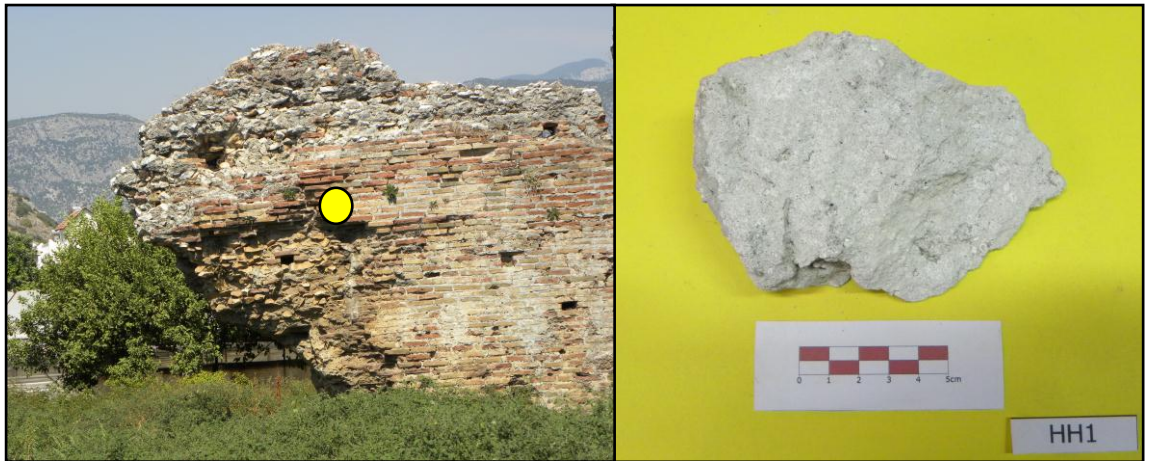
Şekil 3.64. TDH4 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.65. Hamam hava fotoğrafı 2011 numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.66. Hamam planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



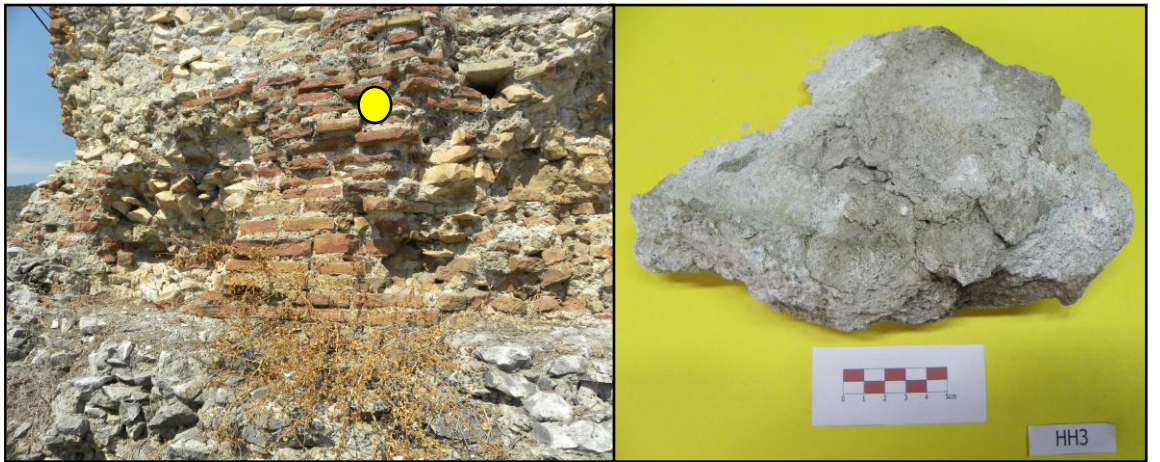
Şekil 3.67. HH1 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



Şekil 3.68. HH2 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



Şekil 3.69. HT2 kodlu tuğla duvar numunesi



Şekil 3.70. HH3 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



Şekil 3.71. HT3 kodlu tuğla duvar numunesi



Şekil 3.72. HH4 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



Şekil 3.73. HT4 kodlu tuğla duvar numunesi



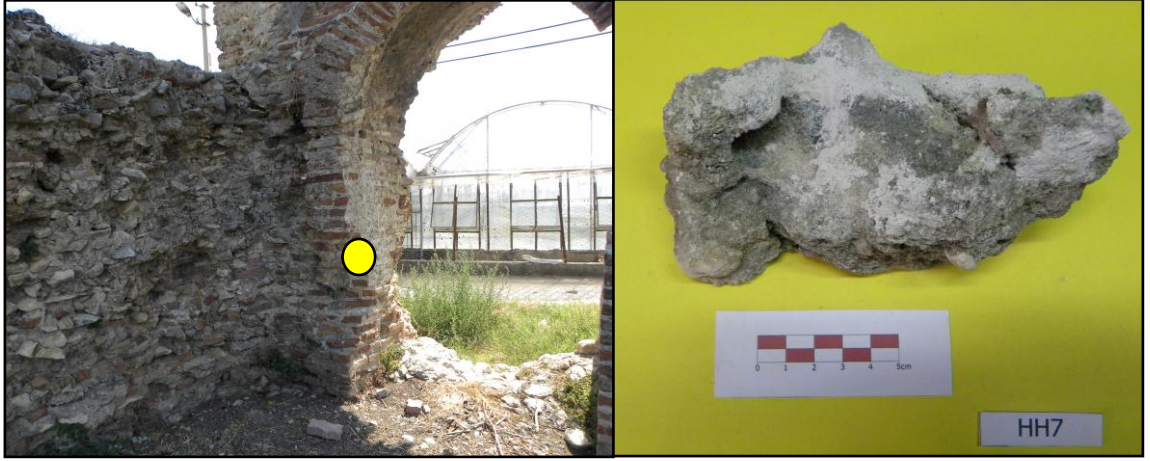
Şekil 3.74. HH5 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



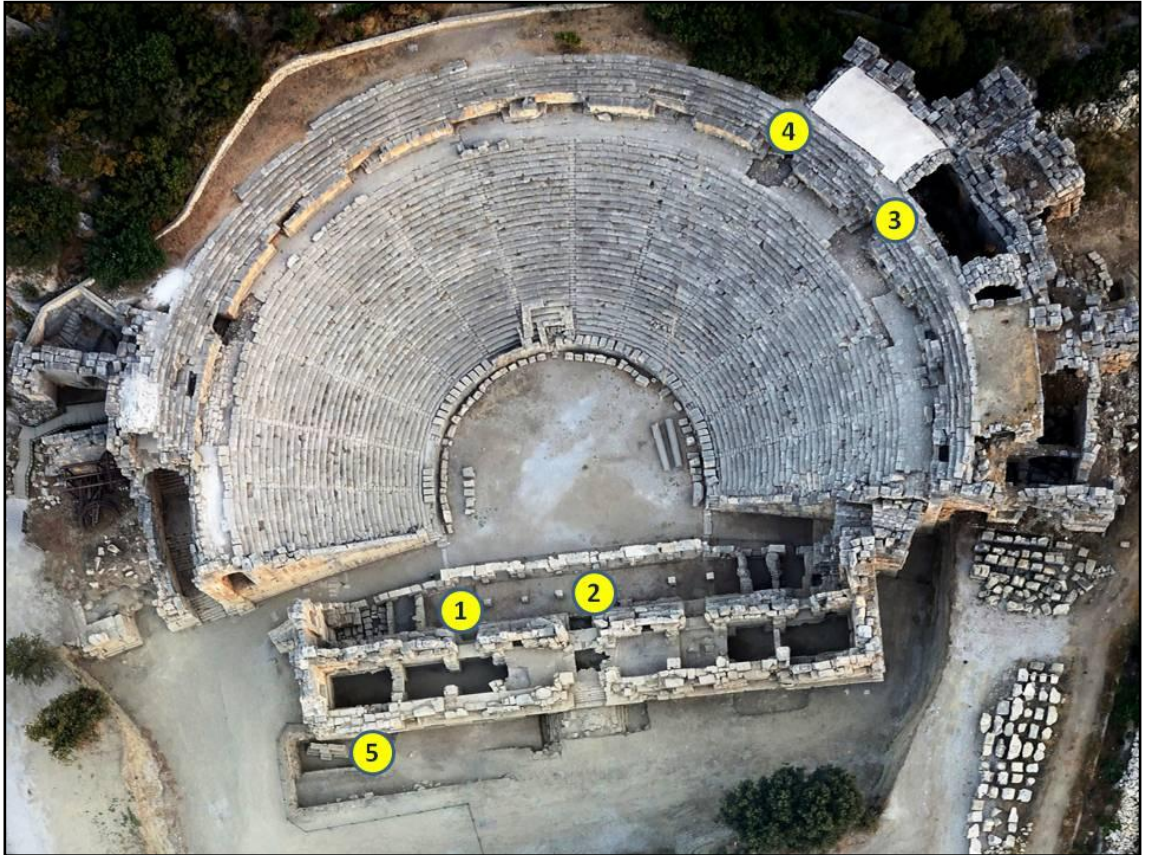
Şekil 3.75. HT5 kodlu tuğla duvar numunesi



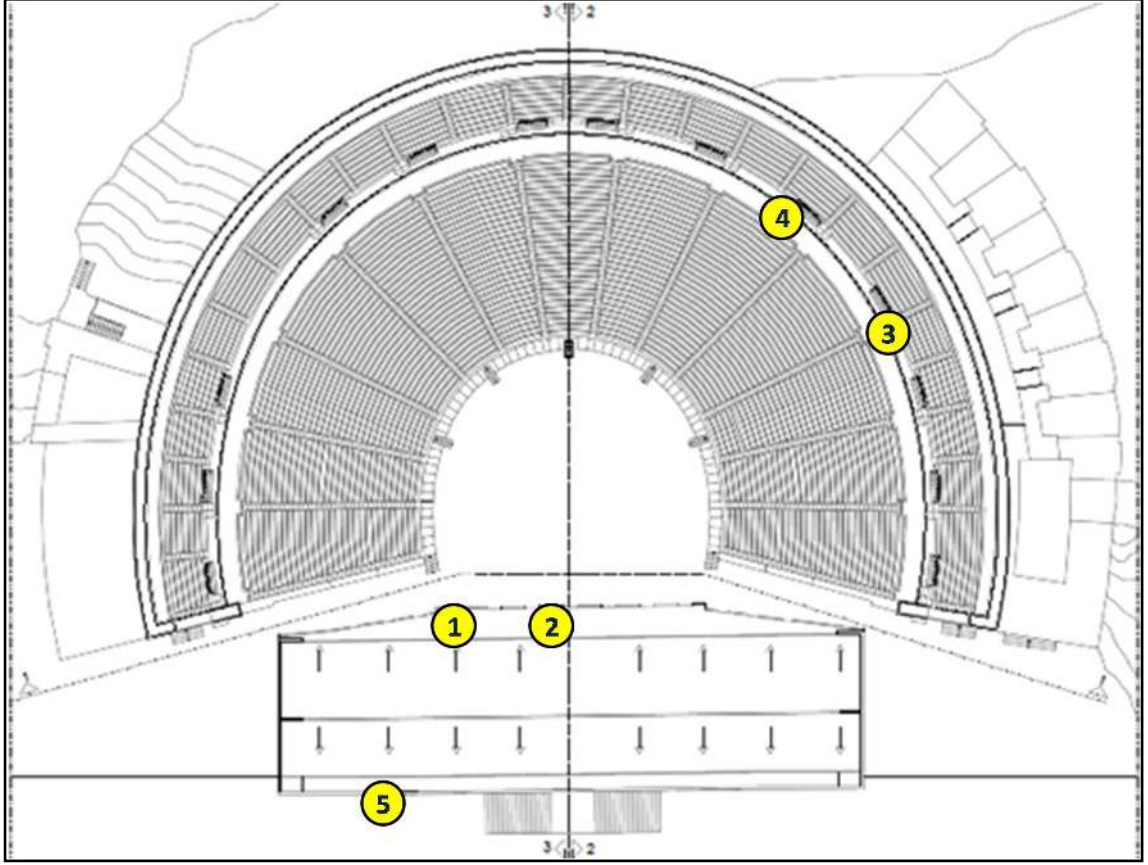
Şekil 3.76. HT6 kodlu tuğla duvar numunesi



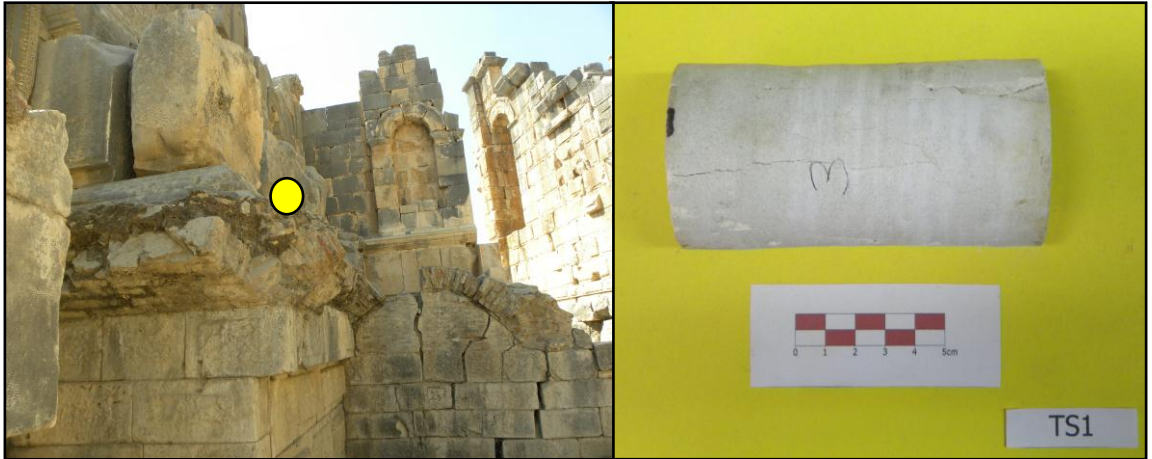
Şekil 3.77. HH7 kodlu tuğla duvar harcı numunesi



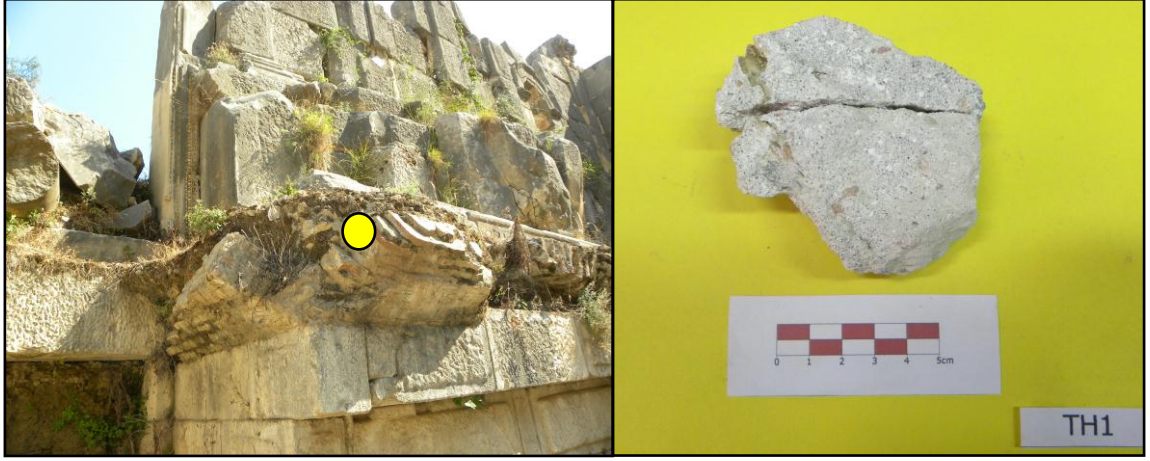
Şekil 3.78. Tiyatro hava fotoğrafı 2012 numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.79. Tiyatro planında numune yerleri (Myra-Andriake kazı arşivi)



Şekil 3.80. TS1 kodlu taş numunesi



Şekil 3.81. TH1 kodlu tuğla kemer harcı numunesi



Şekil 3.82. TT1 kodlu tuğla kemer numunesi



Şekil 3.83. TH2 kodlu tuğla kemer harcı numunesi



Şekil 3.84. TH3 kodlu taş duvar harcı numunesi



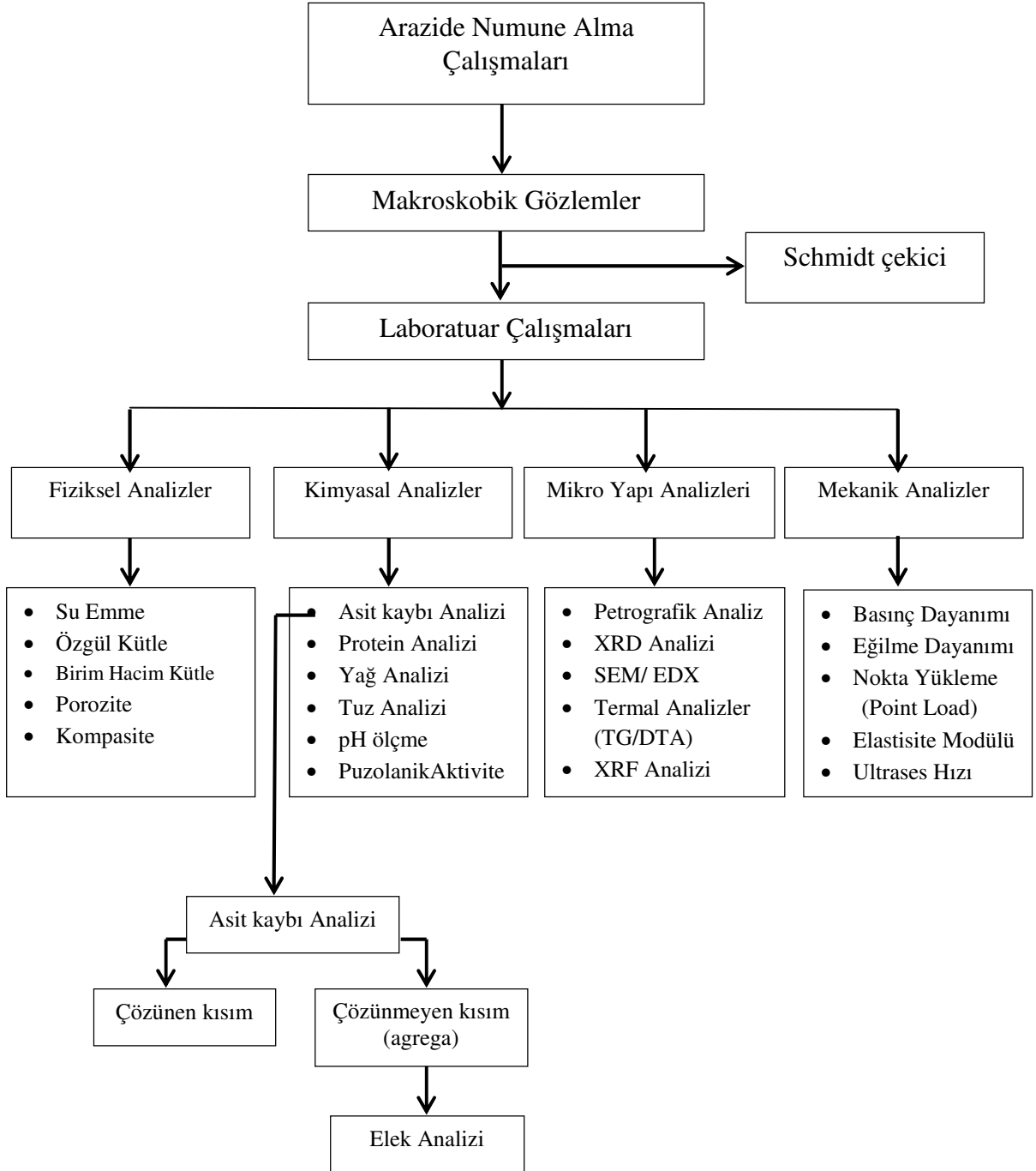
Şekil 3.85. TH4 kodlu taş duvar harcı numunesi



Şekil 3.86. TH5 kodlu taş duvar harcı numunesi

3.2. Metot

Tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş gibi malzemelerin özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan deneysel çalışmaların akış şeması çıkarılmıştır (Şekil 3.87).



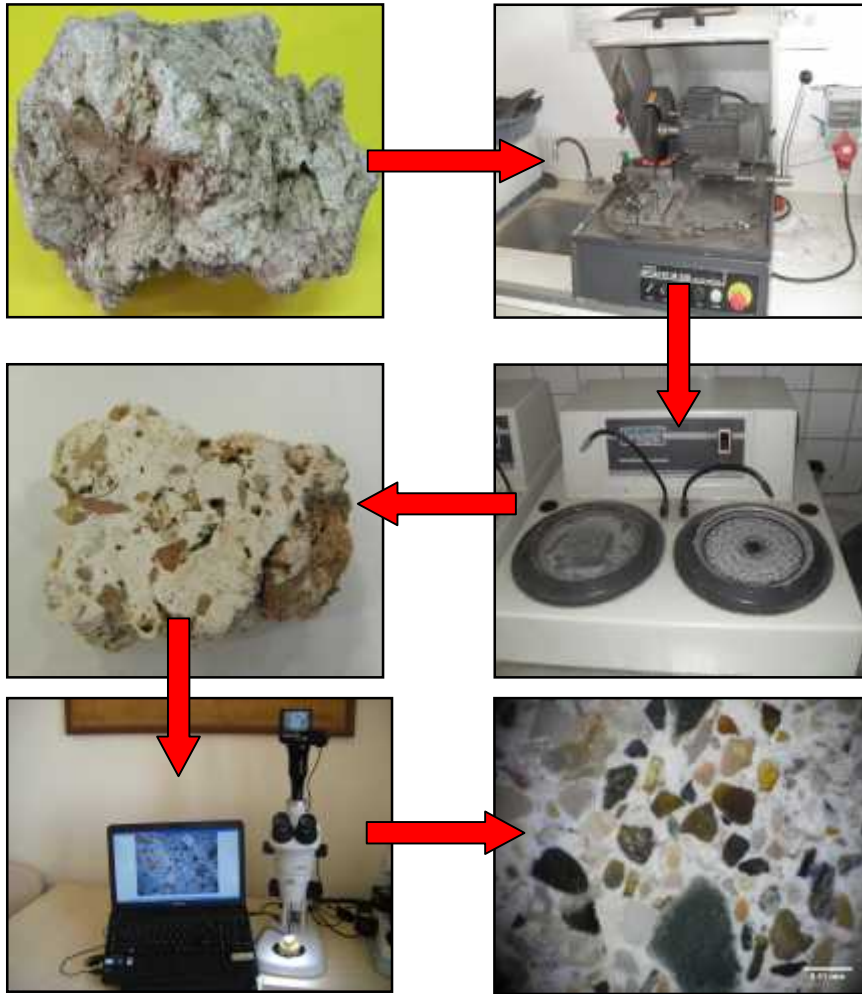
Şekil 3.87. Tarihi yapı malzemelerine uygulanan deneylerin akış şeması

Öncelikle arkeolojik bilgiler, saha çalışması yardımları ile yerleri belirlenen numuneler, çekiç-keski yardımı ile tarihi dokuya zarar vermeden alınmıştır. İlk olarak makroskobik gözlemler ile malzemelerin şekli, boyutu, sertliği, bileşenleri, rengi, dokusu, yoğunluğu, katmanları incelenmiş, fotoğraflama çalışmalarıyla numune alınan yerler ve numuneler makro ve mikro ölçekte belgelenmiştir. Numuneler tek tek kodlanarak, analizlere uygun numuneler hazırlanıp deneysel çalışmalara başlanmıştır. Yapılması düşünülen deneyler öncesinde, numunelerin genel yapısını anlamak amacı ile alınan yapı malzemeleri temizlenerek yüzeyleri parlatılmış olarak mikroskop altında incelenmiştir. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler başlıca dört farklı grupta toplanmıştır. Bunlar kimyasal, fiziksel, mikroyapı ve mekanik analizlerdir. Deney grupları içinde yapılan alt deneyler ve izlenen metot Şekil 3.87’de akış şeması şeklinde gösterilmiştir.

3.2.1. Makroskopik gözlemler

Yapılacak çalışmaların işlem sırasına bakıldığında, laboratuara getirilen numuneler ilk olarak basınçlı hava ve fırça yardımıyla çevresel kirliliklerden temizlenmelidir. Daha sonra temizlenen numunelerden yapılması düşünülen analizlere uygun büyüklükte ve özellikte parçalar seçilmelidir. 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 amacı ile parlatılmış yüzeyler stereo mikroskop altında gözlemlenerek numuneler incelenmelidir. Numunelerin şekli, boyutu, sertliği, bileşenleri, rengi, dokusu, minerallerin cins ve boyutu, boşluk ve çatlakları, varsa bağlayıcı malzemeler, yoğunluğu, katmanları incelenmelidir. Stereo mikroskoba bağlı fotoğraf makinesi yardımıyla görüntü alınmalıdır. Bu çerçevede laboratuara getirilen numunelerden parlatılmış yüzey elde etmek maksadıyla seçilen parçalar, önce Metacut-M250 serisi kesme cihazı yardımıyla sulu kesime tabi tutulmuştur. Ancak özellikle harç numuneleri zayıf bir yapıda olduğundan kesim esnasında harcın dağılmasını önlemek için çaba sarfedilmiş ve oldukça zorlanılmış, bazı numunelerde kesme işlemi yardımıyla yüzey düzgünleştirme, parlatma cihazı ile yapılmıştır. Harç numunelerinden ince kesit alınarak

mikroskop altında incelenmek istenmiş ancak iki numune (GH2-GH4) dışında, harcın dağılması sebebiyle ince kesit alınamamıştır. Bu nedenle parlatılmış yüzey tercih edilerek stereo mikroskop altında numuneler incelenerek görüntüleri alınmıştır. Kesme işlemi sonrasında düzgünleştirilen yüzeyler, Buehler- Metaserv Grinder Polisher marka cihaz vasıtasıyla dönen disk üzerinde zımpara tozu, gümüş tozu yardımıyla parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler Nikon SMZ 745 T marka görüntüleme aparatlı trinoküler stereo-mikroskop yardımıyla incelenerek görüntüleri alınmıştır (Şekil 3.88). Mikroskop ile inceleme sonunda malzemelerin genel yapısı, şekli, rengi, dokusu, bileşenleri, minerallerin cins ve boyutu, boşluk ve çatlakları, harçlarda bağlayıcı malzemeler, yoğunluğu, katmanları belirlenmiştir. Daha sonra yapılan mikro yapı analizleri (SEM/EDX, XRD) ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.88. Mikroskop çalışmaları için numune hazırlama yöntemleri

3.2.2. Fiziksel analizler

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

3.2.2.1. Su emme oranı (kütlece-hacimce)

Boşluklu bir malzemenin, su içinde kalması ya da su ile temas halinde olması durumunda dışa açık boşlukları oranında bir miktar su emer. Malzemenin kütlece ve hacimce su emme oranı dışa açık boşlukları ifade eder. Su emme oranının belirlenmesi malzemelerin mekanik özellikleri ve donma-çözölmeye karşı dayanıklılığı açısından önemlidir. Numunelerin kütlece ve hacimce su emme oranlarının belirlenebilmesi amacıyla su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. TS EN 1936 standardı esas alınarak yapılan deneyde, daha önce temizlenen 20-50 gr arasındaki numuneler etüvde 60°C’de 48 saat kurutulur. Desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulup 0.1 gr hassasiyetinde terazi ile tartılarak etüv kurusu ağırlığı belirlenir (W_{Silk}). Su dolu bir kaba numune yerleştirilerek, su miktarı numunenin en az 2 cm üzerinde olacak şekilde suda 48 saat bekletilir. Sudan çıkarılarak numunenin yüzeyi kurulanıp havada tartılır. Bulunan değer numunenin suya doymuş ağırlığıdır (W_{Sd}). Numuneler Arşimet terazisi ile su içinde tartılır ve ağırlıkları kaydedilir (W_{Si}). Aşağıdaki formüller yardımıyla örneklerin kütlece su emme değerleri (3.1) ve hacimce su emme değerleri (3.2), (3.3) hesaplanmıştır.

$$S_k = \frac{W_{Sd} - W_{Silk}}{W_{Silk}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$S_h = \frac{W_{Sd} - W_{Silk}}{W_{Sd} - W_{Si}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$S_h = S_k \times \quad (3.3)$$

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 doymun haldeki numunenin havadaki ağırlığı,
 W_{Si} = Suyu doymun haldeki numunenin su içindeki ağırlığı,
= Birim hacim kütle (görünür yoğunluk)'dir.

3.2.2.2. Birim hacim kütle (görünür yoğunluk)

Bir cismin kütesinin, boşluklar dahil doğal haldeki hacmine oranına o cismin birim hacim kütle denir. Cismin birim hacim kütesinin değerinun düşük olması o cismin gözenekli bir yapıda olduğunu gösterir. Birim hacim kütle fazla olan cisimlerin poroziteleri ve su emme değeri de düşük, özgül kütleleri yüksektir. Alınan numunelerin şekli düzgün olmadığından birim hacim kütle su emme deneyinden yararlanılarak yapılmıştır. Numuneler değışmez kütleye ulaşınca kadar kurutulmuş, su emme deneyinde ölçümlenen suya doymun haldeki havadaki ağırlığı ve su içerisindeki ağırlık değeri kullanarak (3.4) birim hacim kütle hesaplanmıştır (TS EN 1936).

$$= \frac{W_{Silk}}{W_{Sd} - W_{Si}} \quad (3.4)$$

Bu bağıntıda;

= Birim hacim kütle (Görünür yoğunluk),

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

W_{Sd} = Suyu doymun haldeki numunenin havadaki ağırlığı,

W_{Si} = Suyu doymun haldeki numunenin su içindeki ağırlığı'dır.

3.2.2.3. Özgül kütle (gerçek yoğunluk)

Bir cismin içinde boşluklarının bulunmadığı durumdaki birim hacim kütesine o cismin özgül kütle denir. Bir malzemenin özgül kütle ile birim hacim kütle birbirine eşitse bu malzemenin boşluksuz olduğu anlamı taşır. Taş, tuğla, harç, gibi gözenekli yapı malzemelerinde özgül kütle ile birim hacim kütle arasında bir fark vardır. Bu fark malzemedeki doluluk-boşluk oranının belirlenmesini sağlar. Malzemeler boşluklu yapıya sahip oldukları için özgül kütleleri piknometre yöntemi ile tespit edilmiştir. Belirli bir miktar öğütölmüş malzeme 100 m elekten elenerek tartılmıştır ve

G_k değeri kaydedilmiştir. Su dolu piknometre ve ağzına hava aldırılmadan yerleştirilen kapak tartılmıştır (G_{k1}). Daha sonra piknometre içerisinden bir miktar su dökülüp, öğütülmüş malzeme eklenmiştir. Piknometre tekrar su ile doldurulup, kapak ile birlikte tartılmıştır (G_{k2}). Bu değerlerle numunelerin hacimleri (3.5a) bulunduktan sonra malzemelerin gerçek yoğunlukları hesaplanmıştır (3.5b).

$$G_k + G_{k1} = G_{k2} + V \quad (3.5a)$$

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

$$\delta = \frac{G_k}{V} \quad (3.5b)$$

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).

3.2.2.4. Porozite-kompasite

Porozite, bir malzemede bulunan tüm boşlukların hacminin, bütün hacmine oranıdır. Porozite, malzemenin birçok fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkilidir. Bu değer küçük olması, malzemenin az boşluklu olduğunu, büyük olması ise malzemedeki boşluk oranının fazla olduğunu gösterir. Porozitenin artması birim hacim kütlesinin azalmasına neden olur. Kompasite ise, bir malzemenin dolu kısmın hacminin tüm hacmine oranıdır. Cismin porozitesinin boşlukların hacminin tüm hacmine oranı olduğu düşünüldüğünde porozitesinin ve kompasitesinin toplamı malzemenin bütün hacmini vereceğinden bu toplam daima 1 değerini verecektir.

Birim hacim kütle (görünür yoğunluk) ve özgül kütle (gerçek yoğunluk) yardımıyla numunelerin kompasite değerleri (3.6) hesaplanmış, bulunan kompasite değerleri yardımıyla malzemelerin porozite oranları tespit edilmiştir (3.7).

$$\text{Kompasite (k)} = \frac{\Delta}{\delta} \times 100 \quad (3.6)$$

$$\text{Porozite (p)} + \text{Kompasite (k)} = 1 \quad (3.7)$$

Bu bağıntılarda;

k = Numunenin doluluk oranı (kompasite) (%)

p = Numunenin boşluk oranı (porozite) (%)

= Birim hacim kütle (Görünür yoğunluk)

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

3.2.3. Kimyasal analizler

Tarihi yapılardan alınan numunelerin, birçok kimyasal analiz (asit kaybı, tuz, pH, protein, yağ, iletkenlik) ile bileşenleri belirlenebilir.

3.2.3.1. Asit kaybı ve elek analizi

Asit kaybı analizi harçlarda bağlayıcı, ince agrega, iri agregayı ayırmak ve bağlayıcı kireç miktarını hesaplamak için yapılır. Bu analiz mikroskopik ve mineralojik analizlerle birlikte değerlendirilmelidir. Harcın orijinal bileşenlerinde agrega ve kireç bağlayıcı birbirinden kolayca ayrılmaz. Bağlayıcı ve agregayı ayırmak için harç örneğinin seyreltilmiş asitte bağlayıcısının reaksiyona girmesiyle ayrılması sağlanır. Asit kaybı analizinin en önemli sonucu bağlayıcı asitte çözülürken, silisli agreganın asitten etkilenmemesidir.

Tarihi yapılardan alınan kireç harcı numuneleri kırılıp toz hale getirilmiş, etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Her bir numuneden 50 gr tartılmış, beher içine konulan toz numuneler, %10 oranında seyreltilmiş HCl asit ile 60 dakika karıştırıldıktan sonra ilk ağırlığı kaydedilmiş filtre kağıdından süzümüştür (Şekil 3.89). Beherin dibinde reaksiyona girmeden kalan kısım korunarak, asitten temizlenene kadar damıtılmış su ile yıkanıp süzümüştür.



Şekil 3.89.Tarihi harç numunelerde yapılan asit kaybı deneyi

Asit ile tepkimeye girmeyen ve filtre kağıdının üzerinde kalan kısım etüvde kurutularak asitteki kayıp oranı belirlenmiştir. Harcın içinde kullanılan agregada bağlayıcı malzemeye benzer katkıları olabilir, bunların tespiti için XRD ve petrografik analizler yapılır. Çözünen silikaların tespiti için sodyum karbonat içinde kaynatma yöntemi de uygulanabilir. Analiz neticesinde bulunan sonuçlardan bağlayıcı/agrega oranı, ince/iri agrega yüzdesi tespit edilir. Numunelerin içerdiği agregaların tane boyutu dağılımlarını belirlemek için elek analizi yapılır. Asit kaybı analizi yapılan numunede çözünmeden kalan kısım agregadır. Bu analizden sonra agrega kurutulur, mikroskopla agreganın renk, şekil gibi genel özelliklerine bakılarak daha sonra elek analizi yapılır. Kuru agrega tartılır ve büyükten küçüğe göre sıralanmış 125 m, 250 m, 500 m, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm göz açıklığındaki eleklerden en üstteki eleğe dökülerek her elek üzerinde kalan agrega miktarı tartılarak belirlenir. Elekten geçen malzeme yüzdesi bulunarak logaritmik olarak diyagramda gösterilir ve buna göre tane boyutu dağılım eğrisi (granülometri eğrisi) çizilir. Agreganın granülometri eğrisi, harç agregasıyla ilgili bilgi verir. Örneğin miktarına bağlı olarak maksimum tane boyutunu gösterir. Onarım harcı hazırlanmasında granülometri eğrisinden faydalanılır.

3.2.3.2. Tuz analizleri

Malzemedeki bozulma, malzemenin kendisi, su, atmosferin ya da suyun içerisindeki kirlenici bileşikler ve mikroorganizmalardan kaynaklanmaktadır. Bozulma bu bileşenlerin arasındaki reaksiyonla ortaya çıkan suda çözünen tuzlardır. Yapının yeri

ya da çevresel etkiler nedeniyle tuzların varlığı, malzemeye penetrasyonla girmesi ya da malzeme içinde fiziksel, kimyasal değişmelerle oluşabilir. Bu çalışmada incelenen numuneler, mümkün olduğunca yağmur suyuyla yıkanmış yüzeyden değil, iç kısımlardan alınmıştır. Malzemelerde bozulmalara neden olan tuzların numuneler içerisindeki varlıklarının tespit edilebilmesi için klorür, nitrat, sülfat ve karbonat iyonları tespitlerini kapsayan tuz analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tuz analizleri için öncelikle stok çözelti hazırlanmıştır. Bunun için tuz analizlerinde kullanılacak toz haline getirilen 1 gr harç numunesi üzerine 100 ml saf su konularak malzeme 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.90). Böylece numune içeriğinde bulunan suda çözünebilir tuzlar saf su içerisinde iyon haline getirilir. 24 saat sonunda katı (çökelti) ve sıvı kısım (stok çözelti) ayrılmıştır. Katı (çökelti) kısmın test tüpünün dibinde kalıp, çözeltinin berrak olması gerekmektedir. Stok çözeltisinde klor, sülfat, karbonat ve nitrat gibi suda çözünen tuzların bulunma oranları belirlenmiştir. Stok çözelti kullanılarak aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu analizler göreceli olarak ölçülür ve tabloda +, - olarak gösterilir. Analizlerde tespit edilen tuzların miktarı fazla ise + miktarı da artırılır.



Şekil 3.90. Tuz analizi için hazırlanan stok çözelti

Klorür analizi Cl^- :

Klor, malzeme içerisinde genelde sodyum klorür (NaCl) veya kalsiyum klorür (CaCl_2) olarak bulunur. Malzeme bünyesine, deniz suyundan, harçlarda kullanılan bazı agregalardan, endüstriyel atıklar da havada gaz haline gelerek hidroklorik asit (HCl) olarak girerler (Velosa vd 2007).

Tuz analizleri için hazırlanmış stok çözeltiden 2 ml alınarak test tüpüne konulmuştur (Şekil 3.91). Üzerine 1 damla nitrik asit (HNO_3) ve 1–2 damla gümüş nitrat (AgNO_3) damlatılmış, test tüpünde beyaz çökeltme olup olmadığı gözlemlenmiştir (3.8). Beyaz çökeltme, malzeme içerisindeki Cl^- varlığını göstermektedir (Borrelli 1999).



Cl^- = Çözeltideki klorür iyonu

AgNO_3 =Gümüş nitrat

AgCl =Gümüş klorür (beyaz çökelek)

NO_3^- = Nitrat iyonu

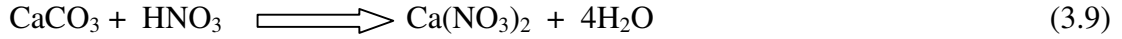


Şekil 3.91. Klorür analizi

Nitrat analizi NO₃⁻ :

Yapıda genellikle atmosferik kirlilik veya tarımsal atıklar yolu ile nitrat oluşur. Azot oksitler nitrik asiti oluştururlar. Yapı bünyesine giren nitrik asit kalsiyum nitrata dönüşmektedir (3.9).

Tuz analizleri için hazırlanmış stok çözeltiden 1-2 damla, saat camına damlatılmış, üzerine 1 kristal difenilamin eklenerek karıştırılmış ve laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan çözelti üzerine bir damla konsantre sülfürik asit (H₂SO₄) damlatılarak mavi-mor renk oluşumu gözlemlenmiş (Şekil 3.92) ve renk değişimi nitrat varlığını göstermektedir (Borrelli 1999).



CaCO₃ =Kalsiyum karbonat

Ca(NO₃)₂ =Kalsiyum nitrat

HNO₃ =Nitrik asit

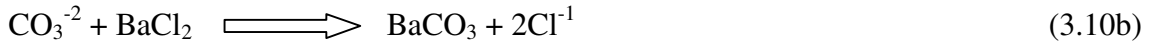
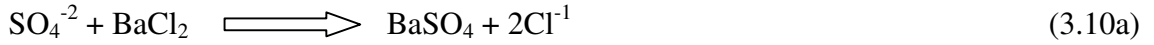


Şekil 3.92. Nitrat analizi

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

Sülfatlar yapıya kapilarite ile girerler. En önemli sülfat kaynağı ise atmosferik kirliliktir. Bunun dışında yapı bünyesinde, tarımsal atıklar, deniz suyu, restorasyonlarda kullanılan alçı, portland çimentosu da sülfat varlığına neden olurlar.

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 (3.10a,b). 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 (Şekil 3.93). Üzerine 1-2 damla HCl asit damlatıldıktan sonra gaz çıkışı ve beyaz çökeleğin varlığı gözlenmiştir (3.11). Sadece beyaz çökelek olması sülfatın, beyaz çökeleğin tamamının kaybolması sadece karbonatın, hem çökelme hem gaz çıkışının olması sülfat yanında karbonatın varlığını göstermektedir (Borelli 1999).

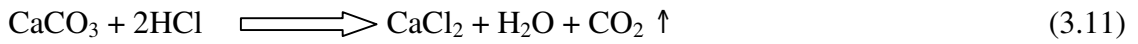


SO_4^{-2} = Çözeltideki sülfat iyonu

BaCl_2 = Baryum klorür

BaSO_4 = Baryum sülfat (beyaz parçacıklar)

2Cl^{-1} = Klor iyonu



CaCO_3 = Kalsiyum karbonat (katı faz)

HCl = Hidroklorik asit

CaCl_2 = Kalsiyum klorür (sıvı faz)

CO_2 = Karbondioksit gazı



Şekil 3.93. Sülfat ve karbonat analizi

3.2.3.3. 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.

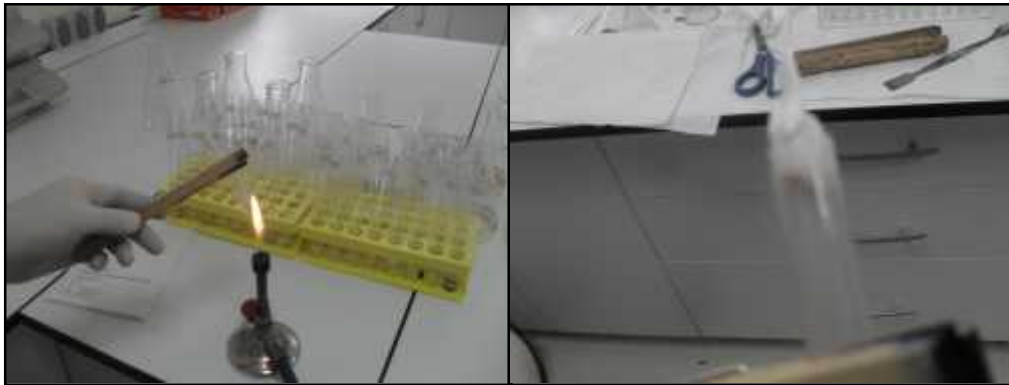
Malzemelerin pH'ını belirlemek için HQ40d model multimetre kullanılmıştır. Kalibrasyon yapıldıktan sonra malzemelerin pH analizleri yapılmıştır (Şekil 3.94).



Şekil 3.94. pH analizi

3.2.3.4. Protein analizi

Malzemelerde proteinin varlığı genellikle yumurta, kan, kazein, kıtık, bitki lifleri, hayvan kılları gibi malzemenin içinde bulunan protein esaslı katkı maddelerinden kaynaklanmaktadır. Malzeme içeriğindeki protein varlığının gözlemlenebilmesi amacıyla numuneler toz haline gelecek şekilde öğütülerek elenmiştir. Bir ucu ısıtılarak kapatılmış kapiler tüpe, toz haline gelmiş numuneden 3-5 mm yüksekliğinde olacak kadar doldurulmuştur. Çok ince kesilmiş süzgeç kağıdının tüpün içine gelecek yüzüne, konsantre HCl içinde %5 hazırlanmış paradiaminobenzaldehit çözeltisini emdirerek tüpe yerleştirilmiş ve tüp alt kısmından ısıtılmıştır. Süzgeç kağıdında oluşan pembe-mor renk, malzemede proteinin varlığını göstermektedir (Şekil 3.95).



Şekil 3.95. Protein analizi

3.2.3.5. Yağ analizi

Malzemelerde yağların tespit edilebilmesi için daha önce hazırlanmış toz numuneden saat camı üzerine bir miktar konur. 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 20 dakika sonra numunede kalıcı sabun kabarcıkları yağ varlığını göstermektedir. Kabarcıklar geçici ise yağ yoktur (Şekil 3.96).

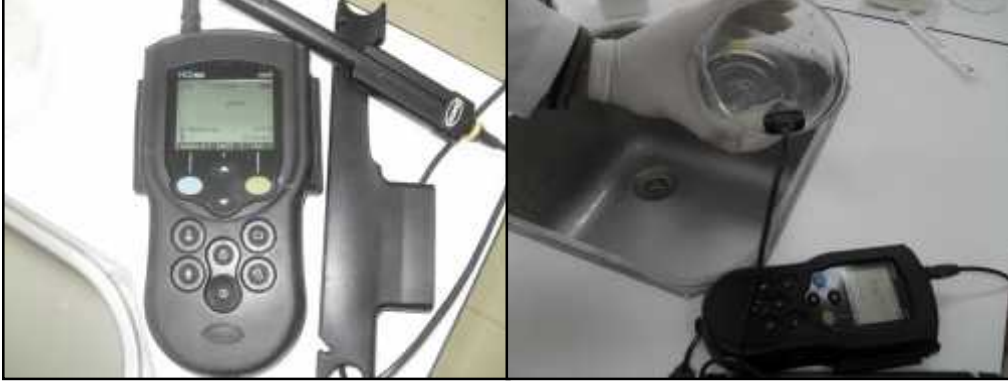


Şekil 3.96. Yağ analizi

3.2.3.6. Puzolanik aktivite ve iletkenlik analizi

Puzolanik aktivite tayininde iki yöntem vardır. Birinci yöntem ilk olarak asit ve baz ataklarıyla karbonat, silikat ve alüminatlar elenir, kalan kısım puzolanın kristal evreleridir, bunlar XRD ile kolayca tespit edilir. İkinci yöntem ise bu çalışmada kullanılan iletkenlik ölçümü ile puzolanik aktivite testidir. İlk olarak doymuş $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çözeltisi hazırlanmış, iletkenlik değeri ölçülmüştür. Sonra malzemenin elek analizinde 100 μm altında kalan kısmı 1gr/50 ml oranında çözeltiye eklenmiş ve iletkenliği ölçülmüştür. Ölçülen iki iletkenlik değeri arasındaki fark, harcın puzolanlık özelliğini vermektedir.

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 (Uğurlu ve Böke 2006). İletkenlik HQ40d model multimetre cihazı yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 3.97).



Şekil 3.97. Pozolanik aktivite ve iletkenlik analizi

3.2.4. Mikro yapı analizleri

Taş, tuğla ve özellikle harç, sıva malzemelerinin, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi yanında mikro yapısal özelliklerinin de tespiti önem kazanır. Onarımda kullanılacak malzeme ile özgün malzemelerin uyumunun araştırılmasında mikro yapı analizleri gerekmektedir. Bu amaçla XRD, SEM/EDX, TG/ DTA, XRF gibi cihaz gerektiren bu ileri teknik analizler; harcın yapısını, dokularını, bağlayıcı, agrega, katkı maddelerinin varlığını, kristal yapıli malzemelerin bileşenlerini, bunların mineralojik yapısını, malzemelerin boyut, biçim, yerleşim düzeni gibi yapısal özelliklerini, bozulmadaki mineralojik evrelerin tespiti, silikatlaşmış bileşiklerin incelenmesi için uygulanır. Bu analizler İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.4.1. SEM-EDX analizi

Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) tekniğı, kaynak olarak ışık yerine elektronların kullanıldığı bir görüntüleme tekniğıdir. Taramalı elektron mikroskobu, görüntülemenin yanı sıra görüntü üzerinde kimyasal analiz yapma olanağı sağlayan bir tekniktir. Mikroskoba bağı olan enerji dağılımlı X-ışınları spektroskopisi (EDX) ve dalgaboyu dağılımlı X-ışınları spektroskopisi (WDX) yöntemleri yardımıyla yarı kalitatif ve kantitatif elementel analizler yapılabilmektedir (Arıkan 2009). Analiz yapılacak numuneler yaklaşık 10 mm kenarlı küp şeklinde kırık yüzey olarak hazırlanmıştır. Numuneler 70°C 'lik etüvde nemi uzaklaştırılarak Emiteck K550X Sputter Coater cihazında 2 dakika altın kaplanmıştır. Numunenin altın veya

karbon iletken tabaka ile kaplı olması SEM analizinde elektrik şarjının alınmasını kolaylaştırır, aksi halde görüntü oluşumu karışır.

Bu çalışmada, Philips XL-30S FEG ve FEI Quanta 250 FEG marka elektron mikroskopları ve bu mikroskoplara bağlı olan EDAX ve Oxford X-ACT modellerde EDX dedektörleri kullanılmıştır (Şekil 3.98). 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 mikroskobu (SEM) ve EDX ünitesi ile numuneler, agrega, bağlayıcı ve agrega-bağlayıcı ara yüzeyleri olmak üzere üç farklı noktada incelenmiştir.



Şekil 3.98. SEM/EDX analizi

3.2.4.2. XRD analizi

X-ışınları difraksiyonu tekniği, kristal yapılarda düzlemler arası mesafeyi hesaplamakta kullanılır. Bu teknik, yapının elementel karakterizasyonundan daha çok mineralojik tanımlanmasına olanak sağlayan bir tekniktir. Bir kimyasal bileşik birden fazla kristal formunda olabileceğinden bu teknik, söz konusu minerallerin fazlarının ortaya konulmasında oldukça faydalıdır (Arıkan 2009). Numuneler öğütülerek tane boyutu 63 μ m'nin altında olacak şekilde toz haline getirilmiştir. Üretilen tozlar üzerinde XRD çekimleri, Phillips X'Pert Pro X-Ray Diffractometer marka cihazla Cu-K α radyasyonu ile 2θ 5-70° açı aralığında gerçekleştirilmiştir (jeneratör 45 kV, 40 mA, dalga boyu (λ) 1.5443 Å (CuK α)) (Şekil 3.99).



Şekil 3.99. XRD analizi

3.2.4.3. XRF analizi

Enerji dağılımlı X ışını floresans analizi (XRF), sıvı, katı, toz her çeşit numunede elementel analiz yapmak için kullanılan en iyi analitik tekniklerden birisidir. Sodyumdan (Na-11) uranyuma (U-92) kadar olan element konsantrasyonlarını ppm seviyesinde yüksek hassasiyetle verebilmektedir. XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi) analizi Spectro IQ II model cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.100). Bu analizle; Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO , SiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , TiO_2 , kızdırma kaybı (%) bulunarak, kimyasal elementlerin cinsi ve bulunma oranları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, numunelerin kimyasal bileşenleri hakkında bilgiler vermektedir. Ayrıca kimyasal analizlerle elde edilen elementlerin konsantrasyonu, harçların hidrolik dereceleri hakkında yararlı bilgiler ortaya çıkarır. Kimyasal analizin verileri kullanılarak, hidrolik indeks ve çimento indeksi hesaplanır. Bu indeksler harçların hidrolik özellikleri için önemlidir. İndeksi en yüksek olan harcın, hidrolik özelliği en yüksektir.

Bu nedenle Hidrolik indeks (HI) ve Çimento indeksi (CI) (3.12) ve (3.13) formüllerinden yararlanılarak hesaplanır (Callebaut vd 2001):

$$HI = \frac{(\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3 + \%SiO_2)}{(\%CaO + \%MgO)} \quad (3.12)$$

$$CI = \frac{(1.1 \%Al_2O_3 + 0.7 \%Fe_2O_3 + 2.8 \%SiO_2)}{(\%CaO + 1.4 \%MgO)} \quad (3.13)$$



Şekil 3.100. XRF analizi

3.2.4.4. Termal analizler

Termal analiz yöntemleri, numuneler üzerine kontrollü olarak ısı uygulanmasına dayanan birçok fiziksel ve kimyasal değişimin belirlenebildiği bir grup teknikten oluşur. Termal analizler, Thermogravimetry (TG), Differential Thermal Analiz (DTA), Differential Scanning Calorimetry (DSC) olmak üzere üç teknikle yapılır. Harç ve sıvaların analizinde kullanılan en yaygın iki yöntem, diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik analiz (TG)'dir. DTA, ölçüm altındaki numuneye ve referans numunesine aynı koşullarda ısı program uygulayan ve ikisi arasında gelişen sıcaklık farkını ölçen bir tekniktir. Bu yöntem yardımı ile sıcaklık farkındaki değişimin zamana veya sıcaklığa göre grafikleri çizdirilebilir. Bu sayede, ısı işlem sırasında sürecin endotermik veya ekzotermik olup olmadığı ve derecesi, reaksiyonların gerçekleşme süresi ve sıcaklık aralığı belirlenebilir. DTA eğrisinde, yukarı doğru pikler gerçekleşen reaksiyonun ekzotermik, aşağı doğru pikler ise endotermik olduğunu gösterir.

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).

TG/DTA analizi ile malzemelerin sıcaklığa bağılı olarak kütle değişimleri, aktivasyon enerjileri, kristalleşme sıcaklıkları, camsı geçiş sıcaklıkları, erime ve kaynama sıcaklıkları, öz ısı, reaksiyon kinetiği, ısıl kararlılık gibi termal özellikleri incelenebilmektedir.

Termal analizler Perkin Elmer Diomand TG/DTA model cihazla yapılmıştır (Şekil 3.101). Termal analiz toz halindeki numunelerin nitrojen gazı ile dakikada 10 °C ısıtma oranı ile 30-1200 °C arasında ısıtılması ile yapılır.



Şekil 3.101. TG/DTA analizi

3.2.5. Mekanik analizler

Malzemelerin mekanik özelliklerinin tayini için numunelerin durumuna göre (bazı durumlarda tarihi yapıdan yeterli miktarda veya istenen büyüklükte numune almak mümkün olamaz. Taş ve tuğladan gerekli büyüklükte yeterli numune alınabilse bile harç ve sıvalar genellikle zayıflamış oldukları için teknik olarak bu numunelerde belirli boyutta ve düzgün numune gerektiren deneyler çoğunlukla yapılamaz), tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı deneyi, basınç dayanımı deneyi, statik elastisite modülü tayini deneyi, ultrases deneyi, nokta yükleme deneyi, Schmidt çekici gibi deneyler yapılmıştır,

3.2.5.1. Nokta yükleme deneyi

Harç numunelerin standart boyutlarda olmaması nedeniyle tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılamadığından nokta yükleme (point-load) deneyi tercih edilmiştir. Standart nokta yükleme aleti; yükleme sistemi, yük göstergesi, gövde, konik başlıklar, deney esnasında konik başlıklar arasındaki uzaklığı ölçen cetvelden oluşur. Ayrıca, örneğin boyutlarını ölçebilmek için kolları yeterli uzunlukta 0.1 mm yaklaşımla ölçüm yapabilen kumpas gereklidir (TS 699, 2009). 30-85 mm arasında kalınlığa sahip olan düzensiz şekillerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında kullanılan bu yöntemde, konik sivri uçlu nokta yük aletinin iki deney başlığı arasına yerleştirilen numuneler hidrolik el pompası ile verilen yükle kırılmış ve kırılan yük göstergeden okunmuştur. Gerekli değerler okunarak düzeltilmemiş nokta yük indeksi hesaplanmıştır (3.14a,b,c). Numunelerin farklı kalınlıklarda olması nedeniyle “boyut düzeltme faktörü” yardımı ile düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (3.15a,b) hesaplanmıştır. K değeri için, zayıf kayalar için geçerli olan 10,6471 değeri esas alınmıştır (Tunçoku, 2001). Bu değerle, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi çarpılarak eşdeğer tek eksenli basınç dayanım değeri bulunmuştur. Bu deney Yüksel Kaya Makina CAS CI-1580A Indicator model cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.102).

$$I_s = P / D_e^2 \quad (3.14a)$$

$$A = W.D \quad (3.14b)$$

$$D_e^2 = 4A / \pi \quad (3.14c)$$

I_s : Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)

P : Kırılma yükü (kN)

D_e : 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)

$$I_{s(50)} = F. I_s \quad (3.15a)$$

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (3.15b)$$

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)

F : Boyut düzeltme faktörü



Şekil 3.102. Nokta yükleme (point-load) deneyi

3.2.5.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Tuğla ve onarım harçlarında eğilmede çekme dayanımı deneyi uygulandıktan sonra ikiye bölünen numunelerde, tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Her bir yarım numune, deney presinin yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yük uygulanmıştır (Şekil 3.103). Yüklemeye sabit bir hızla ve darbe etkisi yapmayacak şekilde numune kırılıncaya kadar devam edilmiş ve kırılmanın olduğu anda, deney presinin gösterdiği en büyük yük kaydedilmiştir. Bu değer, kırılma yükü (P) değerini vermektedir. P değeri (3.16) numaralı bağıntıda yerine konularak, deneyi yapılan numunenin dayanabildiği maksimum basınç dayanımı bulunmuştur. Taş numunelerden silindir karot alınarak bu numune üzerinde tek eksenli basınç dayanımı ve gerilme-şekil değiştirme ölçülerek elastite modülü hesaplanmıştır. Deneyler Yüksel Kaya Makina 2000 kN kapasiteli basınç presinde, gerilme şekil değiştirme, bu prese bağlı TestBOX-1001 veri toplama sistemi ve TestLAB-Basic veri toplama yazılımı yardımıyla yapılmıştır (Şekil 3.104).

$$\sigma = P/A \quad (3.16)$$

Bu bağıntıda;

σ : Basınç dayanımı, (MPa)

P: Kırılma yükü, (kN)

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



Şekil 3.103. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (tuğla ve onarım harçlarında)



Şekil 3.104. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (taşlarda)

3.2.5.3. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Tuğla, onarım harçlarında eğilmede çekme dayanımını belirlemek için orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile deney yapılmıştır. TS EN 1015-11'e göre mesnetler arası mesafe 100 mm olan 40 x 40 x 160 mm boyutlarındaki deney numunesi, mesnetler üzerine ortalanacak şekilde yerleştirilmiştir. Kırılmanın olduğu andaki F yükü presin göstergesinden okunmuştur. Okunan P yükü, (3.17) numaralı bağıntıda yerine konarak eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Deneyde ELE model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.105).

$$f = 1.5 \frac{P \times L}{b \times d^2} \quad (3.17)$$

Bu bağıntıda;

f : Eğilmede çekme dayanımı, (MPa)

P : Numuneye uygulanan en büyük yük, (kN)

L : Mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafe, (100 mm)

b : Numune genişliği, (40 mm)

d : Numune yüksekliği, (40 mm)'dir.



Şekil 3.105. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

3.2.5.4. Ultrases deneyi

Sesin sağlıklı genç kulak tarafından duyulabilen titreşimi; 16–16000 Hz arasındadır. Frekansın 16000 Hz'in üzerine çıkması durumunda kulakla duyulmayan ve ultrases denilen ses dalgaları oluşmaktadır. Boşlukta ilerlemeyen bu dalgalar gaz, sıvı veya katı halde bulunan bir cismin içinde belirli bir hızla yayılırlar. Bu hız malzemenin cinsine ve bünye yapısına bağlı olarak değişir. Ultrases dalgaları, doğrultuları üzerinde bir boşluğun bulunması halinde bu boşluğu geçemeyerek çevresini dolaşırlar. Bu durum sesin malzemenin bir ucundan diğer ucuna ulaşması için geçen süreyi arttırır, bir başka deyişle malzeme içindeki ses hızı düşer. Ses geçiş hızı (V_u , km/sn) ölçüm yapılan uzaklığın (L , mm), doğrudan veya dolaylı yöntem ile ölçülen (Şekil 3.106a,b) ses geçiş süresine (T , s) oranlanması ile belirlenir.



Şekil 3.106a Ultrases doğrudan ölçüm

Şekil 3.106b Ultrases dolaylı ölçüm

Boşluklu bir malzemede ses geçiş hızının bilinmesi malzemenin içerdiği boşluk miktarı hakkında bilgi verir. Malzemenin içinde bulunan boşlukların, mukavemeti olumsuz olarak etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle ses geçiş hızı ile mukavemet arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Bu yolla yapıyı tahrip etmeden tanımak ve özellikleri hakkında bilgi edinmek mümkündür (Akbulut-Ekşi 2006). Ultrases hızlarının belirlenmesi için Proceq Pundit Lab 54 kHz modeli ultrases cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile numunelerin iki ucuna cihazın alıcı (R) ve verici (T) propları yerleştirilerek doğrudan ses geçiş süresi (T, sn) ölçülmüş, numunelerin uzunlukları (L, mm) dikkate alınarak (3.18) numaralı bağıntı yardımı ile ses geçiş hızları (V_u , km/sn) hesaplanmıştır. Yüzeylerde boşluğu önlemek için alıcı ve verici proplar ile malzemenin arasına ince bir katman halinde gres, vazelin gibi bir jel sürülmelidir. Bu deneyde, TS EN 14579 standartından yararlanılmıştır (Şekil 3.107).

$$V_u = \frac{L}{T} \quad (3.18)$$

Bu bağıntıda;

V_u =Ultrases hızı, (km/sn)

L= Numunenin uzunluğu, (mm)

T= Zaman (sn)'dir.

Malzemenin yoğunluğu düşük ise ve/veya bünyesinde çatlaklar var ise ses dalgalarının yayılımı ve dolayısıyla ses geçiş hızı düşük olur. Süre ne kadar az ise boşluk o kadar az, malzeme o kadar kalitelidir. Ses geçiş hızının yüksek olması, boşlukların az, dolayısıyla dayanımın yüksek olduğu anlamına gelir; ancak bu deney

malzemenin dayanımının belirlenmesi için tek başına yeterli değildir. Diğer ölçümlerle birlikte değerlendirilmelidir.



Şekil 3.107. Ultrases deneyi

3.2.5.5. Elastisite modülü tayini

Bir malzemenin dinamik elastisite modülü; birim hacim kütle ve ultrases hızının bilinmesiyle hesaplanır. Proceq Pundit Lab 54 kHz modeli ultrases cihazı yardımı ile tuğla ve onarım harçlarında ultrases hızları ile numunelerin birim hacim kütle değerleri kullanılarak (3.19) nolu bağıntı ile dinamik elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır (TS EN 14146).

$$E_d = (V_u^2 \times \rho \times 10^4) / 9.806 \quad (3.19)$$

V_u = Ultrases hızı, (km/sn)

ρ = Birim hacim kütle (görünen yoğunluk) (gr/cm^3)

E_d = Dinamik elastisite modülü, (MPa)

Ayrıca taş numunelerde gerilme-şekil değiştirme değerleri Yüksel Kaya Makina 2000 kN kapasiteli basınç presine bağlı TestBOX-1001 veri toplama sistemi ve TestLAB-Basic veri toplama yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Elde edilen değerler yardımıyla gerilme-şekil değiştirme eğrisi çizilerek statik elastisite modülü hesaplanmıştır. Dinamik elastisite modülü (E_d), gerilme deformasyon eğrisinden

yararlanılarak belirlenen elastisite modülünden (E) daima büyük değerler göstermektedir.

3.2.5.6. Schmidt çekici deneyi

Tarihi yapılarda kullanılan tahribatsız deney metotlarından birisi olan Schmidt çekici yapının mukavemeti hakkında yaklaşık bir bilgi verir. Bu çalışma da, Proceq schmidt-hammer marka N tipi bir schmidt çekici kullanılmıştır. Bu cihaz, bir yay vasıtasıyla çelik bir bilyeyi numunenin yüzeyine fırlatır. Bilye numunenin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrar, bu sıçrayış değeri kaydedilir (Gülmez 2005). Bu değer, ne kadar büyükse numunenin dayanımı o kadar yüksektir. Deney sonucu, bütün okumaların ortalaması alınarak bulunmuştur. Deney yerinde taş ve tuğla üzerinde uygulanmıştır (Şekil 3.108). Zeminde kullanılan tuğlalarda (ST4, GT2, GT3, GT11 ve KT1) uygulanmamıştır.



Şekil 3.108. Schmidt çekici deneyi

3.2.6. Onarım harcı önerileri

Tez çalışması kapsamında ele alınan sekiz yapıdan alınan harç numunelerinin fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı analizlerinin değerlendirilmeleri sonucu belirlenen özgün malzeme özellikleri göz önüne alınıp, bu yapıların onarımlarında kullanılabilecek günümüz teknolojisinde bölgesel hammadde kaynakları kullanılarak aynı özelliklerde, uygun yeni bir harç karışımı önerilmesidir. Bölgesel hammadde kaynakları araştırılarak özgününe uygun onarım harçları üretilmiş, yeni malzemelerle

Üretilen onarım harçlarının eski harçlara uyumu analiz edilmiştir. Üretilen onarım harçlarının 1, 2, 3 aylık zaman içerisindeki görsel, fiziksel, kimyasal, mekanik, mikroyapı özellikleri değerlendirilerek özgün numuneler ile uyumu karşılaştırılmıştır.

3.2.6.1. Kullanılan malzemeler

Onarım harcı önerilerinin değerlendirilebilmesi için, öncelikle özgün harçların analizleri yapılarak bağlayıcı ve agregalar içerisinde kullanılan hammaddeler tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, bağlayıcıların temel malzemesinin kireç olduğu, dayanımı arttırabilmek amacıyla puzolanın kirece katıldığı, agrega olarak çoğunlukla doğal dere kumunun kullanıldığı grlmştir.

Harç retiminde bağlayıcı olarak kireç, puzolan malzeme olarak silis dumanı, kullanılmıştır. Antalya bölgesinde bulunan kireç ocakları incelendiğinde bu bölgenin hammadde kaynaklarından elde edilen Dirmil Kireç firmasının ürettiği CL 80 S tipi, TS EN 459-1 standartına uygun sndrlmş toz kalker kireci en uygun malzeme olarak belirlenerek onarım harçlarında kullanılmıştır. Kirecin zgl kütlesi 2.50 gr/cm³ tür.

Çizelge 3.3. CL 80 S tipi kirecin kimyasal ve fiziksel zellikleri

Penetrasyon (mm)	2.2
Rutubet (%)	1.5
CaO+MgO aktif (%)	82.31
CO ₂ (%)	4.69
SO ₃ (%)	1.47
+0,2 mm eleküstü (%)	2.2
+0,09 mm eleküstü (%)	6.6
Hacim Değişmezliği (mt<20)	0.07
CaCO ₃ Toplam (%)	8.3
Ca(OH) ₂ (%)	84.83
CaO+MgO Toplam	88.28
Bağıl Su (%)	20.61
Asitte çözünmeyen (%)	0.14

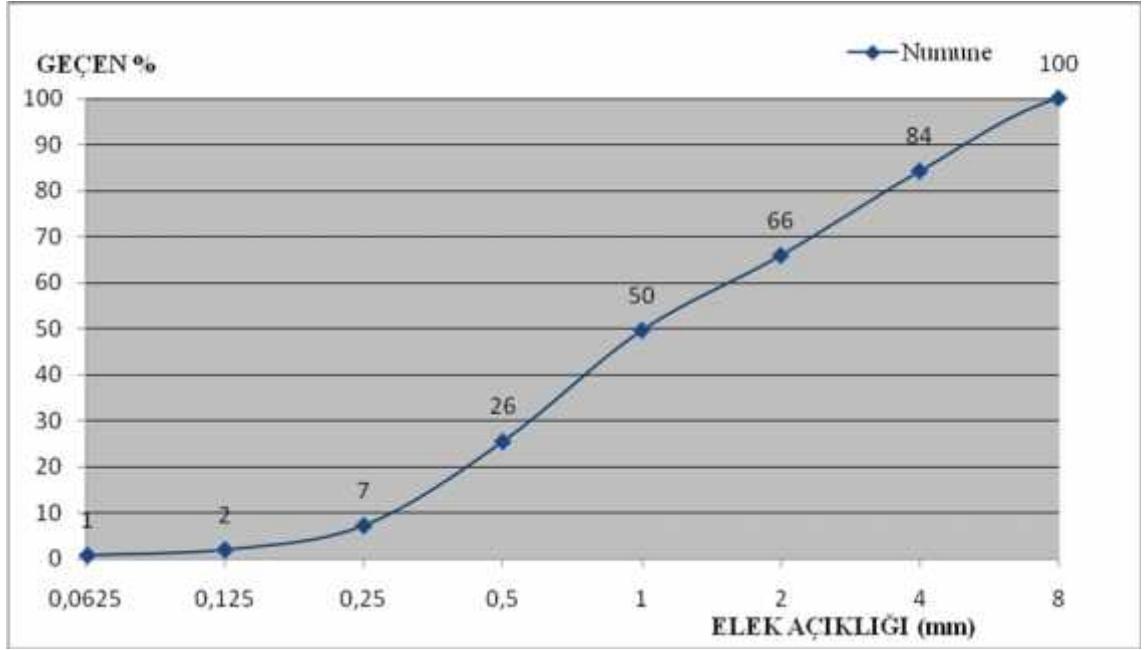
Silisyum ve alaşımlarının üretiminde bir yan ürün olarak elde edilen silis dumanı, küçük boyutlu olması nedeniyle hamur içindeki boşlukları doldurarak dayanımı artırır, geçirimsizliği azaltır. Silis dumanı ferrosilisyum ve silisyum metal endüstrisinin yan ürünüdür. Elektrik ark fırınlarında yüksek saflıkta kuvarsitin, kok kömürü ile redüksiyonu sonucu elde edilir. Yüksek sıcaklıkta gaz haline geçen SiO, fırının düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde veya sisteme ilave edilen kolektörlerde SiO₂ olarak yoğunlaşır. Ani soğuma nedeniyle kristalleşemeyen SiO₂, amorf yapıda, çok küçük küresel taneli, çimentodan 30-100 kat daha ince, bünyesinde %90'dan fazla silisyum dioksit içeren yüzey alanı 220.000-300.000 cm²/gr olan mineral katkı maddesidir (Aköz vd, 1996). Silis dumanı, çok ince boyutlu partikülleri ve çok yüksek özgül yüzeyi nedeni ile yüksek pozolanik aktiviteye sahip bir malzemedir. Silis dumanının özgül kütlesi 2.20 gr/cm³ 'tür. Onarım harcı üretiminde kullanılan silis dumanı, Antalya'daki Etibank Elektrometalurji A.Ş. İşletmesinin tesislerinden temin edilmiştir (Çizelge 3.4). Bacadan alınan toz (%SiO₂=79.94) YH3 serisi harçlarda kullanılmış ancak katılaşma sorunu nedeniyle SiO₂ miktarı daha fazla olan kuleden alınan toz deneylerde kullanılmıştır (%SiO₂=91.92).

Çizelge 3.4. Silis dumanın analiz sonuçları

Alınan Yer	Cr ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	C (%)	S (%)	Kızdırma Kaybı (%)
Kule	0.37	91.92	0.20	0.42	2.06	3.69	0.207	0.067	-
Baca	0.38	79.94	0.41	0.83	2.53	7.68	1.22	0.923	2.96

İncelenen numuneler içerisinde agrega olarak doğal ve kırma agrega kullanıldığı makroskopik incelemelerde görülmektedir. Onarım harcı önerilerinde kullanılmak üzere Demre'de bulunan Demre İnş. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından işletilen Demre çayından çıkarılan doğal dere kumu kullanılmıştır. Agreganın ağırlıkça su emme oranı %1.80 bulunmuştur. Agreganın özgül kütlesi 2.70 gr/cm³ 'tür. Onarım harcında kullanılan agreganın granülometri eğrisi Şekil 3.109'da görülmektedir.

Prizi hızlandırmak amacıyla bir karışımda (YH05) bağlayıcı oranının %3'ü miktarda CaCl₂ kullanılmıştır.



Şekil 3.109. Onarım harcı agregasının granülometri eğrisi

3.2.6.2. Tasarım ve üretim

Tez çalışması kapsamında sekiz yapıdan alınan numuneler incelendiğinde, bu yapılarda kullanılan harçların, bağlayıcı ve agrega içerikleri, bağlayıcı / agrega oranları, mekanik dayanımları gibi özellikleri ile birbirlerine benzerlikleri görülmektedir. Bu nedenle karışım denemeleri için özgül malzeme özellikleri göz önüne alınarak, bağlayıcı/agrega oranı, su miktarı, puzolan miktarı ve işlenebilirlik değerleri belirlenmiştir. Karışım denemelerinden elde edilen verilere göre yeniden dört ayrı karışım (YH03, YH04, YH05, YH06 kodlu) üretilerek belirli sürelerde (1, 2, 3 ay) yapılan deneyler sonucu en uygun onarım harcı (YH06) önerilmiştir.

Agrega karışımından alınan belirli miktarda örnek 24 saat suda bekletilerek agregaların su emme oranları belirlenmiştir. Kireç, silis dumanı ile elde edilen bağlayıcı, harç karıştırma makinesinde (Şekil 3.110) karıştırıldıktan sonra agregalar eklenmiş, karıştırıldıktan sonra oluşan harç, 40x40x160 mm ebatlarında yağlanmış kalıplara dökülmüş ve sarsma tablasında (Şekil 3.111) yerleştirilmiştir. Bir miktar örnek alınarak önce taze harcın birim hacim kütlesi, daha sonra taze harç kıvamının yayılma tablası (Şekil 3.112.) ile tayini gerçekleştirilmiştir (TS EN 1015-3). Numuneler kalıptan

çıktıktan sonra ortalama 20°C sıcaklık ve % 70 bağıl neme sahip laboratuvar ortamında günde 1 kere su ile spreylenecek deney gününe kadar bekletilmiştir (Şekil 3.113.). Numunelerin 1 ay, 2 ay, 3 aylık sürelerde eğilme dayanımı (TS EN 12372), basınç dayanımı (TS EN 1926), ultrases hızı (TS EN 14579) ölçümlenmiştir. Bu süreç sonunda fiziksel analizleri ile birlikte ayrıca mikro yapı analizleri (SEM/EDX, XRD, XRF, TG/DTA) yapılmıştır. Çizelge 3.5’de üretilen dört ayrı karışımın ağırlıkça malzeme oranları verilmektedir.

Çizelge 3.5. Üretilen onarım harçları oranları

Harç Kodu	Malzeme Oranları (Ağırlıkça)					Taze Birim Hacim Kütlesi (gr/cm ³)	Yayılma (cm)
	Agrega	Kireç	Puzolan	Su	CaCl ₂		
YH03	3	0.9	0.1	0.84	-	1.95	23.1
YH04	3	0.9	0.1	0.80	-	1.99	17.0
YH05	3	0.9	0.1	0.80	0.03	2.01	19.2
YH06	4	0.8	0.2	0.80	-	2.09	14.4



Şekil 3.110. Harç karıştırma makinesi



Şekil 3.111. Harç sarsma tablası



Şekil 3.112. Harç kıvam tayini (yayılma tablası)



Şekil 3.113. Üretilen onarım harçları

Ayrıca Myra ve Andriake'ye yakın bir tarihi yapıda (Xsantos) yapılan onarım çalışmalarında kullanılan iki tür harç numuneden (YH01, YH02) alınarak bunlar üzerinde de karşılaştırma yapmak için analizler yapılmıştır. Çizelge 3.6'da onarımda kullanılan iki ayrı karışımın ağırlıkça malzeme oranları verilmektedir.

Çizelge 3.6. Kullanılan onarım harçları oranları

Harç Kodu	Malzeme Oranları (Ağırlıkça)				
	Agrega	Kireç	Hidrolik Kireç	Su	Akrilik Reçine
YH01	3	-	1	0.80	0.08
YH02	2	1	-	0.80	0.08

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Antalya ili içerisinde yer alan Myra ve limanı Andriake’de Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemlerinde yapılmış olan tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş gibi yapı malzemeleri örnekleri alınmış, bu malzemelerin ne tür karakteristik özelliklere sahip olduğu belirlenen deney akış şeması göz önüne alınarak 54 adet numune üzerinde deneysel çalışmalar uygulanmıştır. Ayrıca bölgesel hammadde kaynakları araştırılarak özgününe uygun onarım harçları üretilmiş, yeni malzemelerle üretilen onarım harçlarının eski harçlara uyumu analiz edilmiştir. Bu çalışmadaki tüm araştırma bulguları aşağıda sunulmuştur.

4.1. Özgün Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi

4.1.1. Makroskopik gözlemler

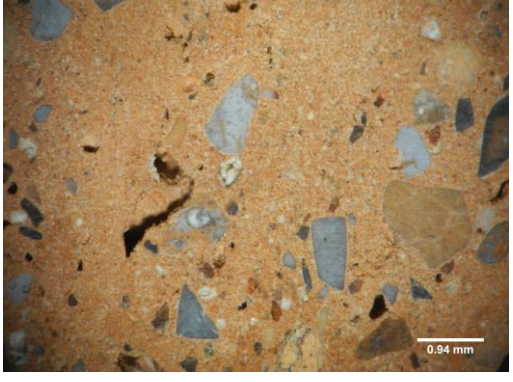
Numunelerin parlatılan yüzeyleri önce gözle daha sonra Nikon SMZ 745 T marka görüntüleme aparatlı trinoküler stereo mikroskop yardımıyla incelenmiş ve numunelerin değerlendirmeleri alınan ölçekli görüntüleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tuğla numunelerin makroskopik değerlendirilmesi

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
PT2	Kırmızımsı kahve renkli, gaz boşluklu ve gaz boşlukları tuğla düzlemine paralel olup mikron düzeyinden birkaç milimetre uzunluğuna kadar uzanmaktadır. Milimetrealtı boyutlarda kayaç parçaları çok bileşenli olup beyaz, krem, bordo, açık gri ve koyu gri renge sahiptir. Bazı bileşenler köşeli, yuvarlak ve uzundur. Gaz boşluklarının çeperlerinde kristalleşmeler bulunmaktadır.	

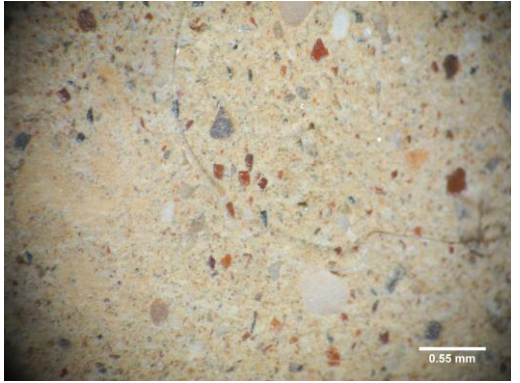
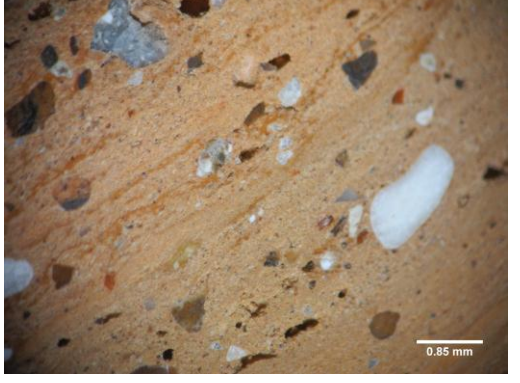
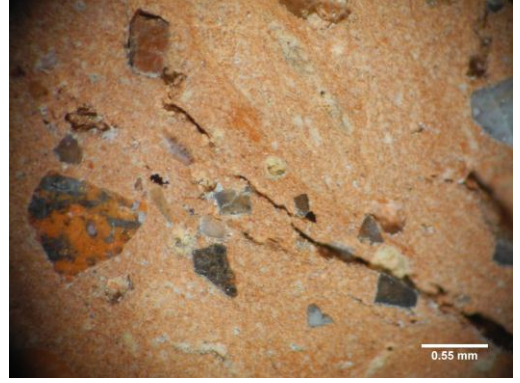
Devamı arkada

Çizelge 4.1'in Devamı

ST4	Diğer örneklerle nazaran hamur içerisindeki dağılmış taneler baskın olarak turuncumsu kırmızı renkli köşeli ve yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. İçerisinde disk şekilli gaz boşlukları bulunmaktadır ve bu örnekteki gaz boşluklarındaki yönelme diğerlerine göre daha azdır. Beyaz bileşenlerin boyutları milimetreden daha küçük olup beyaz taneler oldukça köşelidir. Gaz boşluklarının çeperleri boyunca mineral oluşumları (kalsit) gözleniyor. Gri bileşenler ise bu örnekte yok denecek kadar az miktardadır.	
GT2	Koyu kahve renkli ve çok bileşenli taneler bulunmaktadır. Taneler beyaz, siyah, açık gri, koyu gri ve krem renklidir. Gaz boşluğu çok azdır. Beyazımsı krem renkli taneler daha yuvarlak iken gri renkli taneler nispeten daha köşelidir.	
GT3	Kırmızı renk baskın olup milimetre üzerinde tane boyuna sahiptir. PT2'ye göre daha iri bileşenlere sahiptir. Gaz boşlukları tuğla düzlemi boyunca yönelmelidir. Bazı gaz boşluklarında ise kristalleşmeler – mineral dolguları bulunmaktadır. Krem renkli uzun prizmatik taneler mevcuttur. İçerisinde yuvarlak çakılı andıran taneler bulunmaktadır. Sedimanter kayaç kullanılmış olup kum tanesi yuvarlaklaşmıştır. İçerisindeki kum boyu tane bileşenleri hem köşeli hem de yuvarlaklaşmıştır. Beyaz renkli minerali ifade eden kümelenmeler mevcuttur.	

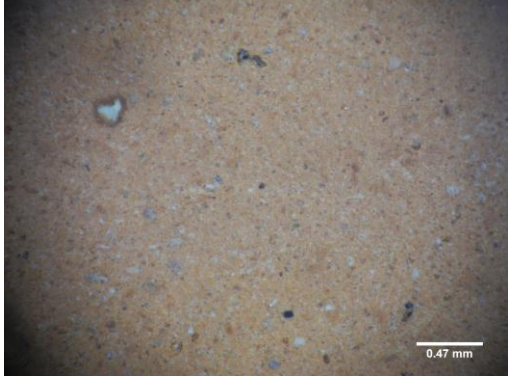
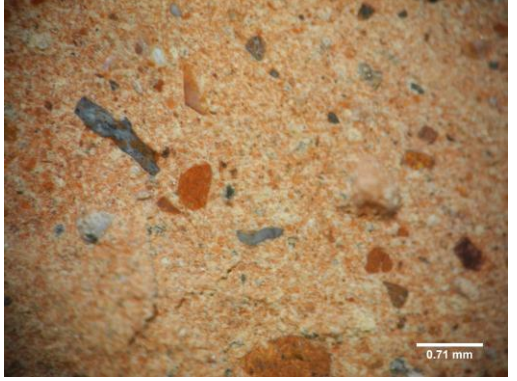
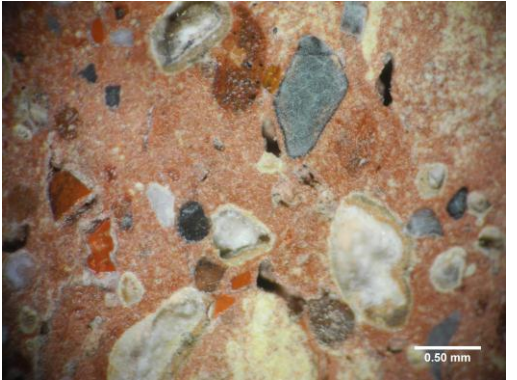
Devamı arkada

Çizelge 4.1'in Devamı

GT11	Diğer örneklerden oldukça farklıdır. Açık kahverenkli köşeli – yarı köşeli parçalara sahiptir. Polijenik parça miktarı azdır. Siyah beyaz ve açık kahve kiremit taneleri bulunmaktadır. Daha önceden var olan tuğla parçası tekrardan pişirilmiş ve tekrar büzülmeye maruz kalmıştır.	
LT1	Kahverengimsi renge sahiptir. İçerisinde bol gaz boşluğu bulunmaktadır. Polijenik mineraller vardır. Beyaz, koyu gri, açık gri ve renkli bileşenler bulunmakta ve bu bileşenler son derece yuvarlaklaşmıştır. Tuğla taneleri mevcuttur. Olasılıkla kuvars içermektedir.	
LT2	LT1'e göre daha kırmızımsı kahvedir. Çok bileşenli olup fazla miktarda milimetre düzeyinde klastlar içermektedir. Beyaz, gri, açık gri ve koyu gri renge sahiptir. Kiremit parçaları bulunmaktadır. Hamur içerisinde pişmeye bağlı bantlaşmalar vardır. Taneler genel olarak köşelidir. Gaz boşluklarının şekli disk veya küre şekilli olup büyük gaz boşlukları çok azdır.	

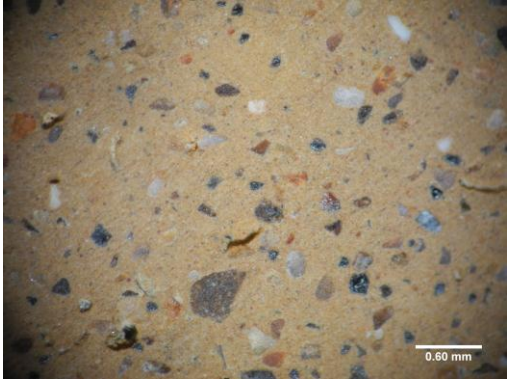
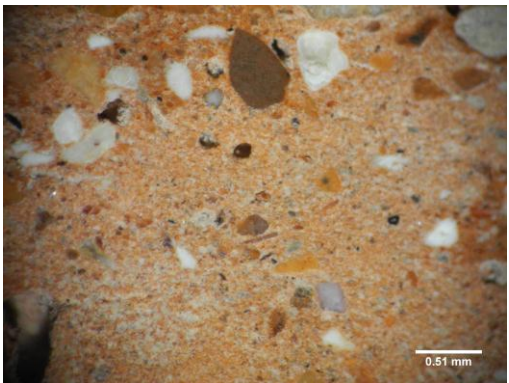
Devamı arkada

Çizelge 4.1'in Devamı

KT1	Rengi turuncumsu kırmızımsı olup boyutları diğerlerine göre daha küçüktür (kil boyu). Yaklaşık 5 mm boyuna erişen gaz boşlukları vardır. Boşluklar boyunca mineral kristallenmeleri bulunmaktadır. İçerisinde milimetre altı siyah bileşenler bulunmaktadır. Bu örnekte beyaz kaya kırıntıları yok denecek kadar azdır. Az miktarda da gri bileşen bulunmaktadır.	
TT1	Kırmızımsı kahve renge sahiptir. İnce ve iri taneli düzensiz gaz boşlukları içermektedir. Bileşenleri yuvarlak tanelidir. Tane bileşenleri çok renklidir. Beyaz, koyu gri, siyahımsı gri, koyu kırmızı taneler bulunmaktadır (Kuars). Zeytin yeşili tane bileşenine sahiptir. Taneler yarı yuvarlaklaşmış ve köşelidir. 1 mm 'den mikron düzeyinde değişen tane boyuna sahiptir. Pişen tuğla tekrar pişmiştir. Pişmiş olan tane klast bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Yer yer pişme yüzeylerine paralel gaz boşlukları bulunmaktadır.	
HT2	Çok bileşenli tanelerden oluşmaktadır. Taneler genel olarak eş boyutlu ve köşelidir. Genel rengi ise kırmızımsı kahvedir. Gaz boşlukları son derece düzensizdir ve gaz boşluklarının içerisinde yer yer mineral kristalleri gözlenmektedir. Tane bileşenlerini renkleri ise beyaz, krem, açık gri, koyu gri ve siyahtır. Beyaz renkli prizmatik taneler içermektedir. Siyah klastların içerisinde açık renkli damarlar, kırmızımsı kahve renkli tanelerin içerisinde birbirleriyle ardalanmış bantlar şeklinde gözlenmektedir.	

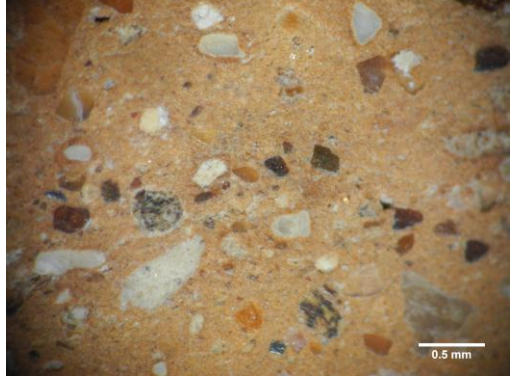
Devamı arkada

Çizelge 4.1'in Devamı

HT3	Açık kahve renklidir. Daha çok silt boyu taneler vardır. Beyaz, krem ve gri renkli taneler bulunmaktadır. Düzensiz ve iri gaz boşlukludur.	
HT4	Gaz boşluklu, çok bileşenli taneler vardır. Küçük gaz boşluklarının içerisinde mineral çökelimleri var (Kuars). Kırmızı renkli taneler baskındır. Ayrıca açık gri ve koyu gri taneler bulunmaktadır. Genelde yarı köşelidir. Ana madde içerisinde koyu renkli bantlaşmalar vardır. Bu bantlı yapı, tuğlanın oluşumundaki sıcaklık süreciyle ilişkili olabilir.	
HT5	Çok iyi yuvarlaklaşmış taneler vardır. Gaz boşlukları bulunmaktadır. Soluk kırmızımsı kahve renkli ve kahverengimsi krem renkli taneler yuvarlaklaşmıştır. Siyah renkli tane bileşenleri vardır. Çok baskın yuvarlak bileşenli taneler bulunmaktadır. Gaz boşlukları düzensiz ve gaz boşluklarında ki dolgu fazladır. Açık gri taneler bulunmaktadır (Kuars).	

Devamı arkada

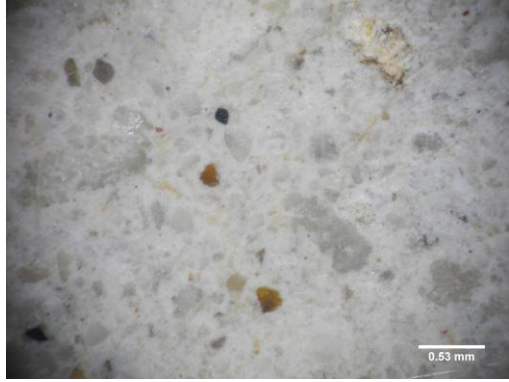
Çizelge 4.1'in Devamı

HT6	Gaz boşluklu, çok bileşenli taneler vardır. Küçük gaz boşluklarının içerisinde mineral çökelimleri var (Kuars). Kırmızı renkli taneler baskındır. Ayrıca açık gri ve koyu gri taneler bulunmaktadır. Genelde yarı köşelidir. Ana madde içinde koyu renkli bantlaşmalar vardır. Bu bantlı yapı tuğlanın oluşumundaki sıcaklık süreciyle ilişkili olabilir.	
-----	---	--

Çizelge 4.2. Taş numunelerin makroskopik değerlendirilmesi

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
PS1	Krem renkli kireçtaşıdır.	
TS1	Krem renkli kireçtaşıdır.	

Çizelge 4.3. Sıva numunesinin makroskopik değerlendirilmesi

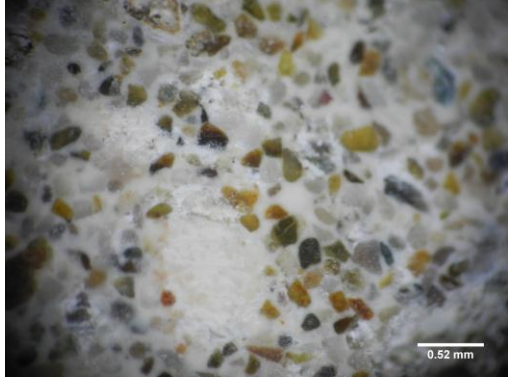
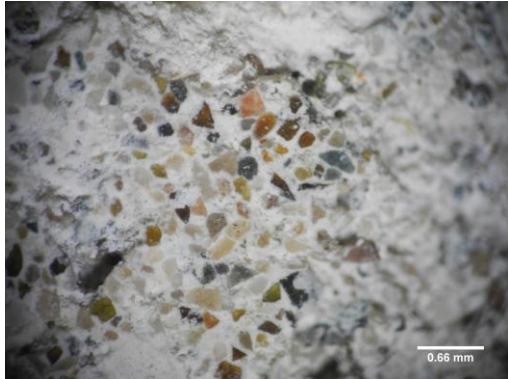
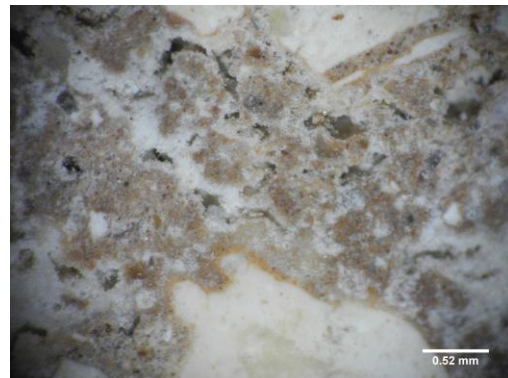
NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
PP3	İçerisinde kuvarslar bulunmaktadır. Geri kalan kısmı ise kalsit bileşenlerinden oluşmaktadır.	

Çizelge 4.4. Harç numunelerin makroskopik değerlendirilmesi

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
PH2	Yapı olarak GH2 'ye çok benzemektedir. Belirgin bir kavkı izi yoktur. Esas olarak krem ve kiremit renkli tanelerden oluşmaktadır. Krem renkli harç fazı bağ kurmaktadır. Taneler belirgin köşeli, boşluklu yapıya sahiptir.	

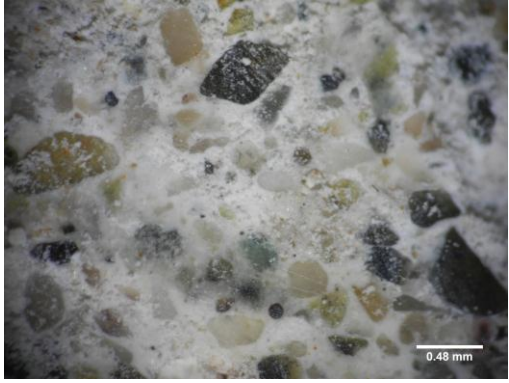
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

SH1	Çok ince taneli bileşenlere sahip, gaz boşluklu çok bileşenli tanelerden oluşuyor. Beyaz, krem, koyu kahve, kırmızımsı-kahverengi, yeşil taneler vardır.	
SH2	SH1 'e benziyor. Krem renkli iri taneler içeriyor (Kavkı parçası). Maksimum 2 mm çapında iri taneler vardır.	
SH3	Açık krem renkli, çok ince kılcal çatlaklar içermektedir (Kavkı parçası). Yer yer iri bileşenler 7 mm'ye kadar erişen taneler mevcuttur.	

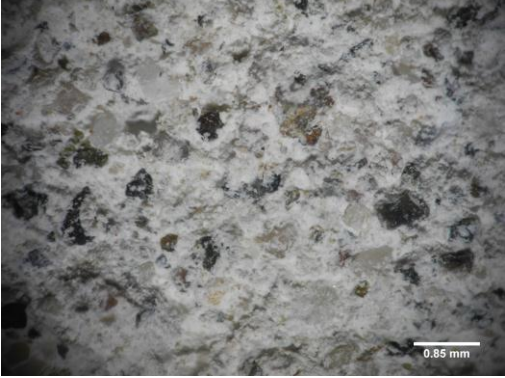
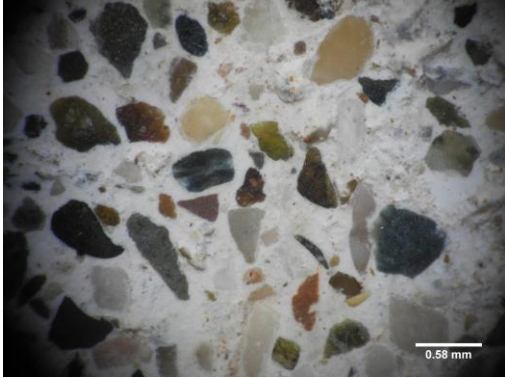
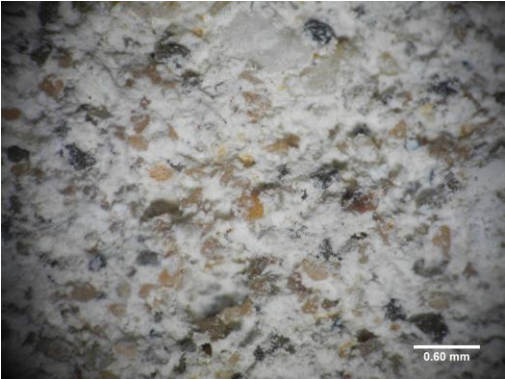
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

SH4	Belirgin yönlenme vardır. Koyu-gri genel görünümüne sahiptir. İnce taneli harç bileşeni mevcuttur. Boşluklarda yönlenme gözlenmektedir. Taneler, krem baskın olmak üzere siyah, kırmızımsı-kahverengi, yeşil renkli içeriğe sahiptir. Harcın içerisinde kiremit parçaları vardır.	
GH1	Gaz boşluklu bir yapıda, GH serisindeki örneklerle benzer özelliklere sahiptir. Boşluklar biraz daha fazladır. Silt ve kum boyunda tanelerden oluşmaktadır. Yer yer iri taneler vardır (Feldspata benzer taneler). Ayrıca demir içeriği yüksek klastlar bulunmaktadır. Uzun eksen 5 cm'ye kadar erişmektedir. Bazı tanelerin içinde belirgin kalsit kristalleri vardır.	
GH2	Diğer örneklerden tümüyle farklı durumdadır. Siyah bileşen hiç yoktur. İri taneler baskın, tane boyu 1 cm'ye kadar erişebilmekte, köşeli, kötü boylanmalı, uzun taneler içermektedir. Taneler krem ve kırmızı renkli gözlenmekte, fosil kavkı parçası bulunmaktadır (Turitella sp.). Harcın içerisinde konik kavkılar gözlenmektedir. İri gaz boşlukları vardır. Harcın içerisindeki kırmızımsı kahve taneler kiremit parçasına benzemektedirler. Bol miktarda kavkı parçası vardır. Karbonatlardan yapıları kavkılar gözlemlenmektedir. (Turitella sp. yaşlandırılabilir potansiyeli vardır.)	

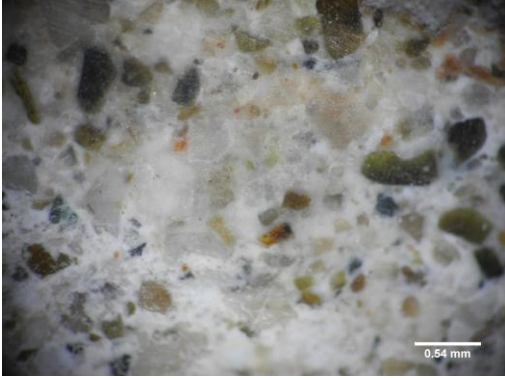
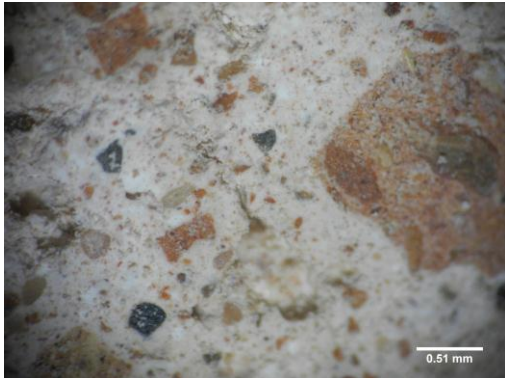
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

GH4	GH7 'ye benzeyen bir örnektir. Boşluklu bir yapıya sahip, boşlukların uzunluğu 5 mm'ye kadar erişebilmektedir. Siyah, krem ve beyazımsı taneler baskın, nadiren kahverengimsi taneler gözlenmekte, beyazımsı renkli matrikse sahiptir. Kum ile silt arasında taneler içermektedir.	
GH5	Genel olarak grimsi-beyaz renkli, siyah taneler çok belirgin durumdadır. Beyaz, krem, koyu kahve, kırmızımsı kahve, yeşil, taneler vardır. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır. İnce tanelerin arasında karbonatlı ara malzemenin bağ kurduğu gözlenmektedir.	
GH6	Beyaz ve krem rengi baskın, hafif yönlenme vardır. Siyah taneler çok ince taneli olarak dağılmış durumdadır. Çok küçük boşluklar içermektedir.	

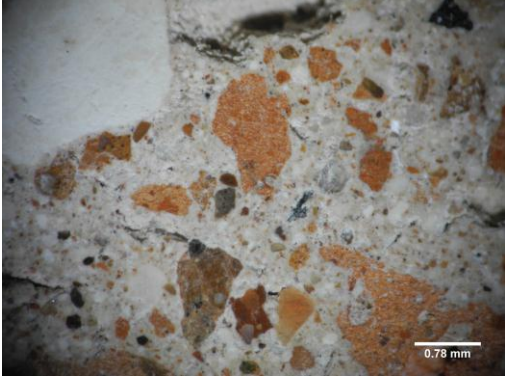
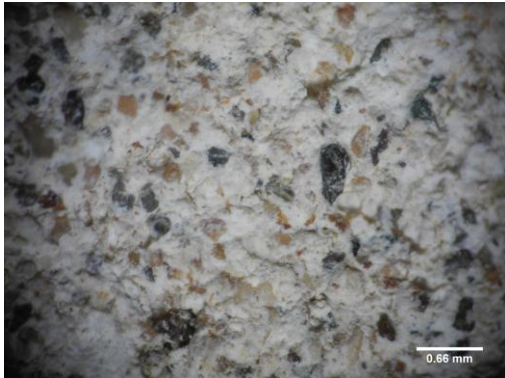
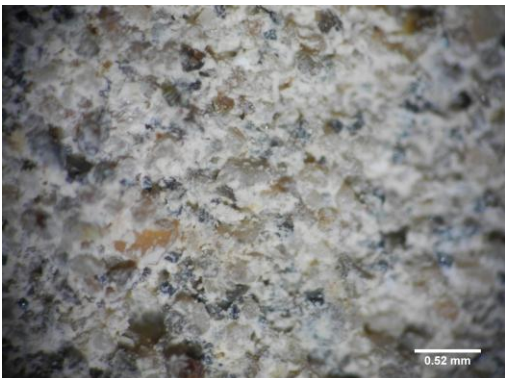
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

GH7	Beyazımsı gri renkli, boşluklu yapıdadır. Boşluklar beyaz çökellerle doldurulmuş, çeperlenmiş haldedir. Toz haline gelebilir. Yuvarlaklaşmış, yarı yuvarlaklaşmış kum silt boyu taneler, gri, krem, siyah, beyaz tanelerden oluşmaktadır (kuvars).	
GH8	Kırmızıdan griye değişen genel renge sahiptir. Kırmızımsı kahve, açık kahverengi, beyazımsı taneler içerisinde bulunmaktadır. Boşluklu yapıya sahip, harcı oluşturan taneler yaklaşık ve eş boyutlu GH7'ye göre daha iri tanelidir. Genellikle köşeli, 1 cm çapına erişebilen taneler bulunmaktadır. Büyük olasılıkla kireçtaşı parçalarıdır. Bu iri klastlar kendi içerisinde kılcal çatlaklar içermektedir.	
GH9	Beyaz taneler ve harç daha baskın, diğer iki örnekle (GH4 ve GH7'ye benzer) aynı özelliğe sahiptir.	

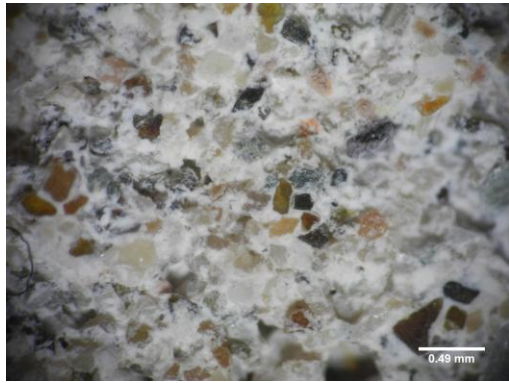
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

GH10	Diğerlerinden çok farklı bir örnektir. Pembe ve kırmızımsı kahve görünümüne sahiptir. Kırmızı kahverengi kiremit taneleri vardır. Krem, kırmızı, kırmızımsı kahverenkli tane bileşenleri mevcuttur. Tane bileşenleri köşeli yapıdadır. Batı kesimlerde kılcal çatlaklar vardır. Taneler klastlardan oluşmakta, dış yüzeyinde bitki kalıntılarını işaret edecek izler vardır.	
GH11	Çok ince tanelerden oluşmaktadır. Silt ve ince silt boyutuna sahip taneler, az boşluklu ve genellikle dairesel görünüm sergilemektedir. Harcın içerisinde 1 cm erişen, nadiren gözlenen taneler söz konusudur. Taneler kireçtaşından meydana gelmektedir. İri taneler içinde kılcal çatlaklar gözlenmektedir.	
LH1	Belirgin bir yönlenme vardır. İri taneler beyaz renkli ve maksimum 5 mm çapında, genelde görünüm gri renkli, ince taneli malzeme, ara madde ile (beyaz-gri) bağ kurmuştur. Taneler çok ince ayırt edilememektedir.	

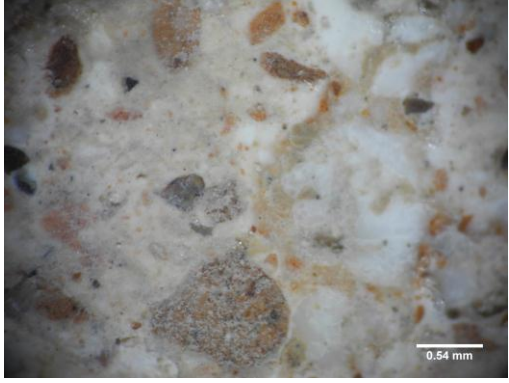
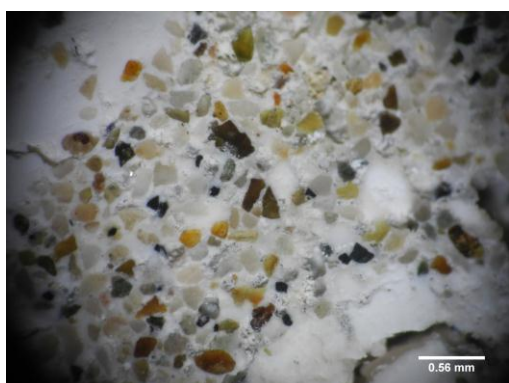
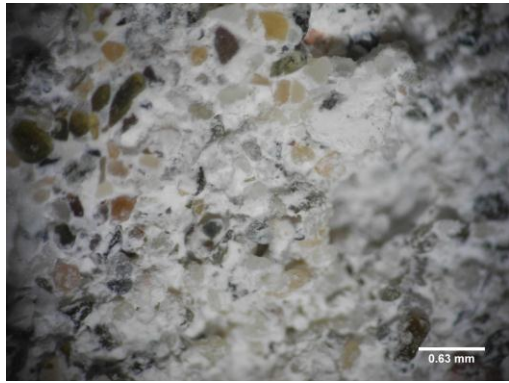
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

LH2	Belirgin bir yönlenme vardır. İri taneler beyaz renkli ve maksimum 5 mm çapında, genelde görünüm gri renkli, ince taneli malzeme, ara madde ile (beyaz-gri) bağ kurmuştur. Taneler çok ince ayırt edilememektedir.	
LH3	Belirgin bir yönlenme vardır. İri taneler beyaz renkli ve maksimum 5 mm çapında, genelde görünüm gri renkli, ince taneli malzeme, ara madde ile (beyaz-gri) bağ kurmuştur. Taneler çok ince ayırt edilememektedir.	
LH4	LH serisine benzemektedir. Daha iri harç taneleri vardır.	

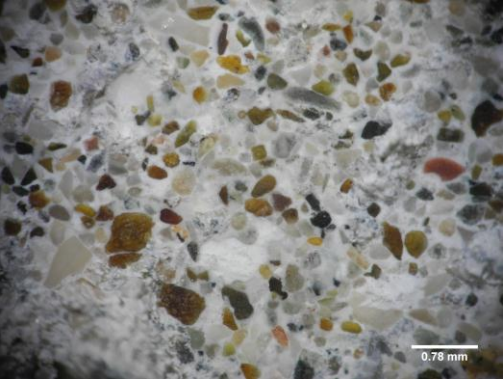
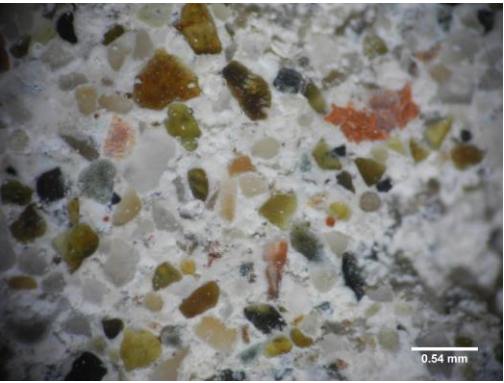
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

LH5	Pembemsi renge sahip (harç rengi) kızıl kahve kiremit parçaları, gri, krem, kavrık parçaları vardır. Taneler genelde köşelidir. Tane çapı maksimum 5 mm'ye erişmektedir. LH serisine göre pembemsi matrikse sahiptir.	
LH6	Yer yer kireç kümelenmeleri gözlenmektedir. Harcı oluşturan bileşenler silt boyutlu çok bileşenli tanelerdir. Kızıldan siyaha kadar değişen renge sahiptir. Gaz boşluğu nispeten azdır.	
TDH1	Boşluklu bir yapı gözlenmektedir. Boşluklarda mineral kristallenmeleri vardır. Genel görünümü grimsi beyazdır. Çok bileşenli tanelerden oluşmaktadır.	

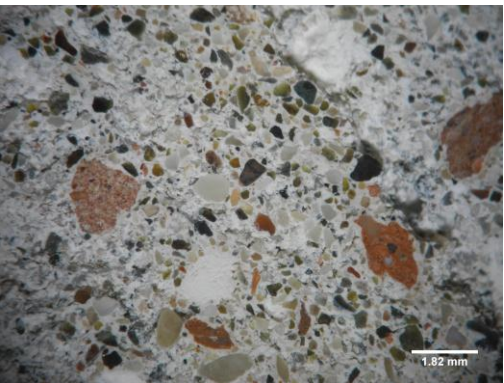
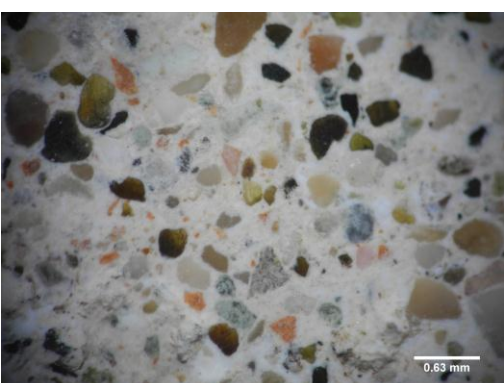
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

TDH2	Oldukça boşluklu yer yer iri taneler vardır. Boşlukların çapı 5 mm'yi bulmaktadır. Taneler arasında çok ince taneler gözlenmektedir. Siyah bileşenler çok azdır. Krem renkler baskın durumdadır (bileşenler). Boşluklar taneye göre daha baskındır.	
TDH3	TDH2 ve TDH1 'deki özellikleri göstermektedir.	
TDH4	TDH1 'e benzemektedir. Çok bileşenli tanelerden oluşmaktadır. İri bileşenler beyaz renklidir. Maksimum 5 mm çapında taneleri vardır. Siyah taneler belirgindir.	

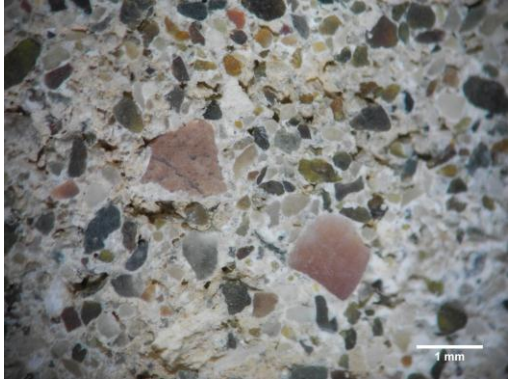
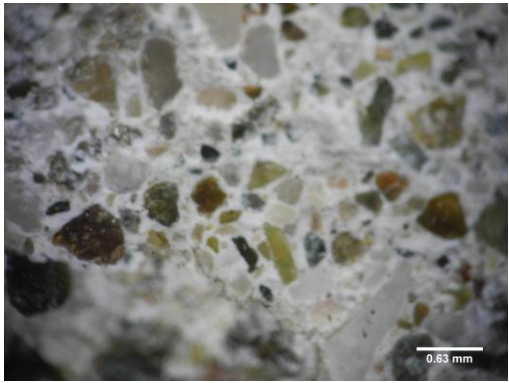
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

KH1	Yuvarlaklaşmış krem renkli kireçtaşı taneleri, canlı kavkı parçaları, az miktarda kiremit tanesi, beyaz renkli ara madde ile bağ yapmaktadır. Açık kahve, yeşil, kırmızımsı kahverengi, beyaz, gri renkleri bulunmaktadır. Dikkat çekecek derecede yuvarlaklaşmış taneler vardır.	
TH1	İri klastlar beyaz renkli, kırmızımsı-kahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır. İri tanelerin çapı maksimum 4 mm uzunluğundadır.	
TH2	İri klastlar beyaz renkli, kırmızımsı-kahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır. İri tanelerin çapı maksimum 4 mm uzunluğundadır.	

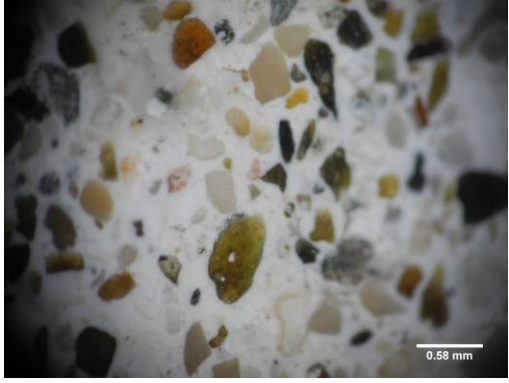
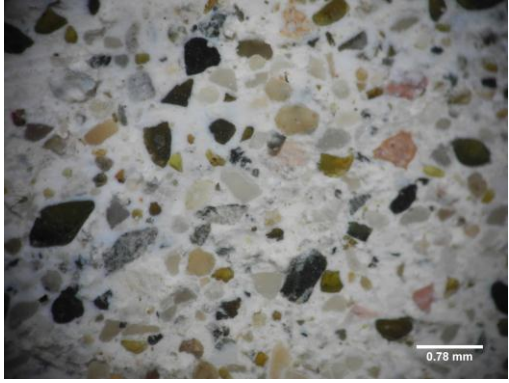
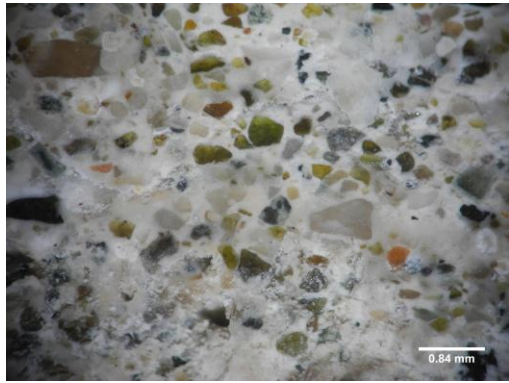
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

TH3	İri klastlar beyaz renkli, kırmızımsı-kahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır. İri tanelerin çapı maksimum 4 mm uzunluğundadır.	
TH4	İri klastlar beyaz renkli, kırmızımsı-kahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır. İri tanelerin çapı maksimum 4 mm uzunluğundadır.	
TH5	İri klastlar beyaz renkli, kırmızımsı-kahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır. İri tanelerin çapı maksimum 4 mm uzunluğundadır.	

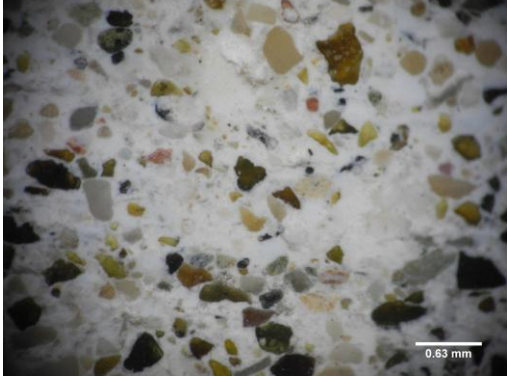
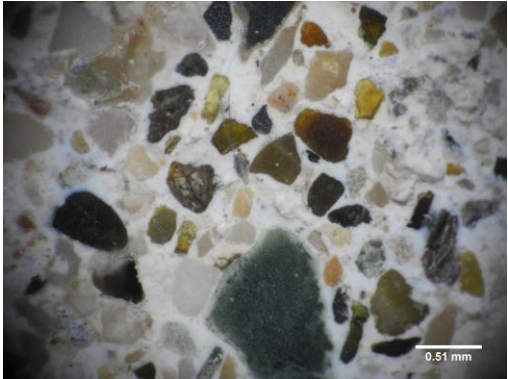
Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

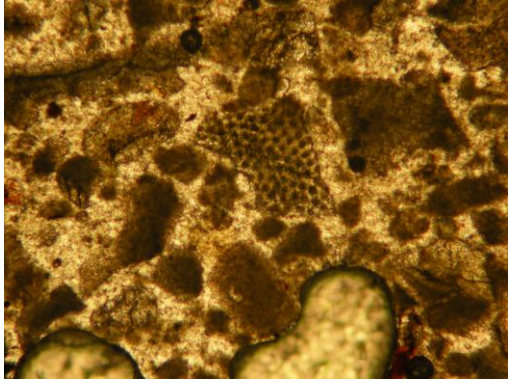
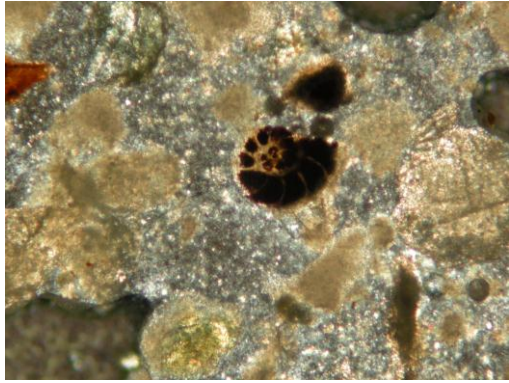
HH1	HH7'ye benziyor, biraz daha boşluklu ve tane boyu biraz daha ince, boşluklarında ikincil mineral oluşumları söz konusudur. Tane bileşimi özellikleri HH7 ile birebir aynıdır. Tane bileşenlerinin büyük kısmı kireçtaşı, ancak çörte veya silisli bileşene sahiptir.	
HH2	Tane bileşenleri HH serisi gibidir. Ek olarak pembemsi taneler bulunmaktadır. İri dairesel boşluklar içeriyor, bu boşlukların çeperlerine mineral sıralandığı gözlenmektedir. İri taneler bu örnekte gözlenmemektedir. İnce uzun (uzunluğu yaklaşık 18 mm, kalınlığı 1 mm'ye erişiyor) silisli bir yapı görülmektedir (Canlı kavrısı).	
HH3	HH serisindeki örneklerle benziyor, en önemli farkı tanelerde ve boşluklarda belirgin bir yönlenme olmasıdır. Tane bileşenleri bakımından diğer HH serisi örneklerle aynı özellikleri taşımaktadır. Bazı kesimlerde iri boşluklar içermektedir. Bu boşlukların çeperlerinden kristalleşmeler gözlenmektedir. Boşluklar genelde düzensiz, solucan oyuklarına benzemektedir.	

Devamı arkada

Çizelge 4.4'ün Devamı

HH4	HH serisi örneklerle aynı özellikleri taşımakta, iri taneler içermektedir. Maksimum 1 cm çapındadır. Taneler yarı yuvarlaklaşmış durumdadır.	
HH5	HH serisi örneklerle aynı özellikleri taşımaktadır.	
HH7	Daha iri harç bileşenlerine sahiptir. İçerisindeki klast boyu 6 mm'ye kadar erişebilen krem renkli taneler bulunmaktadır. Siyah renkli kum boyundaki harç bileşeni çok baskın krem renkli taneler içerisindeki boşluklar vardır. Boşlukları çok ince taneli kalsit kristalleri mevcuttur. Harcın içerisinde siyah, gri, krem, kırmızımsı kahverengi, kırmızımsı ve yeşilimsi taneler vardır. Genelde köşeli ancak bazı kesimlerde köşelerden arınmış yarı-yuvarlak olarak görünmektedir. Tüm bu tanımlamalar taze yüzeye ait gözlemlerdir. Altere olmuş dış yüzeyi siyah ve kahverengimsi bir ayrışma yüzeyi göstermektedir.	

Çizelge 4.5. Harç numunelerin ince kesitten makroskopik değerlendirilmesi

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP İNCE KESİT GÖRÜNTÜSÜ
GH2	Numune genel olarak peletler şeklinde bulunan ince taneli karbonat minerallerinden meydana gelmektedir. Peletlerin etrafı mikrokristalin bir matriks ile tutturulmuş ve yer yer demir oksit sıvamaları matriksin içerisinde gözlenmektedir. Oldukça gözenekli bir yapı sunuyor. Gözenekler düzensiz, girintili çıkıntılı ve yuvarlak kenarlara sahiptir. İçerisinde nadiren yarı özşekilli iri kalsit kristalleri bulunmaktadır. Kalsit kristalleri belirgin iki yöndeki 120°'lik dilinim açıları, yüksek girişim renkleri ve orta derecedeki röliyefi ile ayırt edilmektedir. Karbonat peletlerinde kısmen in situ parçalanmalar da yer almaktadır. Bazı kesimlerde peletlerin içerisinde kılcal çatlaklanmalar mevcuttur. Opak mineraller ise yer yer öz şekilli ve demir oksit sıvamaları göstermektedir.	
GH4	Dokusal olarak GH2 nolu numuneye benzerlikler sunmaktadır. En belirgin özelliği serpantinit parçaları içermesidir. Peletler ve serpantinitler içerisinde kılcal çatlaklar oldukça yaygındır. Ayrıca, kavkılı fosiller (Gastropoda ve diğer olmak üzere iki tip) yer almaktadır. Olasılıkla var olan çubuksu piroksen kristalleri içerisinde serpantinleşmeler gözlenmektedir.	

38 adet harç ve sıva numunesinin 11 tanesinde (PH2, SH4, GH2, GH8, GH10, KH1, TH1, TH2, TH3, TH4, TH5) kırılmış tuğla parçaları agrega ile birlikte kullanılmıştır. Birbirinden farklılıklar göstermekle birlikte, harçlar boşluklu bir yapıya sahip olup, özellikle beyaz, krem, siyah, koyu ve kırmızımsı kahve renklerinde silt

boyutundan 1 cm çapına yaklaşan yuvarlaklaşmış, yarı yuvarlaklaşmış ve/veya köşeli ancak çoğunlukla uzun ve yassı taneler içermektedirler. Harçlarda gözlemlenen koyu ve kırmızımsı kahve tonundaki tanelerin çoğunluğunun kırılmış tuğla olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Granarium'un tabanından alınan harç numunelerde bol miktarda fosil kavrı parçalarına (murex) rastlanmıştır. Bununla birlikte, geniş çatlakların, kalsit minerallerinin yeniden kristalleşmesiyle dolduğu gözlenmiştir. Harçlarda kullanılan değişik türdeki agregaların çoğunluğunu kuvars, kalsit ve feldspat mineraline sahip agregaların oluşturduğu saptanmıştır.

4.1.2. Fiziksel analizler

Tarihi yapılardan alınan harç, sıva, tuğla ve taş numuneleri üzerinde; su emme oranı (kütlece ve hacimce), birim hacim kütle (görünür yoğunluk), özgül kütle (gerçek yoğunluk), porozite, kompasite gibi fiziksel deneyler, Bölüm 3.2.2'deki yöntemlere göre yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4.6. Taş numunelerin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUM. ADI	Δ (gr/cm ³)	S _k (%)	S _h (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	PS1	2.44	2.63	6.41	2.65	8	92
2	TS1	2.39	3.51	8.40	2.63	9	91

Taş numunelerin fiziksel özellikleri incelendiğinde (Çizelge 4.6); birim hacim kütlelerinin 2.39-2.44 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.63-2.65 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 2.63-3.51, hacimce su emme yüzdesinin % 6.41-8.40, porozitesinin % 8-9, kompasitesinin % 91-92 aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Tuğla numunelerin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUM. ADI	Δ (gr/cm ³)	S _k (%)	S _h (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	PT2	1.70	16.52	28.13	2.60	35	65
2	ST4	1.58	21.60	34.20	2.63	40	60
3	GT2	1.72	16.50	28.42	2.45	30	70
4	GT3	1.69	17.72	29.90	2.75	39	61
5	GT11	1.60	20.58	32.93	2.63	39	61
6	LT1	1.76	16.73	29.45	2.63	33	67
7	LT2	1.71	17.24	29.45	2.63	35	65
8	KT1	1.82	15.45	28.13	2.62	30	70
9	TT1	1.66	18.64	30.99	2.50	34	66
10	HT2	1.82	13.60	24.79	2.60	30	70
11	HT3	1.86	14.43	26.90	2.63	29	71
12	HT4	1.80	15.46	27.80	2.68	33	67
13	HT5	1.83	16.68	30.59	2.79	34	66
14	HT6	1.85	13.26	24.59	2.50	26	74

Tuğla numunelerin fiziksel özellikleri göz önüne alındığında (Çizelge 4.7); 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 belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Sıva numunesinin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUM. ADI	Δ (gr/cm ³)	S _k (%)	S _h (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	PP3	1.73	15.04	26.08	2.68	35	65

Sıva numunesinin fiziksel özellikleri dikkate alındığında (Çizelge 4.8); birim hacim kütlesinin 1.73 gr/cm³, özgül kütlesinin 2.68 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 15.04, hacimce su emme yüzdesinin % 26.08, porozitesinin % 35, kompasitesinin % 65 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Harç numunelerin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUM. ADI	Δ (gr/cm ³)	S _k (%)	S _h (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	PH2	1.34	33.73	45.04	2.63	49	51
2	SH1	1.67	19.97	33.40	2.63	36	64
3	SH2	1.55	21.46	33.27	2.38	35	65
4	SH3	1.67	18.06	30.18	2.50	33	67
5	SH4	1.52	21.68	32.91	2.38	36	64
6	GH1	1.60	22.18	35.41	2.50	36	64
7	GH2	1.55	25.82	40.10	2.63	41	59
8	GH4	1.69	18.89	32.00	2.50	32	68
9	GH5	1.63	21.44	34.86	2.55	36	64
10	GH6	1.60	23.59	37.77	2.63	39	61
11	GH7	1.86	14.60	27.11	2.63	29	71
12	GH8	1.66	19.56	32.54	2.52	34	66
13	GH9	1.54	23.53	36.20	2.50	38	62
14	GH10	1.59	21.95	34.89	2.63	40	60
15	GH11	1.45	26.78	38.95	2.43	40	60
16	LH1	1.71	17.28	29.63	2.68	36	64
17	LH2	1.57	21.07	33.16	2.36	33	67
18	LH3	1.54	21.14	32.49	2.39	36	64
19	LH4	1.62	18.72	30.29	2.38	32	68
20	LH5	1.44	28.17	40.70	2.47	42	58
21	LH6	1.66	18.60	30.81	2.45	33	67
22	TDH1	1.65	15.71	25.88	2.50	34	66
23	TDH2	1.57	19.13	29.98	2.63	40	60
24	TDH3	1.85	15.60	28.85	2.63	30	70
25	TDH4	1.65	18.40	30.30	2.65	38	62
26	KH1	1.72	18.76	32.31	2.74	37	63
27	TH1	1.64	18.70	30.69	2.43	32	68
28	TH2	1.52	24.96	37.94	2.50	39	61
29	TH3	1.66	16.64	27.55	2.36	30	70
30	TH4	1.80	13.08	23.60	2.38	24	76
31	TH5	1.85	12.38	22.89	2.43	24	76
32	HH1	1.75	13.92	24.37	2.50	30	70
33	HH2	1.63	18.21	29.63	2.50	35	65
34	HH3	1.59	20.29	32.25	2.36	33	67
35	HH4	1.56	21.29	33.22	2.38	34	66

Devamı arkada

Çizelge 4.9'un Devamı

36	HH5	1.53	21.73	33.16	2.57	41	59
37	HH7	1.61	20.81	33.52	2.48	35	65

Harç numunelerin fiziksel özellikleri analiz edildiğinde (Çizelge 4.9); birim hacim kütlelerinin 1.34-1.86 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.36-2.74 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 12.38-33.73, hacimce su emme yüzdesinin % 22.89-45.04, porozitesinin % 24-49, kompasesinin % 51-76 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlardan, harçların hafif ve oldukça boşluklu olduğu görülmektedir.

4.1.3. Kimyasal analizler

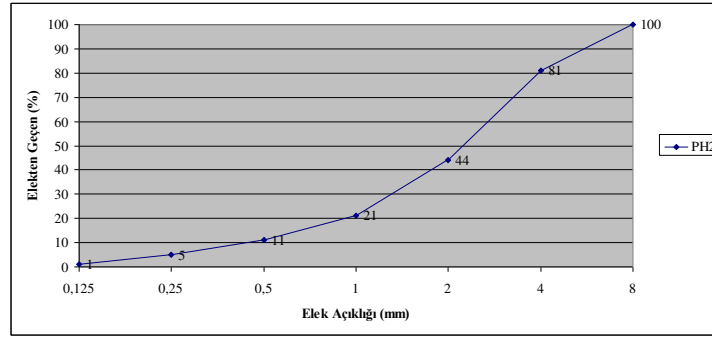
Asit kaybı ve elek analizi:

Asit kaybı analizi, harçlarda bağlayıcı, ince agregası, iri agregayı ayırmak ve bağlayıcı kireç miktarını hesaplamak için yapılır. Aslında bu analizin kalker kökenli agregalarında çözünmesi neden olmasından dolayı sağlıklı sonuçlar vermemekle birlikte çalışmada mümkün olduğunca bağlayıcı kısmın asite maruz kalmasını sağlamak amacıyla tokmakla ayrıştırma yapılmıştır. Asit ile tepkimeye girmeyen ve filtre kağıdının üzerinde kalan kısım etüvde kurutularak asitteki kayıp oranı belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Harçlarda bağlayıcı/agrega oranının 1/3 ile 1/9 arasında değiştiği görülmüştür. Roma dönemi yapılarında (Granarium üst yapı, Plakoma, Liman Yapıları, Tiyatro, Hamam) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/6, Bizans dönemi yapılarında (Sinagog, Granarium zemin, Kuzey Yerleşim) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/7, Selçuklu dönemi yapılarında (Taşdibi) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/4 olduğu görülmektedir. Roma ve Bizans dönemlerinde bağlayıcının az kullanıldığı, Selçuklu dönemindeki kompozisyonun inşaat alanındaki gelişmeler ışığında günümüz standartlarına paralellik göstermesi nedeniyle onarım harcı üretiminde bağlayıcı/agrega oranı 1/3 ve 1/4 alınmıştır.

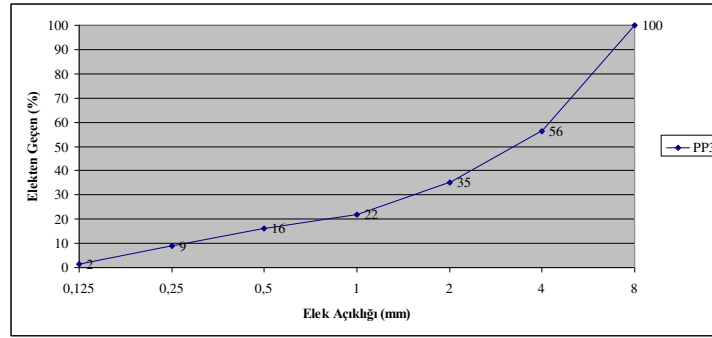
Çizelge 4.10. Tarihi harç numunelerde asit kaybı analizi sonuçları

SN	Numune Adı	Asitteki Kayıp Oranı (%)	Bağlayıcı/Agrega Oranı (1/X)
1	PH2	14,3	6
2	PP3	10,1	9
3	SH1	10,2	9
4	SH3	11,3	8
5	GH1	22,5	3
6	GH2	15,8	5
7	GH5	12,3	7
8	GH6	10,9	8
9	GH8	9,7	9
10	GH10	14,5	6
11	LH1	11,9	7
12	LH2	20,5	4
13	LH3	23,2	3
14	LH5	22,5	3
15	TDH1	21,7	4
16	TDH3	21,6	4
17	KH1	15,3	6
18	TH1	25,8	3
19	TH3	12,2	7
20	TH4	11,5	8
21	HH1	11,7	8
22	HH7	14,3	6

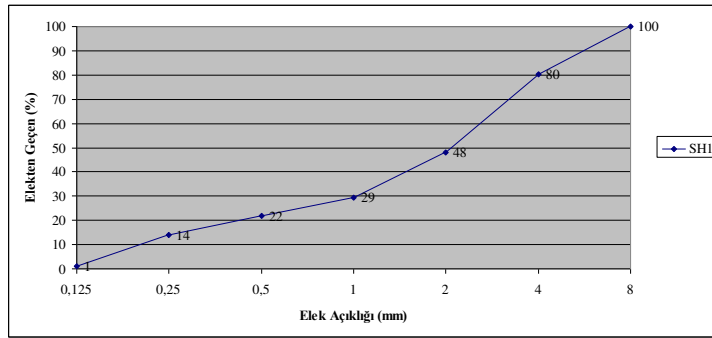
Tarihi harç numunelerdeki agregata tane boyutu ve dağılımının belirlenmesi için yapılan elek analizi sonuçları Şekil 4.1'den 4.22'ye kadar verilmiştir. Maksimum tane boyutu 4 mm olan GH5, LH2, TH4 kodlu numunelerin dışındaki tüm gruplarda, agregata maksimum tane boyutunun 8 mm olduğu tespit edilmiştir. Harçlardaki agregata yapısında iri agregalar yuvarlanmış, ince agregalar ise kırıklı / köşeli yapıdadır. Bu durum harçlarda kullanılan agregaların seçiminde hem deniz hem de dere yatağından alınan agregaların birlikte kullanıldığına işaret etmektedir. Harçların bazılarının agregata yapısında farklı oranlarda kırılmış tuğla parçaları bulunmaktadır.



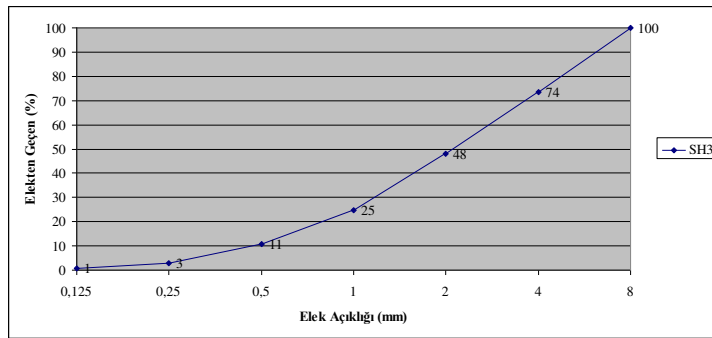
Şekil 4.1. PH2 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



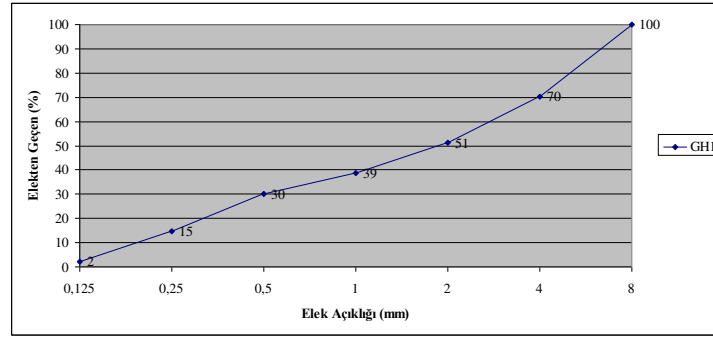
Şekil 4.2. PP3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



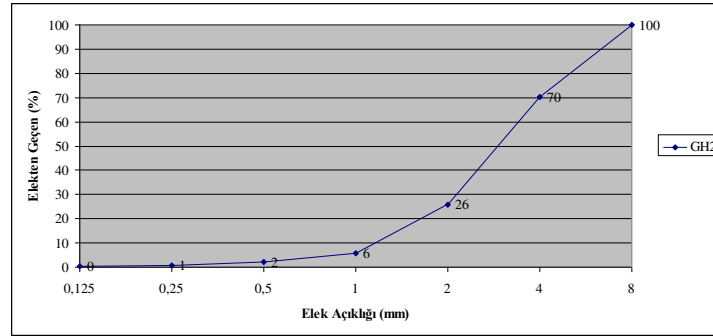
Şekil 4.3. SH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



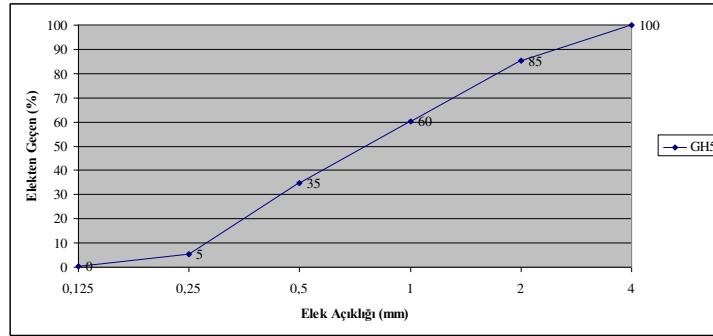
Şekil 4.4. SH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



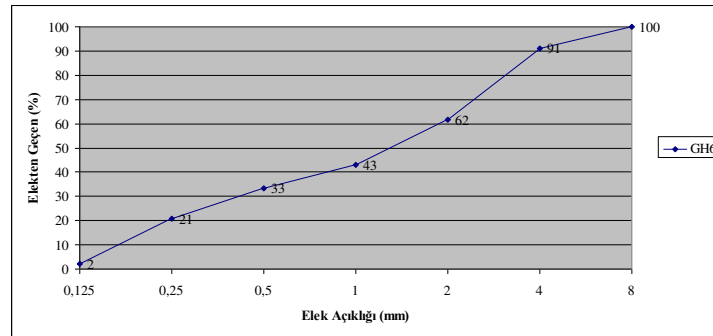
Şekil 4.5. GH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



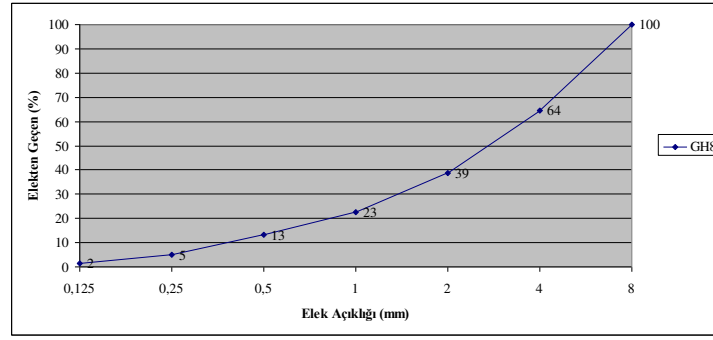
Şekil 4.6. GH2 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



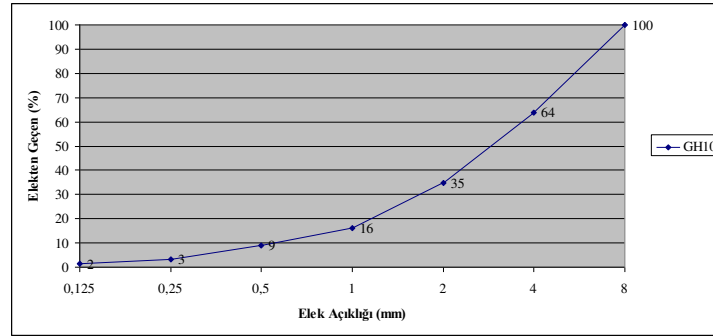
Şekil 4.7. GH5 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



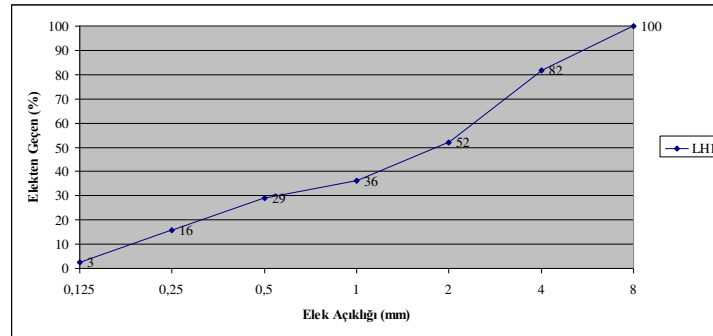
Şekil 4.8. GH6 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



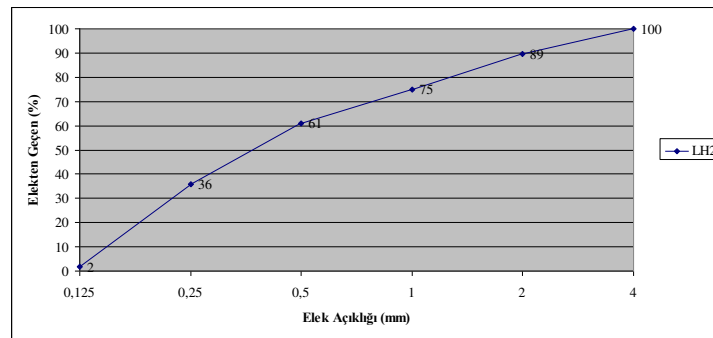
Şekil 4.9. GH8 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



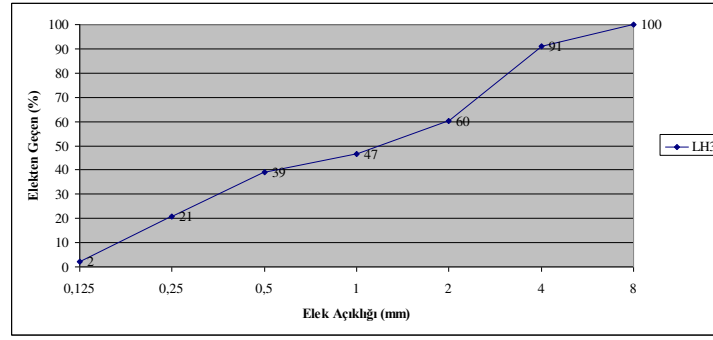
Şekil 4.10. GH10 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



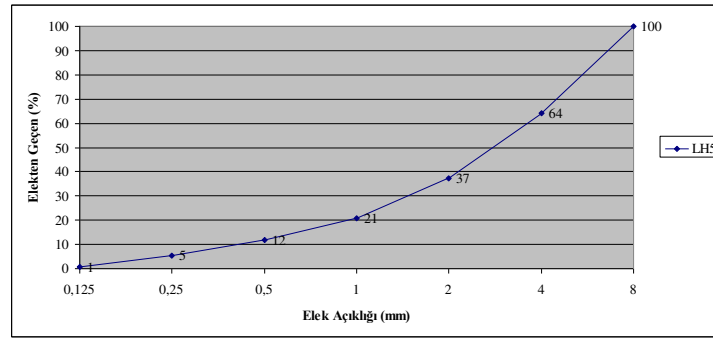
Şekil 4.11. LH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



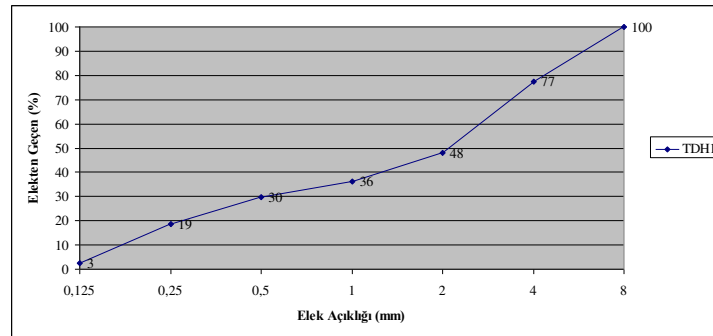
Şekil 4.12. LH2 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



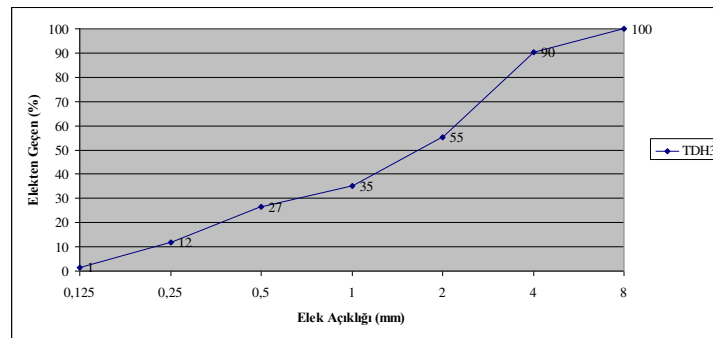
Şekil 4.13. LH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



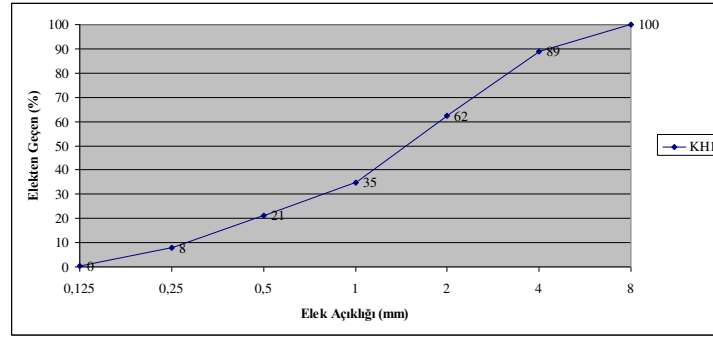
Şekil 4.14. LH5 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



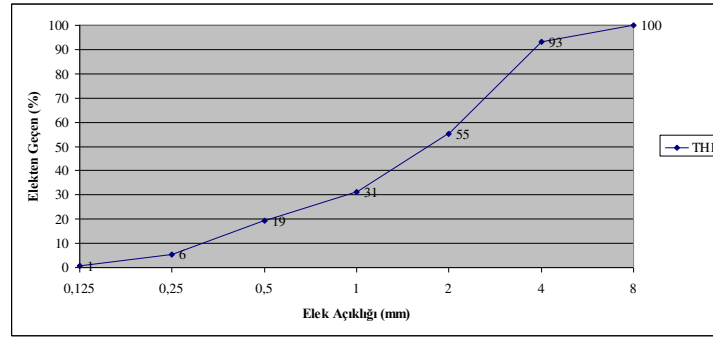
Şekil 4.15. TDH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



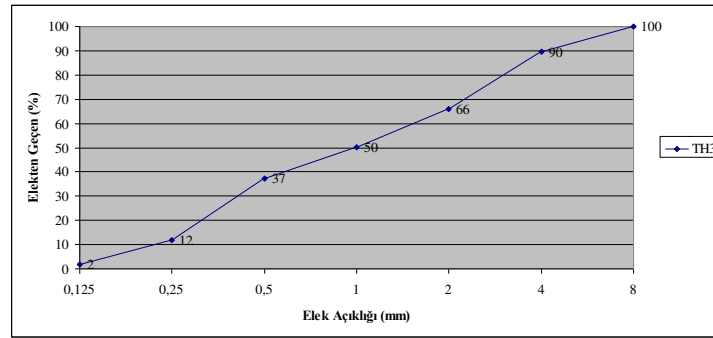
Şekil 4.16. TDH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



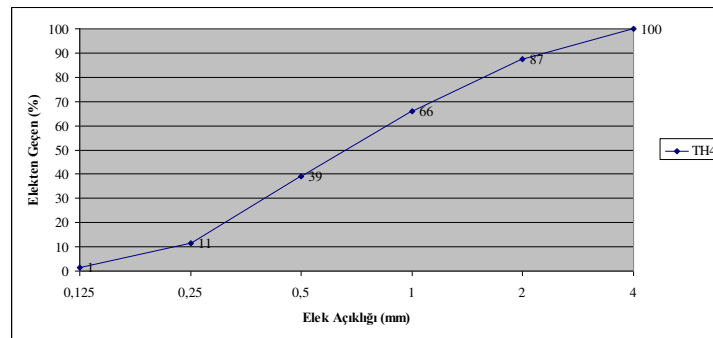
Şekil 4.17. KH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



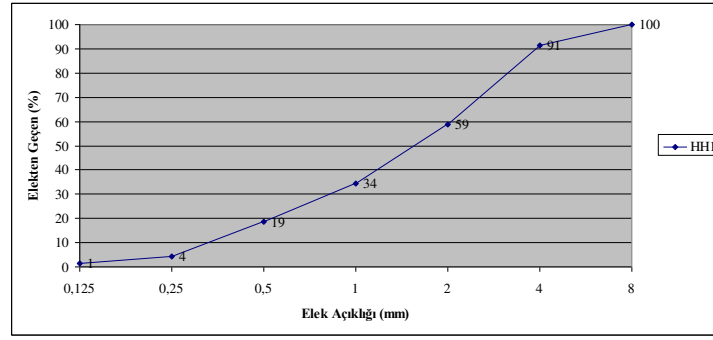
Şekil 4.18. TH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



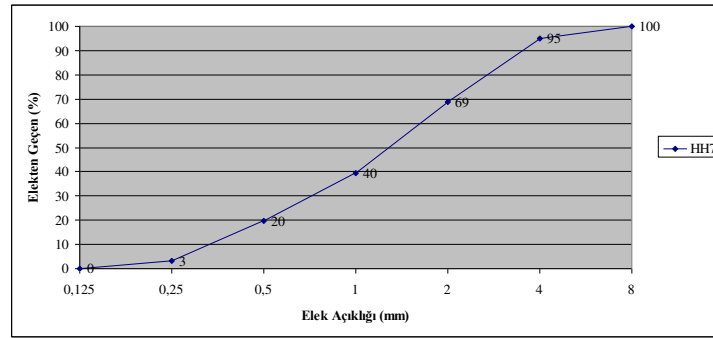
Şekil 4.19. TH3 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



Şekil 4.20. TH4 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



Şekil 4.21. HH1 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi



Şekil 4.22. HH7 kodlu tarihi harç numunedeki agregaların elek analizi

Tuz analizi:

Malzemelerde bozulmalara neden olan tuzların numuneler içerisindeki varlıklarının belirlenebilmesi için klorür, nitrat, sülfat ve karbonat iyonları tespitlerini kapsayan tuz analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler göreceli olarak ölçülmüş ve tabloda +, - olarak gösterilmiştir. Analizlerde tespit edilen tuzların miktarı fazla ise + miktarı da arttırılmıştır. Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de harç ve sıva numunelerinin tuz analizleri sonuçları görülmektedir. Granarium’un denize yakın bölgesinden alınan GH1 numunesinde, Liman Yapıları’nın deniz seviyesinde taban harcı olan LH5 numunesinde ve Myra Hamam yapısında dış bölgedeki HH1 numunesinde klor varlığı tespit edilmiştir. GH1 ve LH5 numunelerinde yapılarıdaki konumları dikkate alındığında klorun deniz suyundan kaynaklandığı düşünülmektedir. LH4, LH5 numunelerinde deniz suyu etkisi ile TH4, TH5, HH1 numunelerinde ise tiyatro, hamam yapıları civarında aktif tarımın varlığıyla oluşan tarımsal atıklardan ve kentiçi trafiğe maruz bölge olması nedeniyle atmosferik kirlilikten dolayı sülfat ve karbonat varlığı düşünülmektedir. Çok sayıda numunede nitrat varlığı bölgenin yoğun tarım yapılan bir bölge olması nedeniyle tarımsal atıklardan kaynaklandığı kanaatine varılmaktadır.

Çizelge 4.11. Harç numunelerin tuz analizleri

NUM. ADI	NUMUNE TİPİ	Klorür Cl ⁻	Sülfat SO ₄ ⁻²	Karbonat CO ₃ ⁻²	Nitrat NO ₃ ⁻
PH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	++
SH1	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	+
SH2	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
SH3	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
SH4	HARÇ (taban)	-	-	-	-
GH1	HARÇ (taş_taş)	+++	-	-	+
GH2	HARÇ (taban-murex)	-	-	-	-
GH4	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
GH5	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
GH6	HARÇ(taş_taş) (çatı)	-	-	-	-
GH7	HARÇ (yalıtım-temel)	-	-	-	+
GH8	HARÇ (yalıtım-çatı)	-	-	-	-
GH9	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	+++
GH10	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	+
GH11	HARÇ (taban)	-	-	-	-
LH1	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	-
LH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	+
LH3	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
LH4	HARÇ (taş_taş)	-	+	+	+++
LH5	HARÇ (taban)	+++	+	-	+++
LH6	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
TDH1	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
TDH2	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	+++
TDH3	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
TDH4	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
KH1	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	+
TH1	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	-
TH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	-
TH3	HARÇ (taş_taş)	-	-	-	-
TH4	HARÇ (taş_taş)	-	+	+	-
TH5	HARÇ (taş_taş)	-	-	+	+
HH1	HARÇ (tuğla_tuğla)	++	-	+	+
HH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	-
HH3	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	+
HH4	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	-
HH5	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	+
HH7	HARÇ (tuğla_tuğla)	-	-	-	-

Çizelge 4.12. Sıva numunenin tuz analizleri

NUM. ADI	NUMUNE TİPİ	Klorür Cl ⁻	Sülfat SO ₄ ⁻²	Karbonat CO ₃ ⁻²	Nitrat NO ₃ ⁻
PP3	SIVA	-	-	-	-

İletkenlik, pH, protein ve yağ analizleri:

Harç ve sıva 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. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de görüldüğü üzere, deney yapılan 38 harç ve sıva numunesinden 17 tanesinde (%45) iletkenlikler arası fark 0.40-0.85 mS/cm arası bulunduğundan puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Geri kalan 21 numunede (%55) iletkenlikler arası fark 0.40 mS/cm'den küçük değer aldığından numunelerin puzolan olmadığı tespit edilmiştir.

Malzemelerin asidik veya bazik olduğunun belirlenebilmesi amacıyla pH değeri ölçülmüştür. Kirecin kuvvetli baz olmasından dolayı harçların zayıf baz özelliği taşınması beklendiğinden numunelerde pH değerinin Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de görüldüğü üzere 8.23-9.40 arasında olması bunu doğrulamaktadır. Numunelerin silikatlaşma ve karbonatlaşma süreçlerini tamamladıkları anlaşılmaktadır.

Tarihi yapılardan alınan numunelerde organik katkı maddelerini tespit etmek için protein ve yağ analizleri yapılmıştır. Malzemelerde proteinin varlığı genellikle yumurta, kan, kazein, kırıntı, bitki lifleri, hayvan kılları gibi malzemenin içinde bulunan protein esaslı katkı maddelerinden kaynaklanmakta olduğu düşünülsede kullanılan malzemelerin kirliliğinden de olabilir. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de görüldüğü üzere deney yapılan 38 numuneden 21 numunede (%55) protein, 23 numunede (%60) yağ, 27 tanesinde (%71) hem protein ve hem de yağ varlığının, harçlarda kullanılan katkılardan kaynaklanmış olabileceği ve/veya malzemelerin kirliliğinin etkiside düşünülmektedir. 11 numunede (%29) ise protein ve yağ varlığı tespit edilememiştir. Ancak proteinin zamanla bozulma ihtimali gözününe alındığında protein varlığı tespit edilemeyen numuneler için kesin bir yargıya varmak güçleşmektedir.

Çizelge 4.13. Harç numunelerin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri

NUM. ADI	NUMUNE TİPİ	İletkenlik (mS/cm)	pH	Protein	Yağ
PH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.18	9.38	+	+
SH1	HARÇ (taş_taş)	0.28	8.99	+	+
SH2	HARÇ (taş_taş)	0.23	8.87	-	+
SH3	HARÇ (taş_taş)	0.39	9.01	+	-
SH4	HARÇ (taban)	0.22	8.91	+	+
GH1	HARÇ (taş_taş)	0.04	8.61	-	-
GH2	HARÇ (taban-murex)	0.48	8.85	+	+
GH4	HARÇ (taş_taş)	0.49	8.82	-	+
GH5	HARÇ (taş_taş)	0.42	8.83	+	+
GH6	HARÇ(taş_taş) (çatı)	0.34	8.86	+	-
GH7	HARÇ (yalıtım-temel)	0.45	8.72	+	+
GH8	HARÇ (yalıtım-çatı)	0.31	8.77	+	+
GH9	HARÇ (taş_taş)	0.37	8.82	-	-
GH10	HARÇ (taş_taş)	0.47	8.83	+	+
GH11	HARÇ (taban)	0.40	8.80	-	+
LH1	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.26	8.91	-	-
LH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.30	8.90	-	-
LH3	HARÇ (taş_taş)	0.32	8.86	-	-
LH4	HARÇ (taş_taş)	0.21	8.84	+	+
LH5	HARÇ (taban)	0.51	9.35	-	-
LH6	HARÇ (taş_taş)	0.25	8.98	+	+
TDH1	HARÇ (taş_taş)	0.46	8.88	-	-
TDH2	HARÇ (taş_taş)	0.25	8.84	-	+
TDH3	HARÇ (taş_taş)	0.24	8.85	+	+
TDH4	HARÇ (taş_taş)	0.28	8.88	+	-
KH1	HARÇ (taş_taş)	0.02	9.40	+	+
TH1	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.51	9.40	-	-
TH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.85	9.32	+	-
TH3	HARÇ (taş_taş)	0.40	9.40	-	-
TH4	HARÇ (taş_taş)	0.44	9.38	-	+
TH5	HARÇ (taş_taş)	0.32	9.37	-	-
HH1	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.41	8.23	-	+
HH2	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.79	8.74	+	+
HH3	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.63	8.80	+	+
HH4	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.65	8.98	+	+
HH5	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.34	8.78	-	-
HH7	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.48	8.94	+	+

Çizelge 4.14. Sıva numunenin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri

NUM. ADI	NUMUNE TİPİ	İletkenlik (mS/cm)	pH	Protein	Yağ
PP3	SIVA	0.37	9.36	+	+

Tuğla numunelerinin pH değerinin Çizelge 4.15’deki gibi 11.21-11.44 arasında olması bazik olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.15. Tuğla numunelerin iletkenlik, pH analizleri

NUM. ADI	NUMUNE TİPİ	iletkenlik (mS/cm)	pH
PT2	TUĞLA	0.26	11.40
ST4	TUĞLA (taban)	0.61	11.37
GT2	TUĞLA (taban)	0.39	11.26
GT3	TUĞLA (taban)	0.57	11.23
GT11	TUĞLA (taban)	0.59	11.21
LT1	TUĞLA	0.11	11.34
LT2	TUĞLA	0.40	11.29
KT1	TUĞLA (derz)	0.37	11.30
TT1	TUĞLA	0.19	11.24
HT2	TUĞLA	0.21	11.34
HT3	TUĞLA	0.09	11.35
HT4	TUĞLA	0.41	11.44
HT5	TUĞLA	0.40	11.41
HT6	TUĞLA	0.29	11.33

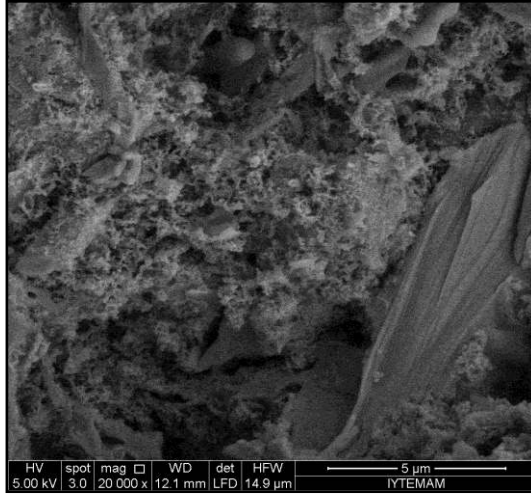
Çizelge 4.15’de görüldüğü üzere, deney yapılan 14 tuğla numunesinden 6 tanesinde iletkenlikler arası fark 0.40-0.61 mS/cm arası bulunduğundan puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Geri kalan 8 numunede iletkenlikler arası fark 0.40 mS/cm’den küçük değer bulunduğundan puzolan olmadığını göstermektedir. Bu değerler, tuğlaların düşük miktarda puzolanik madde içerdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, tuğlaların üretiminde kullanılan kil minerallerinin miktarının yüksek oranda puzolanik amorf malzeme üretmeye yeterli olmadığını göstermektedir.

4.1.4. Mikro yapı analizleri

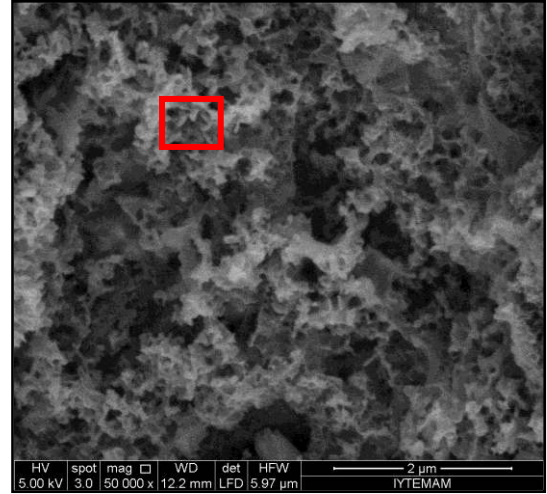
Numunelerin morfolojisi, boşluk yapıları, agrega-bağlayıcı arayüzey durumları, mineralojisi ve kristal yapısı gibi özelliklerini belirlemek için SEM/EDX ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, harçlardaki agregaların genelde kuvars ve anortit kristal yapıda olduğunu, bağlayıcı kısmının ise genellikle rombohedral kafes sistemine sahip kalsit olduğunu göstermiştir. XRF analiz neticelerine paralel olarak, harç matriksinde kalsit minerallerinin baskın olduğu, bunun dışında düşük miktarda silikatlarında bulunduğu ancak alçı fazının bulunmadığı anlaşılmıştır. Bazı harçlarda, dolomitik agregalara da rastlanmıştır. TG/ DTA analizleri sayesinde, harçların hidrolik özellikleri, kristalleşme ve camsılaşma durumları hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Selçuklu dönemine ait harçların 200°C, 600°C ve 900°C' lerdeki kütle kayıplarının Roma ve Bizans döneminekilere kıyasla daha az olduğu belirlenmiş, CO₂/H₂O oranlarının Roma döneminde ortalama 10, Bizans döneminde ortalama 11, Selçuklu döneminde ortalama 14 olduğu, bununla birlikte DTA eğrilerinden endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar ışığında, matriks kalsinasyonuna ve kireçtaşı agregalarının dekompozisyonuna işaret eden 800°C ve 830°C civarında iki pik tespit edilmiştir.

SEM-EDX analizi

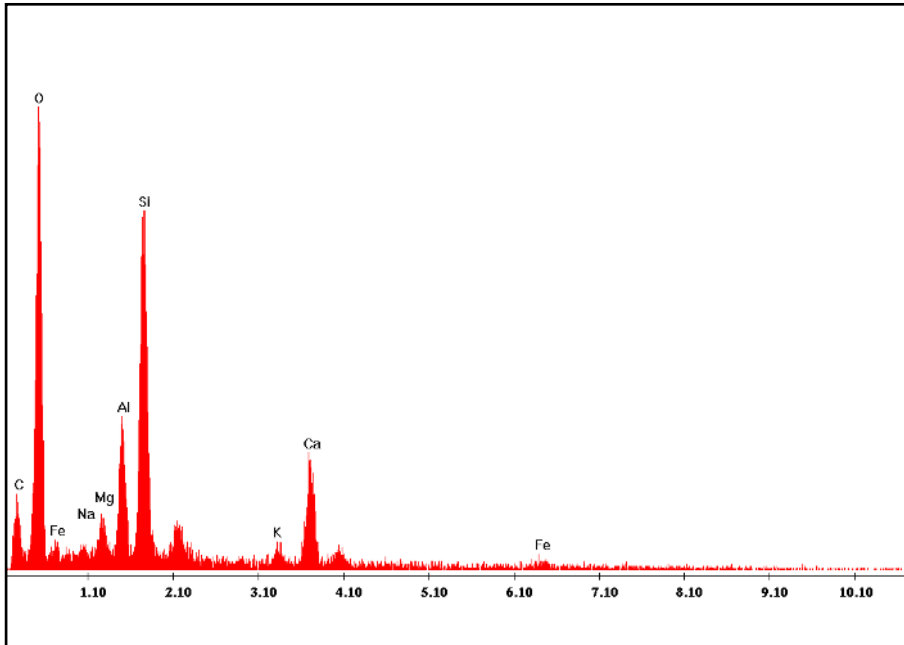
Tuğla, taş, sıva, harç toplam 54 numune üzerinde yapılan SEM/EDX analizleri, harçlarda agrega, bağlayıcı ve agrega-bağlayıcı ara yüzeyleri olmak üzere üç farklı noktada incelenmiştir. Analiz sonuçları Ek-2'de verilmiştir. Bu kısımda tuğla, taş, sıva, harç numunelerinden birer örnek alınarak değerlendirilmiştir.



(20.000 x)



(50.000 x)

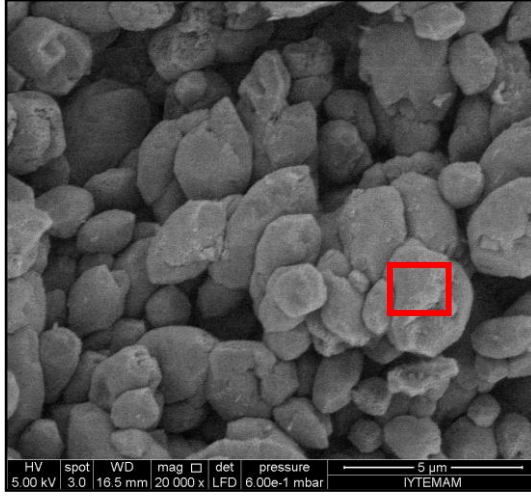


Şekil 4.23. HT4 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

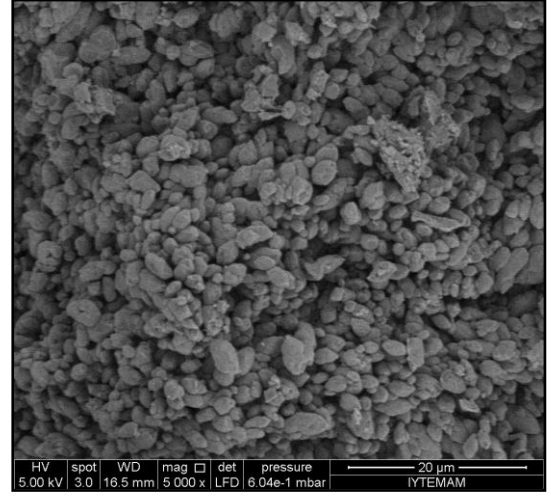
Çizelge 4.16. HT4 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	12.92	37.97	1.14	2.26	7.29	18.28	1.76	14.15	4.25

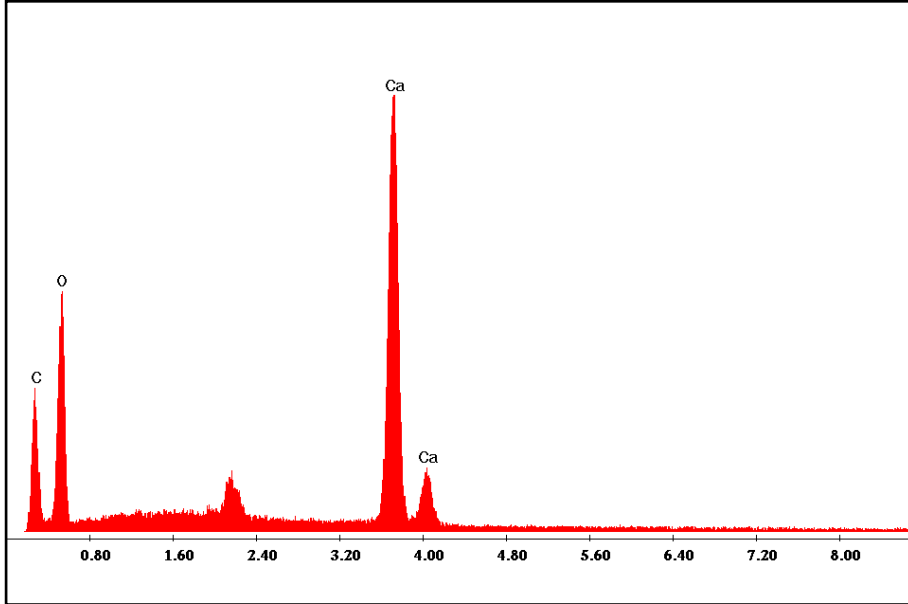
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.81	4.37	16.02	45.58	2.44	22.8	6.98



(20.000 x)



(5.000 x)

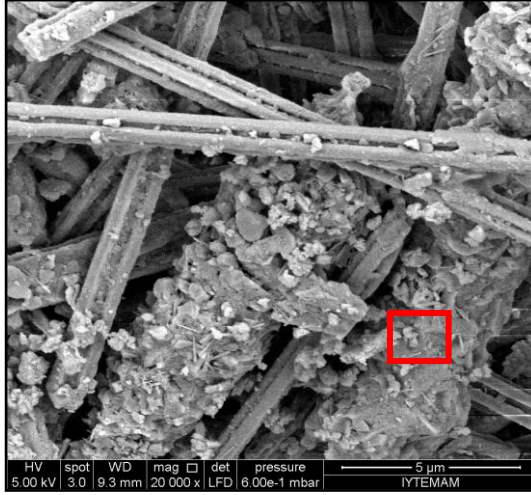


Şekil 4.24. TS1 taş numune SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge 4.17. TS1 taş numune EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Ca
Wt %	15.51	37.46	47.03

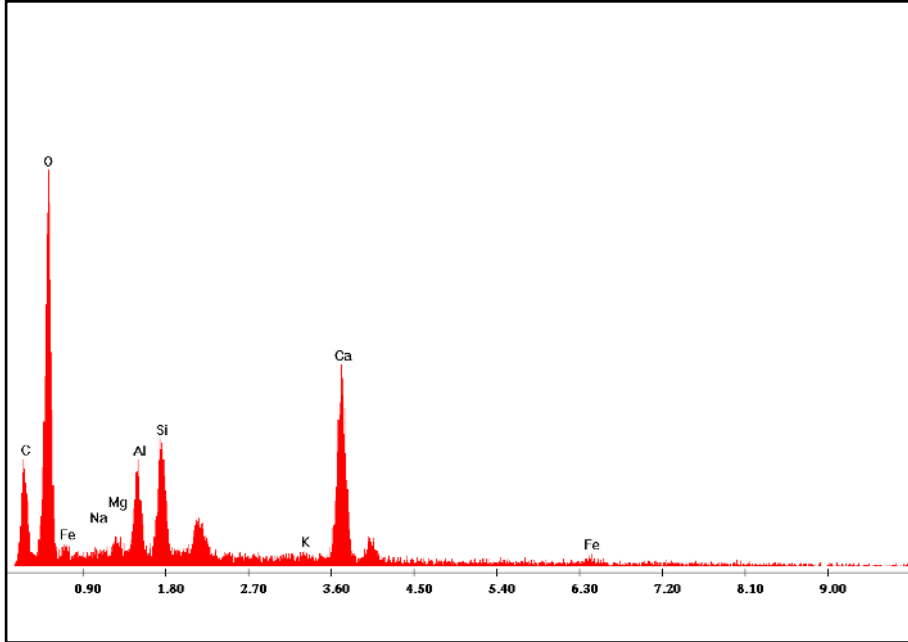
Element	CaO
Wt %	100



(20.000 x)



(5.000 x)

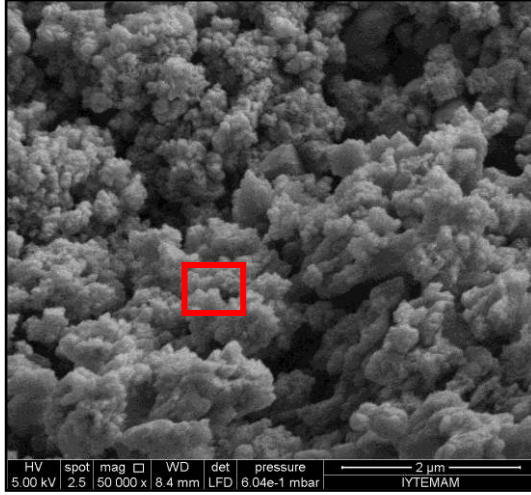


Şekil 4.25. PP3 sıva harcı SEM/ EDX görüntüleri

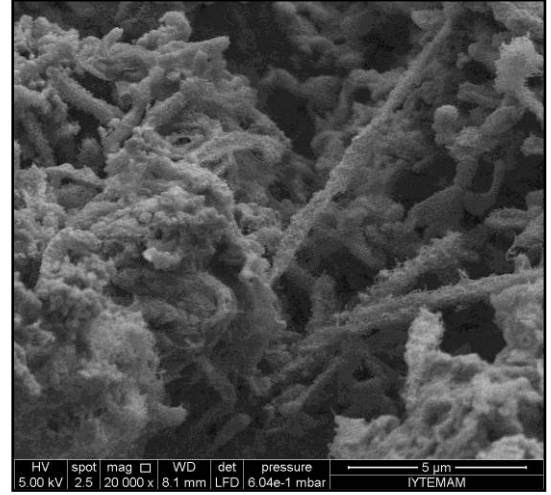
Çizelge 4.18. PP3 sıva harcı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.56	40.23	0.55	1.02	4.95	6.51	0.96	26.72	4.49

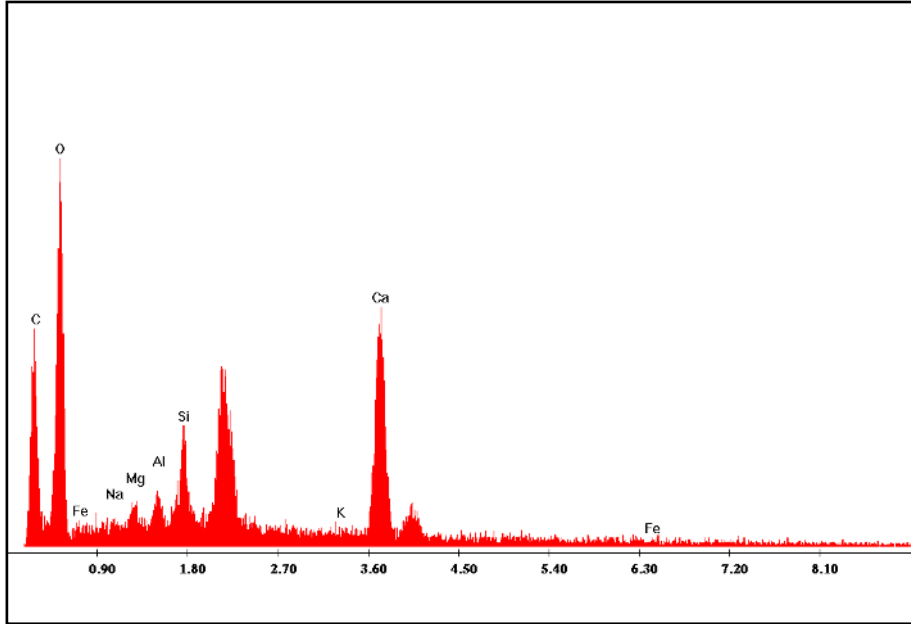
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.09	2.44	13.34	19.94	1.62	52.58	9



(50.000 x)



(20.000 x)



Şekil.4.26. GH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge 4.19. GH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

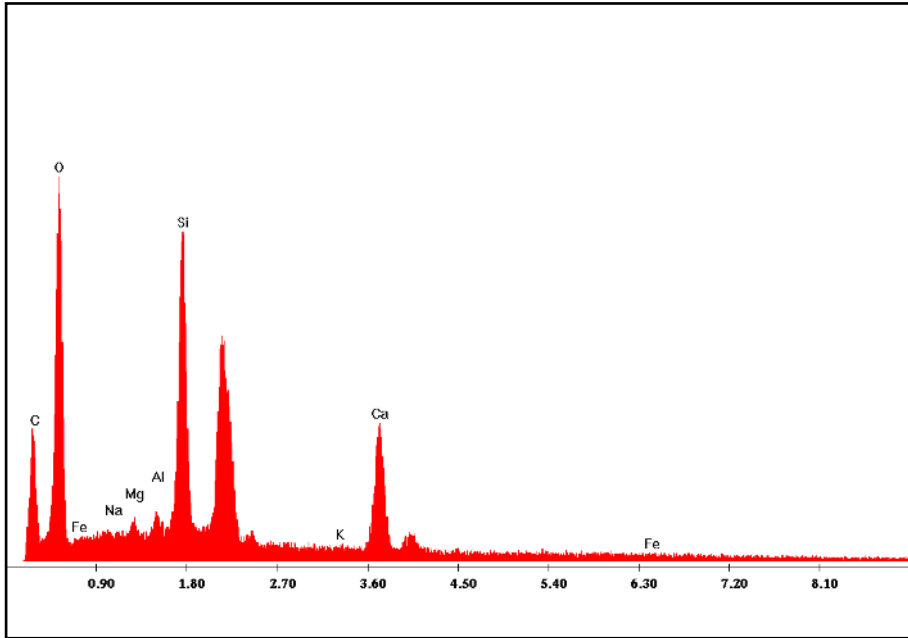
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	22.08	36.71	1.09	1.83	2.19	4.67	0.67	28.78	1.99



(5.000 x)



(5.000 x)



Şekil 4.27. GH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge 4.20. GH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	20.73	37.43	0.27	0.81	1.39	17.13	0.61	18.95	2.69

HT4 tuğla numunesinin SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, aluminyum, kalsiyum, demir; düşük oranlarda magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.23, Çizelge 4.16). Tuğlalarda, EDX ile yapılan kimyasal kompozisyon analizlerinden (Ek-2) Plakoma'da (2. yüzyıl), yüksek oranlarda silisyum, aluminyum; düşük oranlarda demir, magnezyum ve kalsiyum içerdiği belirlenmiştir. Sinagog'ta (5. yüzyıl) yüksek oranlarda silisyum, demir, magnezyum; düşük oranlarda aluminyum ve kalsiyum içerdiği belirlenmiştir. Granarium'da (6. yüzyıl) yüksek oranlarda silisyum, aluminyum, demir; düşük oranlarda, magnezyum, potasyum, sodyum ve kalsiyum içerdiği belirlenmiştir. Liman yapılarında (4. yüzyıl) yüksek oranlarda silisyum, aluminyum, demir; düşük oranlarda, magnezyum, potasyum ve kalsiyum içerdiği belirlenmiştir. Kuzey yerleşim'de (6. yüzyıl) yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum, demir; düşük oranlarda aluminyum, magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği belirlenmiştir. Tiyatro'da (2. yüzyıl) yüksek oranlarda silisyum, aluminyum, kalsiyum, demir; düşük oranlarda magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği belirlenmiştir. Hamam'da (3. yüzyıl) yüksek oranlarda silisyum, aluminyum, kalsiyum, demir; düşük oranlarda magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği belirlenmiştir. Tuğlaların yüksek oranda demir içerdiği görülmektedir. Tuğlaların hazırlanmasında kullanılan düşük miktarda demir oksit içeren kilin, daha fazla kullanılarak üretildiği ile açıklanabilir. Eğer bu tür kilin kullanılması kasıtlı gerçekleşmiş ise bunun sebebini demir içeriğinin fazla olmasının sinterlenme özellikleri üzerinde olumlu etkisinden kaynaklandığı düşünülebilir. Myra'da bulunan Hamam ve Tiyatro'da kullanılan tuğlaların, farklı yüzyıllarda üretilmelerine rağmen aynı içerikli olmaları kompozisyonlarında çok değişiklik yapılmadıysa hammaddelerinin aynı kaynaktan alındığını göstermektedir. Andriake'de bulunan Granarium, Sinagog, Liman yapıları, Plakoma'da düşük miktarda kalsiyum içeren kil kaynakları kullanılarak tuğlalar üretilmişlerdir. Andriake Kuzey Yerleşimde ise kalsiyum oranı çok yüksek kil kullanıldığı görülmektedir. Tuğlaların camsı olma sıcaklığının 800-1000°C arasında olduğunu söylemek mümkündür. Tuğla numunelerinin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntülerinden ise camsı yapının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum tuğlaların düşük sıcaklıklarda pişirilmiş olduklarını doğrulamaktadır. XRD analizlerinde yüksek sıcaklıkta oluşan mullit piklerinin görünmemesi sıcaklığın 900°C' yi

geçmediğini göstermektedir. Tuğlalar homojen bir yapıda olmayıp iri doğal agregaları ve tuğla kırıklarını içermektedir.

TS1 taş numunesinin SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda kalsiyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.24, Çizelge 4.17). Taş numunesinin bu sebeple kireçtaşı olduğu anlaşılmaktadır. PS1 taş numunesinde kalsit minerallerinin tipik SEM analiz görünümüdür. Fe ve Mg elementleri, CaCO_3 kimyasal bileşimine sahip olan kalsit minerallerinin bünyesine çok az eser miktarlarda girebilir. Burada da Fe ve Mg miktarları çok az görünmektedir.

PP3 sıva numunesinin SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, alüminyum, kalsiyum, demir; düşük oranlarda magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.25, Çizelge 4.18). PP3 sıva numunesinde kalsit minerallerinin tipik SEM analiz görünümüdür. Benzer şekilde Fe ve Mg elementleri, kalsit minerallerinin bünyesine girebilen elementlerdir. SEM görüntüsünde iğnemsili şekilli mineraller de illit veya serpenatin grubu mineraller (Krizotil) olabilir. Başka bir deyişle EDX spektrumundaki Ca, C ve O dışındaki diğer elementler bu minerallerden geliyor olabilir. Sıvada kullanılan agregaların EDX analizlerinde (PP3) yüksek oranda silisyum dioksit ile alüminyum oksit içermesi ve bunların puzolanik özellik göstermesi, kireç ve agregaların ara yüzeyinde dayanımı arttıran kalsiyum silikat hidrat ve alüminat hidrat yapılarının oluşmuş olabileceğini göstermektedir. Sıva numunesinin SEM görüntülerinde, agregalar ile harç matriksinin birbirleri ile iyi bir şekilde bağlandığı, ara yüzeylerde ağsı ve iğnemsili dokudan oluşan yapıların bulunduğu gözlenmiştir.

GH5 harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.26, Çizelge 4.19). GH5 harcı numunesinin agrega kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum, potasyum ve sodyum içerdiği saptanmıştır (Şekil 4.27, Çizelge 4.20). Ek-2’de iğnemsili ve çubuksu görüntüsüyle diğer harçlardan farklı olan LH1 harç numunesinde kalsit minerallerinin tipik SEM analiz görünümüdür. İğnemsili, çubuksu şekilli mineraller muhtemelen

aluminyum silikat grubu minerallerden biri olabilir. Bu grupta çok sayıda mineral (andaluzit, disten, sillimanit, halloysit, kloritoyid, kaolinit vs.) bulunmaktadır. Çubuksu şekilli olanlar burada halloysit minerallerinin SEM görüntüsüyle uyum göstermektedir.

Myra ve Andriake’de bulunan yapılarda kullanılan Roma, Bizans ve Selçuklu dönemlerindeki harçlar, kalsit ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Kalsit minerali, bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kuvars minerali ise kullanılan agregaların genellikle silisyum mineralini içerdiğini göstermektedir. SEM/EDX ile yapılan analizlerde bunların yüksek oranlarda kalsiyum içermesi harçların hazırlanmasında saf kirecin kullanıldığını göstermektedir. Harçların SEM görüntülerinde, agregalar ile harç matrisinin birbirleri ile iyi bir şekilde bağlandığı, ara yüzeylerde ağsı ve iğnemsî dokudan oluşan yapıların bulunduğu gözlenmiştir. Ara yüzeylerin EDX ile yapılan kimyasal kompozisyon analizlerinde kalsiyum, silisyum ve alüminyum elementleri gözlenmiştir. Harç matrisinde kalsiyum, agregalarda ise silisyum miktarları ara yüzeylerden daha fazladır. Bu sonuçlar, kireç ile puzolanik agregaların reaksiyona girerek ara yüzeylerde hidrolik reaksiyon ürünlerini, kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) ve kalsiyum-alüminat-hidratları (C-A-H) oluşturduğunu göstermektedir. Bu ürünlerin oluşumu, harçlara yüksek mekanik özellikler kazandırmaktadır.

Harçlarda kullanılan agregaların EDX analizlerinde (PH2, SH2, KH1, HH4) yüksek oranda silisyum dioksit ile aluminyum oksit içermesi ve bunların puzolanik özellik göstermesi, kireç ve agregaların ara yüzeyinde dayanımı arttıran kalsiyum silikat hidrat ve alüminat hidrat yapılarının oluşmuş olabileceğini göstermektedir. Harçlarda bağlayıcı kısımdan alınan SEM görüntülerinde kalsit kristallerinin arasında bağ şeklinde uzanmış formu kalsiyum silikat oluşumu olarak yorumlanabilir. Bağlayıcı agrega ara yüzeyindeki jelsi yapılar (GH6, GH8, GH10, GH11) harçta kalsiyum silikatlı bileşikler olduğunu göstermektedir. Harcın bağlayıcı kısmında aluminyum ve silisyumun yer alması, XRD analizinden de (SH1, LH1) yararlanıldığında kalsiyum silikatlı bileşiklerin varlığına işaret eder. Agrega kısmında görülen magnezyum elementinin tuğla kırığı agregalarından kaynaklandığı söylenebilir.

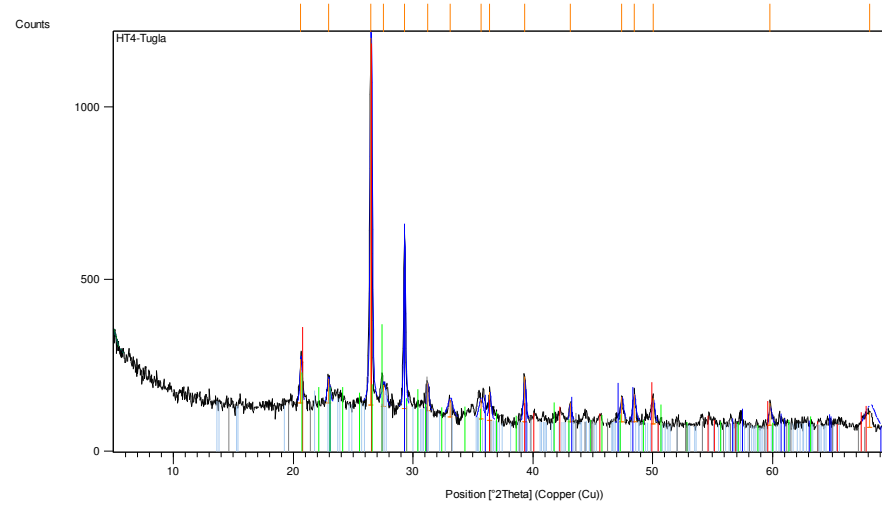
Kirecin hammaddesi kireçtaşı, yüksek oranda kalsit mineralleri içeren tortul bir kayaç türüdür. Kireçtaşı, çoğunlukla dolomit içerir. Dolomit, kalsiyum ve magnezyum karbonat ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) içeren bir tür mineraldir. Kireçtaşı içerisindeki dolomit yüzdesi, %50'den fazla ise kireçtaşı, dolomit oranı %10 ile %50 arasında ise kireç taşı dolomitik kireçtaşı olarak, %10'nun altında ise tabii kireçtaşı olarak adlandırılır (Arıkan 2009). Harçların EDX analizlerinde bağlayıcı kısmında magnezyum oranının %10'un üzerine çıkmaması ve XRD analizlerinde ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) fazının miktarının (sadece GH8) oldukça düşük olması nedeniyle belirgin olarak görülmemesi, harçlarda bağlayıcı olarak kullanılan kirecin tabii kireçtaşından elde edildiğini göstermektedir.

Ayrıca SEM/EDX analizlerinde karbon elementlerinin varlığı, numunelerin reolojisini ve mekanik özelliklerini geliştirmek için harca katılan organik katkıları (bitkisel, hayvansal) kullanıldığına işaret eder (Genestar ve Pons, 2003). Çizelge 4.13-4.14'de görüldüğü üzere deney yapılan 38 numuneden 27 tanesinde protein ve yağ varlığı, bunu destekler niteliktedir.

Özgün Roma ve Bizans harçları kireç, agrega ve doğal puzolan kullanılarak hazırlanan hidrolik harçlardır. Bizans harçlarının yapımında, Roma harçlarından farklı olarak puzolanik tuğla kırıkları da kullanılmıştır. Doğal puzolan ile birlikte puzolanik tuğla kullanımının nedeni anlaşılamamakla birlikte, bu kullanım, Bizans harçlarının Roma harçlarından ayırt edilmesini sağlamaktadır (Özkaya-Aslan vd 2006). Bu çalışmada Roma dönemi harçlarda da (PH2, GH8, GH10, TH1, TH2, TH3, TH4, TH5) tuğla kırıklarının kullanılması (Çizelge 4.4) Özkaya-Aslan vd (2006) çalışmasını desteklememektedir.

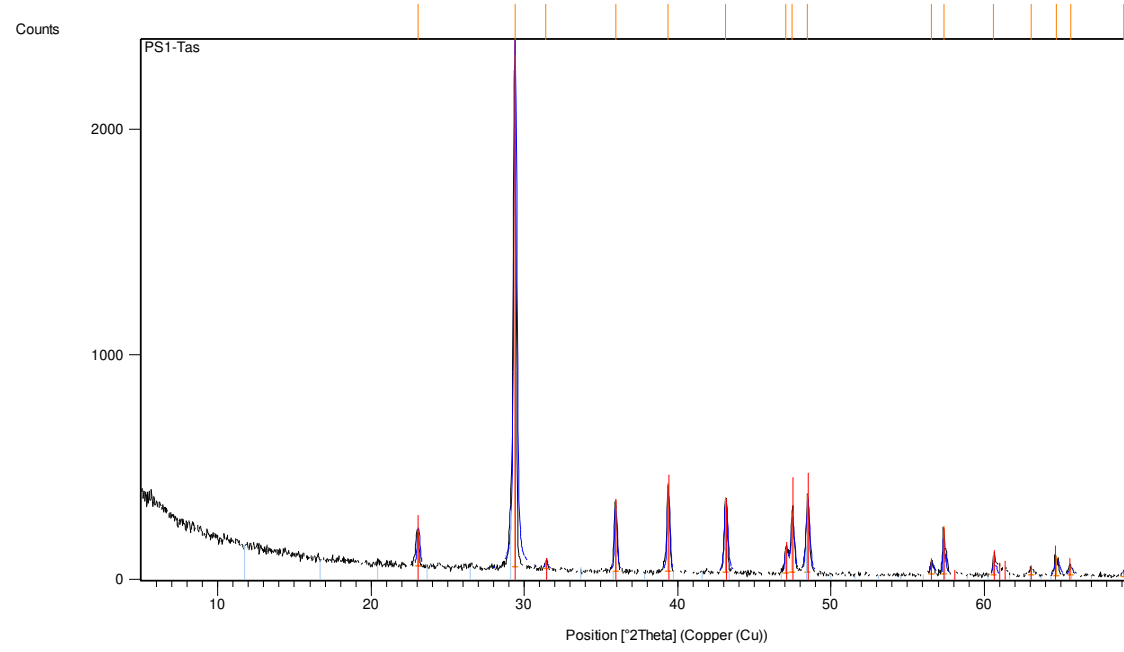
XRD analizi

Tuğla, taş, sıva, harç toplam 54 numune üzerinde yapılan XRD analizleri sonucunda benzer numuneler belirlenerek 18 numunenin patern tayini ile bileşiklerin adı, kimyasal formülü, kristal sistemleri, birim hücre parametreleri belirlenmiştir. Analiz sonuçları Ek-3'de verilmiştir. Bu kısımda tuğla, taş, sıva, harç numunelerinden birer örnek alınarak değerlendirilmiştir.



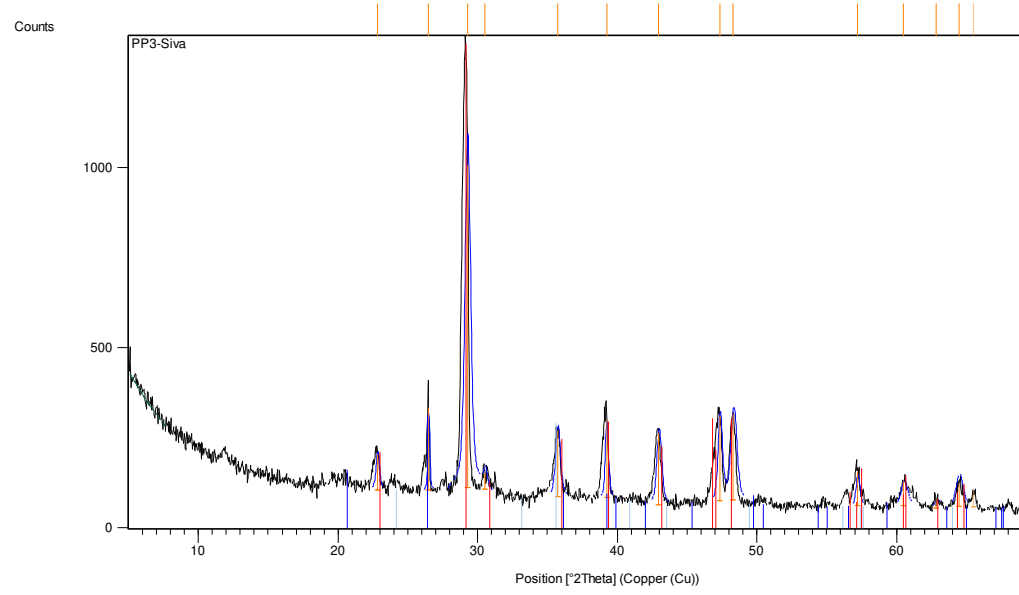
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-089-8937	α -SiO ₂ , Quartz α	SiO ₂	Hexagonal	4.9384	4.9384	5.4213	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-086-2340	Calcite high	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9800	4.9800	17.2240	90.00	90.00	120.00	6.00
	00-001-0705	Microcline	KAlSi ₃ O ₈	Unknown							
	01-083-1590	Dipotassium calcium carbonate	K ₂ Ca (C O ₃) ₂	Rhombohedral	5.3870	5.3870	18.1600	90.00	90.00	120.00	3.00

Şekil 4.28. HT4 tuğla numune XRD grafiği



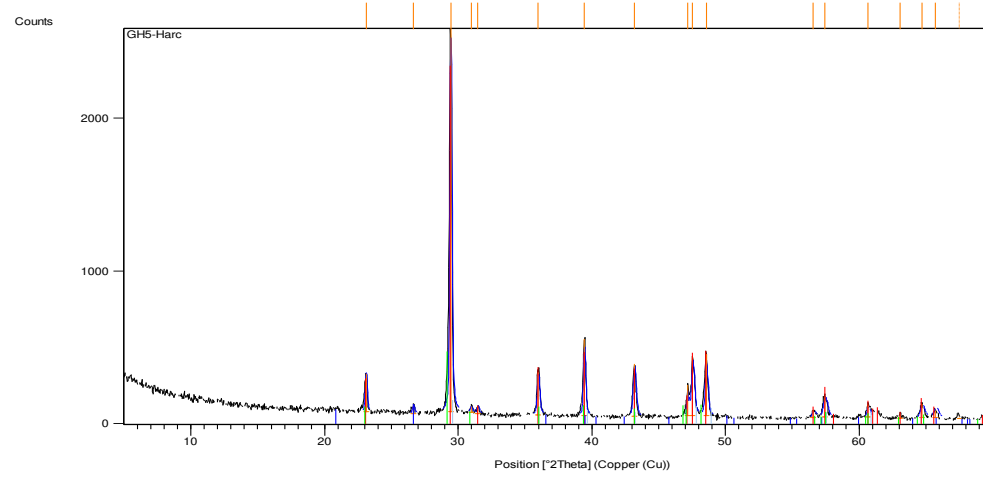
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ^o
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-083-1762	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00

Şekil 4.29. PS1 taş numune XRD grafiği



Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-086-2341	Calsite high	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-074-1811	α-SiO ₂	SiO ₂	Hexagonal	4.9650	4.9650	5.4240	90.00	90.00	120.00	3.00

Şekil 4.30. PP3 sıva harcı XRD grafiği



Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-086-2334	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	03-065-0466	Quartz low,syn	SiO ₂	Hexagonal	4.9509	4.9509	5.4285	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-086-2341	Calsite high	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00

Şekil 4.31. GH5 harcı XRD grafiği

Bütün tuğla numunelerinde kuvars, çeşitli feldispatlar ve kalsit mineralleri gözlenmektedir. Kalsit (CaCO_3) piklerinin hemen hemen her numunede tespit edilmiş olması, tuğlaların 750-900°C'ler arasındaki sıcaklıklarda pişirildiklerini tahminde yardımcı olmaktadır (Lopez-Arce ve Garcia-Guinea 2005). XRD ile tespit edilen mineraller, tuğlaların pişirilme sıcaklıkları hakkında bilgi vermektedir. Tuğlaların yüksek sıcaklıklarda (900°C ve üstü) pişirilmesi amorf yapılarında bozulmaya ve spinel, mullit, kristobalit gibi yüksek sıcaklık ürünlerinin oluşmasına neden olmaktadır. İncelenen 14 adet tuğlaların XRD kırınım desenlerinde mullit ve kristobalit gibi minerallerine rastlanmamış olması ve illit mineralinin gözlenmesi bu tuğlaların pişirilme sıcaklıklarının 900°C'yi geçmediğini göstermektedir. Hematitin varlığı ise tuğlaların 850°C civarında pişirildiklerini işaret etmektedir. HT2 tuğla numunesinde (hamam tuğlalarında) tespit edilen anortit mineraline yüksek sıcaklıklarda rastlandığından bu tuğlaların diğerlerine göre nispeten daha yüksek derecelerde pişirildikleri söylenebilir.

Kalsiyumca fakir olan killerde, ana ürünler (anortit, gehlenit, diopsit) oluşmaz (Cardiano vd 2004). 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). Hamam yapısındaki tuğlalar (HT2) hariç diğer tuğlalardaki sonuçlar bunu desteklemektedir. XRD analizlerinde belirlenen illit mineralleri bu tuğlaların zayıf puzolanik özelliğe sahip olmasına işaret etmektedir. İllit minerallerinin puzolanik özellik üzerinde genellikle olumsuz bir etki oluşturduğu belirtilmiştir (Kurugöl 2010). Çizelge 4.15'de görüldüğü üzere, deney yapılan 14 tuğla numunesinden 6 tanesinde iletkenlikler arası fark 0.40-0.61 mS/cm arası bulunduğundan puzolanik aktiviteye sahip olduğu, geri kalan 8 numunede iletkenlikler arası fark 0.40 mS/cm'den küçük değer bulunduğundan puzolan olmadığını göstermesi bunu doğrulamaktadır. Tuğlaların kırınım desenlerinde 20-30 derece 2 θ aralığında gözlenen eğim artışı ise amorf yapıların varlığını göstermektedir. PT2 tuğla numunesinde, kuvars, manganolan ve rustumite mineralleri tespit edilmiştir. Az miktarda amorf silis ve hematit mineralleri de saptanmıştır. Fe elementi hematit mineralinden kaynaklanmaktadır. Kalsit ve Feldispat grubu mineral gözlenmiştir. Çok çok az illit minerali gözlenmektedir.

ST4 tuğla numunesinde, kuvars, nitratine, huhnerkobel mineralleri tespit edilmiştir. Numunede amorf silis gözlenmiştir. Ayrıca mika ve çok çok az klorit grubu minerallerde saptanmıştır. Hematit minerali de gözlenmiş olup, Fe elementi buradan kaynaklanabilmektedir. Mg, Fe elementi klorit grubu minerallerden kaynaklanırken, Fe, Al mika grubu minerallerde bulunabilmektedir. Ayrıca numunede kalsit ve feldispat grubu mineral gözlenmiştir. GT3 tuğla numunesinde, kuvars, kalsit, microcline mineralleri tespit edilmiştir. Numunede amorf silis gözlenmiştir. Çok az miktarda amfibol grubu ve hematit minerali saptanmıştır. LT1 tuğla numunesinde, kuvars, kalsit, calcium magnesium catena-disilicate, clinoenstatite mineralleri saptanmıştır. Çok az miktarda killeşme mika/illit minerali gözlenebilmektedir. Mg elementi klinoenstatit mineralinden kaynaklanabilmektedir. Çok çok az hematit minerali belirlenmiştir. Al ve Ti yüksek olması illit mineralinden kaynaklanabilmektedir. Çok az amorf silis gözlenmiştir. Serpantin minerali de gözlenmiştir. TT1 tuğla numunesinde, kuvars, kalsit, manganolan gbeinite syn, moissanite syn mineralleri tespit edilmiştir. Çok az amorf silis gözlenmiştir. Çok az hematit minerali bulunmaktadır. Numunede eser miktarda mika minerali gözlenmiştir. Ayrıca numunede feldispat grubu mineral tespit edilmiştir. Na, Al ve Ca feldispatlardan kaynaklanabilmektedir. Ti feldispat ve mika grubu minerallerde gözlenebilmektedir. Çok çok az miktarda amfibol grubu mineral gözlenmiştir. HT2 tuğla numunesinde, kuvars, kalsit, anortit, ordered, iron (III) oxide mineralleri saptanmıştır. Amorf silis miktarı fazladır. Fe'ce zengin hematit minerali gözlenmiştir, Mika ve Mg'ca zengin serpantin grubu mineralde gözlenmiştir. Al elementi feldispat grubu mineral ve illit mineralinden gelebilmektedir. HT4 tuğla numunesinde, kuvars, kalsit, microcline, dipotassium calcium carbonate minerali saptanmıştır. Çok az miktarda hematit mineralide gözlenmiştir. Numunede az miktarda amorf silis görülmektedir. Numunede mika ve serpantin grubu minerallerde gözlenmiştir. Mika grubu mineral, illit kil mineralini içerebilmektedir. Fe elementi hematit mineralinden kaynaklanabilmekte, Mg ise serpantin veya mika mineralinden bulunabilmektedir.

Bu analiz sonuçları doğrultusunda tuğla üretiminde kullanılan hammadde kaynaklarının birbirine yakın yerlerden ya da aynı kaynağın değişik katmanlarından elde edildikleri ileri sürülebilir.

Taş numunelerin XRD analizlerinde kalsit ana bileşendir. SEM/EDX analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilirse; PS1 taş numunesinde, kalsit minerali tespit edilmiştir. Fe elementi genelde opak minerallerden kaynaklanabilmektedir. Numunede X-ışınlarında gözlenemeyen eser miktarda manyetit, pirit veya hematit minerali olabilmektedir.

Harç ve sıvaların XRD ile yapılan mineralojik analizlerinden, kalsit ve kuvars mineralleri gözlenmiştir. Kalsit minerali, bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kuvars minerali ise kullanılan agregalarının genellikle silisyum mineralini içerdiğini göstermektedir.

Numunelerin içerisinde bulunan mikaların varlığı; kahverengi ve yeşil amfibollere, piroksenlere ve metamorfik kırıntılara bağlıdır (Riccardi vd 1998). Ortamda hematit ve opal minerallerinin (kuvars'a yakın) bulunması, bu harcın kırılmış tuğla kireç harcı olduğunun en önemli belirtisidir (Viaene vd 1997).

PP3 sıva numunesinde, yüksek kalsit ve α -SiO₂ tespit edilmiştir. Çok az miktarda amorf silis saptanmıştır. Çok az miktarda mika/illit minerali ve serpantin grubu mineral gözlenmiştir. Al elementi mika/illit mineralinden kaynaklanabilmektedir. Eser miktarda dolomit mevcuttur.

PH2 harç numunesinde, kalsit ve coesit mineralleri tespit edilmiştir. Mg elementi kalsitin Mg'ca zengin olduğunu göstermektedir. SH1 harç numunesinde, kalsit, kuvars, mullit, Ice-1H, syn mineralleri saptanmıştır. Eser miktarda Hematit minerali gözlenmiştir. Çok az miktarda serpantin grubu mineral ve mika/illit minerali gözlenmiştir. Al elementi illit mineralinden kaynaklanırken, Mg serpantin grubu mineralden, Fe, Na elementleri mika mineralinden kaynaklanabilmektedir. GH5 harç numunesinde, kalsit, çok çok az kuvars ve eser dolomit minerali saptanmıştır. Ca elementi kalsit mineralinden kaynaklanırken, Mg miktarı Mg'ca zengin kalsit mineralini gösterebilmektedir. Silisyum elementi kuvars mineralinden kaynaklanır. Bu örnekte %1'den az opak mineraller yer almaktadır. Bu nedenle Mg, Fe, Al saptanmıştır.

GH8 harç numunesinde, manganocalcite, kutnohorite, gupeiite (Fe_3Si) mineralleri saptanmıştır. Numunede amorf silis gözlenmektedir. Cr elementi Fe elementi yerine geçebilmektedir. Serpantin grubu mineral ve mika/illit çok az miktarda numunede bulunabilmektedir.

LH1 harç numunesinde, kristobalit, dialuminyum silikat oksit mineralleri saptanmıştır. Kalsit, az dolomit ve çok az kristobalit bulunmaktadır. Mg elementi dolomit mineralinden gelmektedir. Çok az miktarda serpantin ve mika/illit mineralide gözlenebilmektedir.

TDH1 harç numunesinde, kalsit, SiO_2 , sodium hydrogen amidophosphate mineralleri tespit edilmiştir. Ayrıca eser miktarda dolomit minerali gözlenmiştir. Mg elementi dolomit ve kalsit mineralinden kaynaklanabilmektedir.

TH1 harç numunesinde, kalsit ve az kuvars mineralleri tespit edilmiştir. Çok az amorf silis gözlenmiştir. Çok az miktarda mika/illit ve serpantin grubu minerale rastlanılmıştır. Al elementi illit mineralinden kaynaklanabilmektedir. Cr, serpantin minerallerinde gözlenebilmektedir.

TH3 harç numunesinde, kalsit, potassium nitrate, iron oxide, calcium iron catena-disilicate, clinopiroksen, Coesite mineralleri tespit edilmiştir. Çok çok az amorf silis gözlenmiştir. Numunede serpantin grubu mineraline de rastlanmıştır. Cr, Mg, Fe, elementleri serpantin grubu minerallerde gözlenmektedir. Serpantin minerali ve içerdiği Cr, Mg elementleri ofiyolitik kaynaktan bölgeye getirim olduğunu göstermektedir. Çalışma havzasında bulunan kayaçlar kuzeyde bulunan ofiyolitik melanj ve batıda bulunan Marmaris peridotitinden (Marmaris ofiyolit napı) kaynaklanmaktadır. Cr elementi Fe^{+2} yerine geçebilmektedir. Klinopiroksende Mg, Ti elementi gözlenebilmektedir. Eser miktarda mika/illit grubu mineral gözlenmiştir.

HH1 harç numunesinde, kalsit ve silicon oxide minerali saptanmıştır. Eser miktarda serpantin minerali gözlenmiştir (Mg'ca zengin). Kalsit Mg'ca zengin olmaktadır. P elementi biyojenik sedimanlarda gözlenebilmektedir.

XRF analizi

Çizelge 4.21. Tuğla numune temel oksit sonuçları.

NUMUNE	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	KIZDIRMA KAYBI	TOPLAM	HI	CI
PT2	1.236	5.045	13.450	52.670	0.260	2.223	10.970	1.086	8.246	4.775	95.186	4.644	9.319
ST4	1.262	6.032	14.200	52.750	0.297	2.120	9.130	1.167	7.688	5.000	94.646	4.923	9.599
GT2	1.309	5.443	14.210	53.610	0.444	1.990	10.400	0.862	6.429	5.000	94.697	4.687	9.447
LT1	1.144	5.417	13.130	48.840	0.178	2.157	11.670	0.839	6.321	10.000	89.696	3.997	8.083
TT1	1.115	4.449	11.360	46.740	0.176	1.636	10.230	0.762	5.306	17.978	81.774	4.320	8.936
HT2	1.050	5.242	13.180	50.780	0.170	1.629	13.350	0.775	6.552	7.000	92.728	3.793	7.795
HT3	1.637	9.249	6.634	36.390	0.109	0.950	16.270	0.393	4.599	22.636	76.231	1.866	3.847
HT4	1.127	5.126	12.550	50.060	0.187	1.977	12.950	0.818	5.902	9.000	90.697	3.790	7.856

Çizelge 4.22. Tuğla numune eser oksit sonuçları.

NUMUNE	Cr ₂ O ₃	MnO	CoO	NiO	CuO	ZnO	PbO	TOPLAM
PT2	0.033	0.052	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.099
ST4	0.049	0.056	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.119
GT2	0.047	0.031	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.092
LT1	0.060	0.021	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.095
TT1	0.041	0.029	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.084
HT2	0.027	0.04	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.081
HT3	0.750	0.074	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.837
HT4	0.052	0.009	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.075

Çizelge 4.23. Taş numune temel oksit sonuçları.

NUMUNE	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	KIZDIRMA KAYBI	TOPLAM
PS1	0.991	0.041	0.003	0.002	0.004	0.014	49.400	0.004	0.107	49.121	50.566
TS1	0.850	0.197	0.018	0.002	0.096	0.012	50.970	0.000	0.123	47.419	52.268

Çizelge 4.24. Taş numune eser oksit sonuçları.

NUMUNE	Cr ₂ O ₃	MnO	CoO	NiO	CuO	ZnO	PbO	TOPLAM
PS1	0.076	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.093
TS1	0.072	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.089

Çizelge 4.25. Sıva numune temel oksit sonuçları.

NUMUNE	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	KIZDIRMA KAYBI	TOPLAM	HI	CI
PP3	0.773	4.730	4.089	14.710	0.131	0.181	33.970	0.324	3.127	36.798	62.035	0.567	1.179

Çizelge 4.26. Sıva numune eser oksit sonuçları.

NUMUNE	Cr ₂ O ₃	MnO	CoO	NiO	CuO	ZnO	PbO	TOPLAM
PP3	0.978	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.995

Çizelge 4.27. Harç numune temel oksit sonuçları.

NUMUNE	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	KIZDIRMA KAYBI	TOPLAM	HI	CI
PH2	0.543	1.248	2.171	6.596	0.199	0.220	41.540	0.120	1.033	46.037	53.670	0.229	0.499
SH1	0.905	5.937	2.095	16.410	0.223	0.109	36.850	0.127	1.876	35.098	64.532	0.476	1.098
SH3	0.933	1.119	1.046	3.525	0.265	0.016	47.520	0.052	0.718	44.434	55.194	0.109	0.235
GH2	0.655	1.782	3.248	9.213	0.526	0.302	42.270	0.161	1.575	40.000	59.732	0.319	0.681
GH5	0.662	3.071	1.917	7.492	0.260	0.117	44.620	0.102	1.451	40.000	59.692	0.228	0.493
GH6	0.923	3.746	2.221	8.099	0.122	0.008	42.820	0.273	2.349	38.000	60.561	0.272	0.557
GH8	0.908	4.930	2.853	14.080	0.157	0.146	36.150	0.284	2.433	37.138	61.941	0.471	1.028
LH1	0.795	6.213	4.171	13.330	0.087	0.100	29.200	0.604	5.128	35.698	59.628	0.639	1.201
LH3	0.778	4.855	1.672	11.650	0.112	0.088	34.090	0.107	1.513	44.789	54.865	0.381	0.869
LH5	2.259	3.458	2.959	12.430	0.178	0.424	29.610	0.142	1.502	44.653	52.962	0.511	1.135
TDH1	0.915	5.268	2.389	16.930	0.067	0.143	34.280	0.235	2.280	36.463	62.507	0.546	1.239
KH1	0.691	3.312	2.332	13.770	0.279	0.219	38.670	0.166	3.447	36.529	62.886	0.466	1.005
TH1	0.984	9.484	2.886	24.200	0.107	0.185	29.880	0.181	2.295	29.296	70.202	0.746	1.681
TH3	1.200	6.955	2.758	18.660	0.181	0.071	32.140	0.246	2.965	33.542	65.176	0.624	1.370
HH1	0.883	2.855	1.017	9.320	0.109	0.220	37.960	0.050	0.792	45.809	53.206	0.273	0.662
HH4	0.877	9.054	2.261	20.860	0.122	0.121	30.790	0.137	1.973	33.408	66.195	0.630	1.433
HH7	0.659	3.895	1.841	17.740	0.103	0.201	34.580	0.089	1.284	39.081	60.392	0.542	1.314

Çizelge 4.28. Harç numune eser oksit sonuçları.

NUMUNE	Cr ₂ O ₃	MnO	CoO	NiO	CuO	ZnO	PbO	TOPLAM
PH2	0.058	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.075
SH1	0.146	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.163
SH3	0.099	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.116
GH2	0.095	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.112
GH5	0.146	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.163
GH6	1.225	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	1.242
GH8	0.749	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.766
LH1	4.441	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	4.458
LH3	0.179	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.196
LH5	0.050	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.067
TDH1	0.883	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.900
KH1	0.334	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.351
TH1	0.243	0.046	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.301
TH3	1.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	1.020
HH1	0.135	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.152
HH4	0.138	0.031	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.183
HH7	0.308	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.325

Tuğla, taş, sıva ve harçların yapısını oluşturan temel oksitlerin ve eser oksitlerin % konsantrasyon miktarları X ışınları floresans (XRF) analizi ile belirlenmiştir. Antalya ili içerisinde yer alan Myra ve limanı Andriake’de Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemlerinde yapılmış olan tarihi yapılardan alınan tuğla, taş, harç ve sıva numunelerinin XRF analiz verileri Çizelge 4.21-4.28’de verilmektedir. Şekil 4.32’de bütün temel element diyagramları tüm malzemelerde ortak olarak bulunan CaO değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Tuğla numunelerin XRF analiz sonuçları (Çizelge 4.21) incelendiğinde CaO miktarı %9.13-16.27, taş numunelerin (Çizelge 4.23) %49.40-50.97, sıva numunesinin (Çizelge 4.25) %33.97, harç numunelerinin (Çizelge 4.27) %29.20-47.52 arasında değiştiği görülmektedir. Tuğlada gözlenen SiO₂ değerleri (%46.74-53.61) harç numunelerine göre daha dar bir alanda yayılım göstermektedir ve harç numunelerinin SiO₂ değerleri %3.53-24.20 aralığındadır. Sıva harcı içerisinde bulunan SiO₂ miktarı %14.71’dir. Taş numunelerin SiO₂ değeri ise sıfıra yakın değerdedir. Al₂O₃’e karşın CaO diyagramında tuğla numunelerinin Al₂O₃ değerleri (%11.36-14.21) çok yüksek olup harç numunelerinin Al₂O₃ değerlerinden (%1.02-4.17) belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Sıva numunesinde %4.09, taş numunelerinde sıfıra yakın değerdedir. CaO’ye karşın MgO diyagramında tuğla numunelerinin değerleri ise %4.45 ile 6.03 arasında değişirken, harç numunelerinin MgO değerleri çok değişken olup %1.12 ile 9.48 arasındadır. Sıva numunesinde %4.73 değerindedir. Taş numunelerde %0.04-0.20 arasında değişmektedir. Tuğla numunelerin XRF analiz sonuçları incelendiğinde Fe₂O₃ miktarı %4.60-8.25, taş numunelerin %0.11-0.12, sıva numunesinin %3.13, harç numunelerinin %0.72-5.13 arasında değiştiği görülmektedir. CaO’ye karşın Na₂O diyagramı değerlendirildiğinde tuğla numunelerinde Na₂O’nun harç ve sıva numunelerine göre yüksek olduğu %1.05-1.64 arasında değiştiği görülmektedir. Harç numunelerinin Na₂O değeri ise oldukça değişken olup %0.54 ile 1.20 arasında değer almaktadır. Sıva numunesinde %0.77 değerindedir. Taş numunelerinde %0.85-0.99 arasındadır.

Tüm harç ve tuğla örnekleri P₂O₅ bakımından %0.07-0.53 arasında değişen benzer değerlere sahiptir. K₂O değerleri ise tuğla numunelerinde harç numunelerine oranla daha yüksek değere sahiptir. K₂O değeri (%1.63–2.16) olasılıkla kilden yapılan tuğladaki K içeren kil minerallerinden kaynaklandığını işaret etmektedir. TiO₂ tuğla

numunelerinde (%0.76-1.17) harç numunelerine (%0.05-0.60) göre oldukça yüksektir. Bu durum, tuğla numunelerinde sıcaklıktan etkilenmeyen Ti ve Fe içeren metal bileşiklerin pişirme sırasındaki zenginleşmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Tuğlaya ait kızdırma kaybı değerleri pişirilme nedeniyle oldukça düşüktür. HT3 hamam numunesinin kızdırma kaybı (%22.6) diğer numunelere göre daha yüksektir. HT3 numunesinin kızdırma kaybı değerlerinin fazla oluşu karbonatlı mineral içeriklerinin de fazla bulunduğuna işaret etmektedir. Aynı zamanda MgO ve CaO oranlarının fazla olması da bununla ilgilidir.

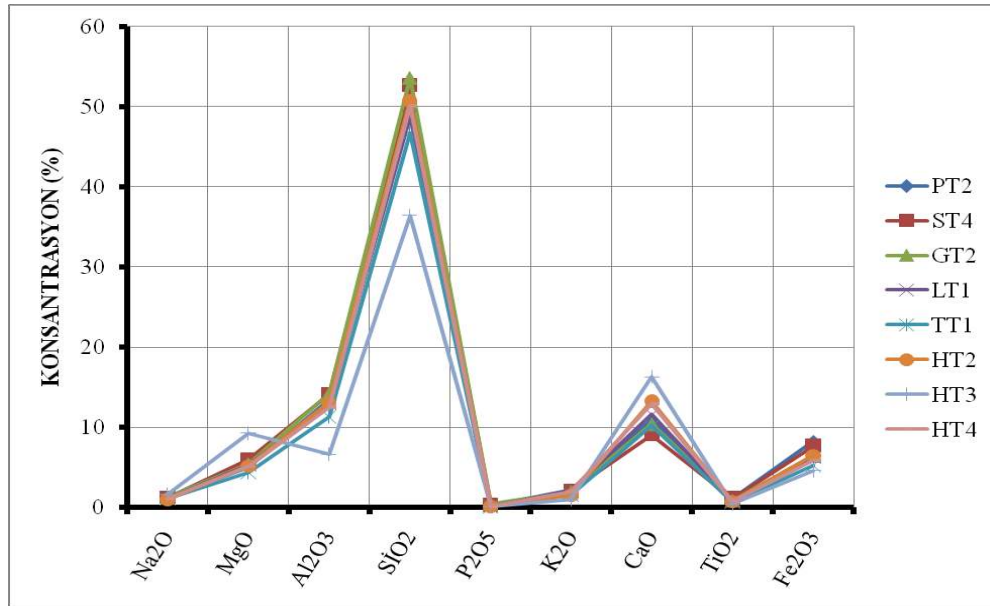
XRF analiz sonuçlarına göre tuğlaların temel oksit ve eser oksit % konsantrasyonları birbirleri ile benzerdir. Tuğlalar, yüksek miktarda SiO₂(% 46-53), Al₂O₃ (%11-14), CaO (%9-16), Fe₂O₃ (%4-8), MgO (%4-6) ve düşük miktarda K₂O (%1.6-2), Na₂O (%1-1.6), TiO₂ (%0.4-1), P₂O₅ (%0.1-0.4) içermektedir.

Tuğlaların yapısında bulunan eser oksitlerin miktarları, tuğlaların üretiminde kullanılan hammaddelerin kaynağı ile ilgili de bilgi sağlamaktadır. İncelenen tuğlaların eser oksit miktarları birbirine benzer özellik göstermektedir (Çizelge 4.22). Yalnızca HT3 hamamdan alınan tuğla örneğinin Cr₂O₃ yüzdesi diğer örneklerle göre farklılık göstermesine rağmen, tuğlaların üretiminde kullanılan hammaddenin ortak bir kaynaktan alınmış olabileceğini söylemek mümkündür.

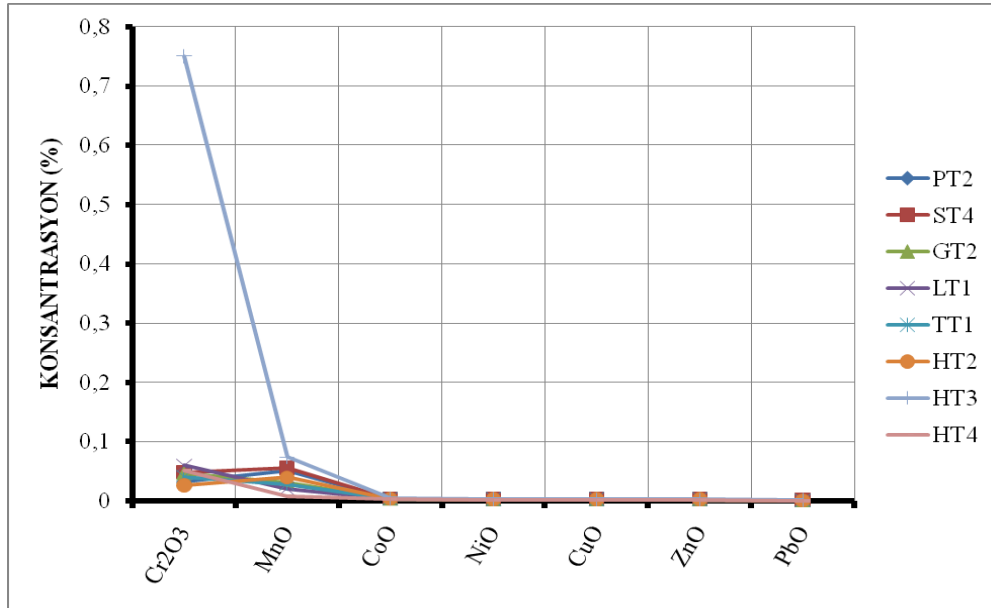
XRF analiz sonuçlarına göre harçların temel oksit ve eser oksit % konsantrasyonları birbirleri ile benzerdir. Harçlar, yüksek miktarda CaO (%29-47), SiO₂(% 3-24), MgO (%1-9) ve düşük miktarda Al₂O₃ (%1-4), Fe₂O₃ (%0.7-5), Na₂O (%0.5-2), K₂O (%0-0.4), TiO₂ (%0.05-0.6), P₂O₅ (%0.06-0.5) içermektedir. İncelenen harçların eser oksit miktarları birbirine benzer özellik göstermektedir (Çizelge 4.28). Yalnızca LH1 Liman yapılarından alınan harç örneğinin Cr₂O₃ yüzdesi diğer örneklerle göre farklılık göstermesine rağmen, harçların üretiminde kullanılan hammaddenin ortak bir kaynaktan alınmış olabileceğini söylemek mümkündür.

XRF analiz sonuçlarına göre taşların temel oksit ve eser oksit % konsantrasyonları birbirleri ile benzerdir. Taşlar, yüksek miktarda CaO (%49-50) ve çok düşük miktarda SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ içermektedir. İncelenen taşların eser oksit miktarları birbirine benzer özellik göstermektedir (Çizelge 4.24). Harç malzemesinin temel bileşenini kireçtaşları oluşturmaktadır. Tuğlaya ait XRF analiz değerleri, farklı dönemlerdeki tuğla numunelerinin tümünün tek bir kaynaktan üretildiğini göstermektedir. Farklı dönemlerde inşa edilen yapılarda kullanılan harç malzemesi bölgede dağılım sunan kayalardan üretilmiştir ve dönemsel olarak harç kimyasında bir farklılık gözlenmemektedir.

Ayrıca XRF analizi ile elde edilen elementlerin konsantrasyonu, harçların hidrolik dereceleri hakkında yararlı bilgiler ortaya çıkarmaktadır. XRF analizinin verileri kullanılarak, hidrolik indeks ve çimento indeksi hesaplanmıştır. Bu indeksler harçların hidrolik özellikleri için önemlidir. İndeksi en yüksek olan harcın, hidrolik ve çimentolaşma özelliği en yüksektir. Buna göre Çizelge 4.27’de görüldüğü üzere hidrolik indeksi 0.109-0.746, çimento indeksi 0.235-1.681 arasında değerler almaktadır. TH1 numunesi hidrolik özelliği en yüksek, SH3 numunesi en düşük hidrolikliğe sahip numunelerdir.

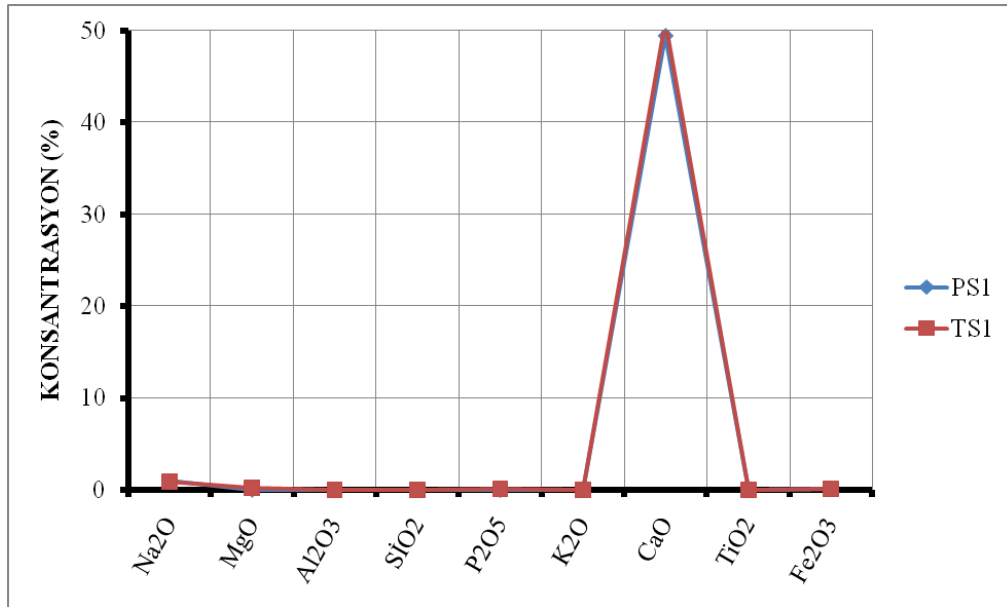


(a)

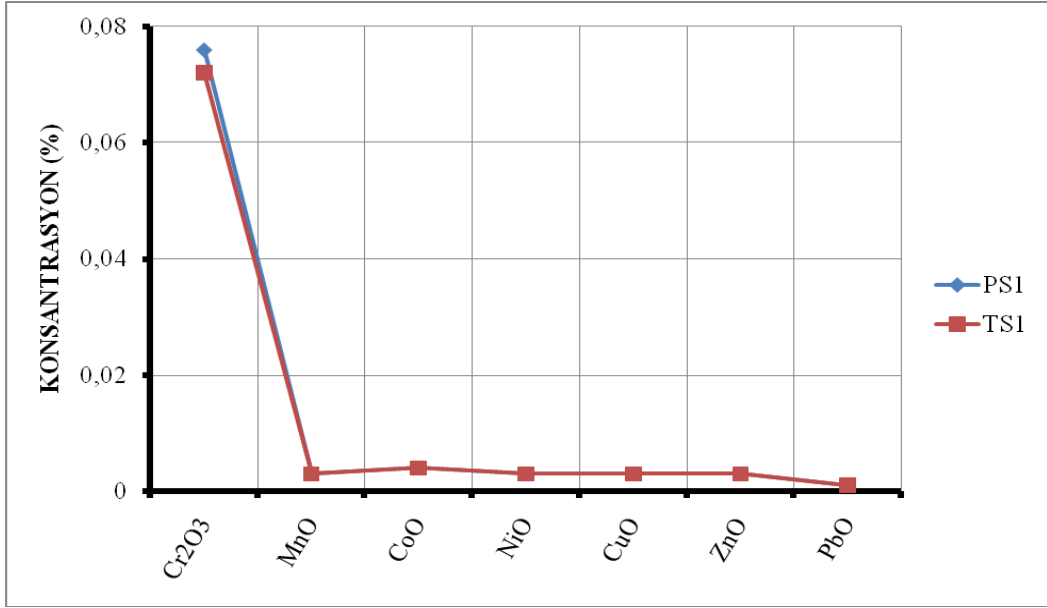


(b)

Şekil 4.33. Tuğlaların temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları

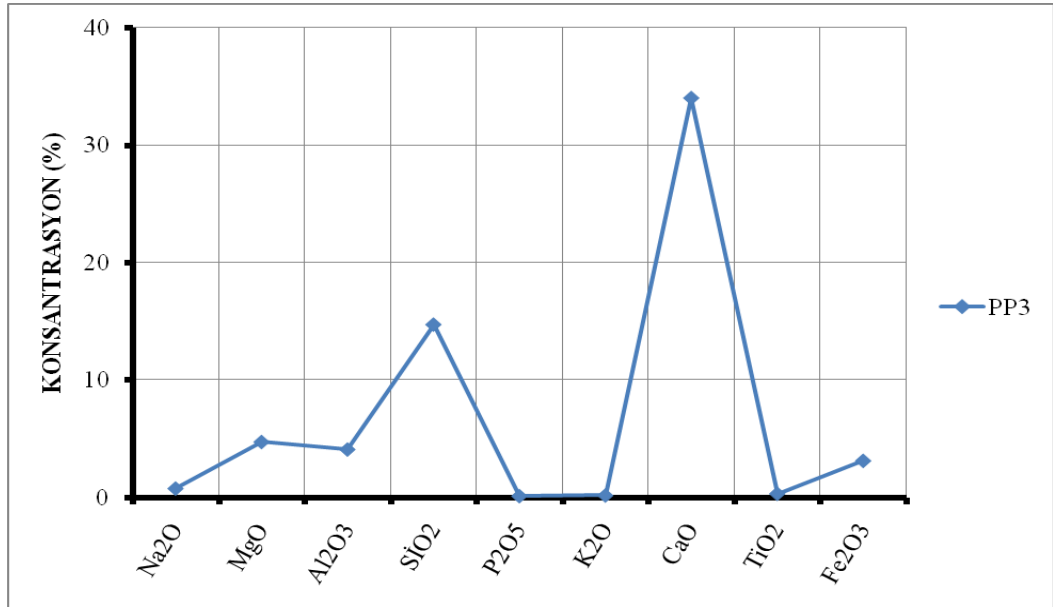


(a)

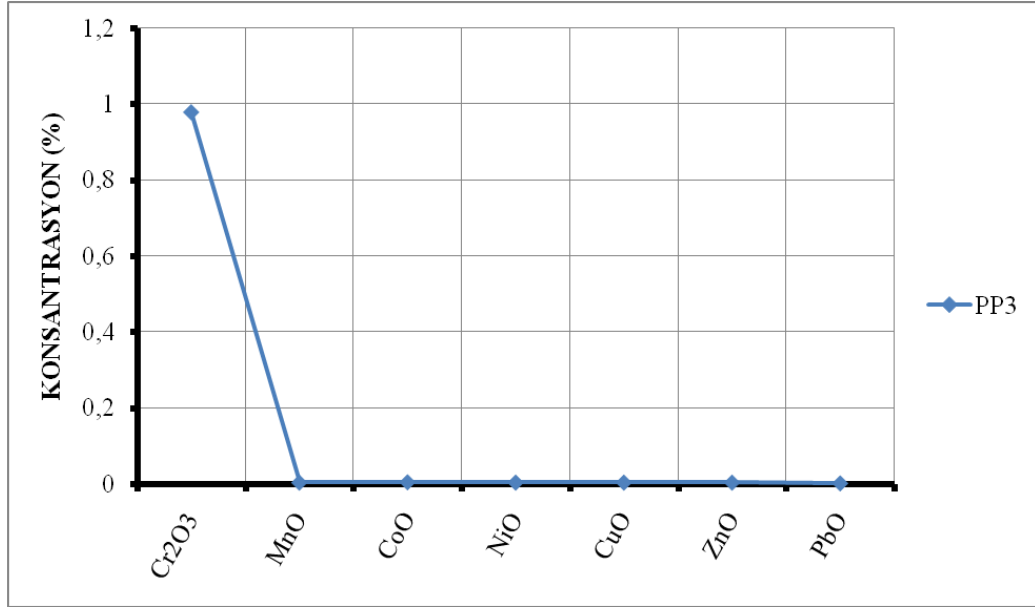


(b)

Şekil 4.34. Taşların temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları

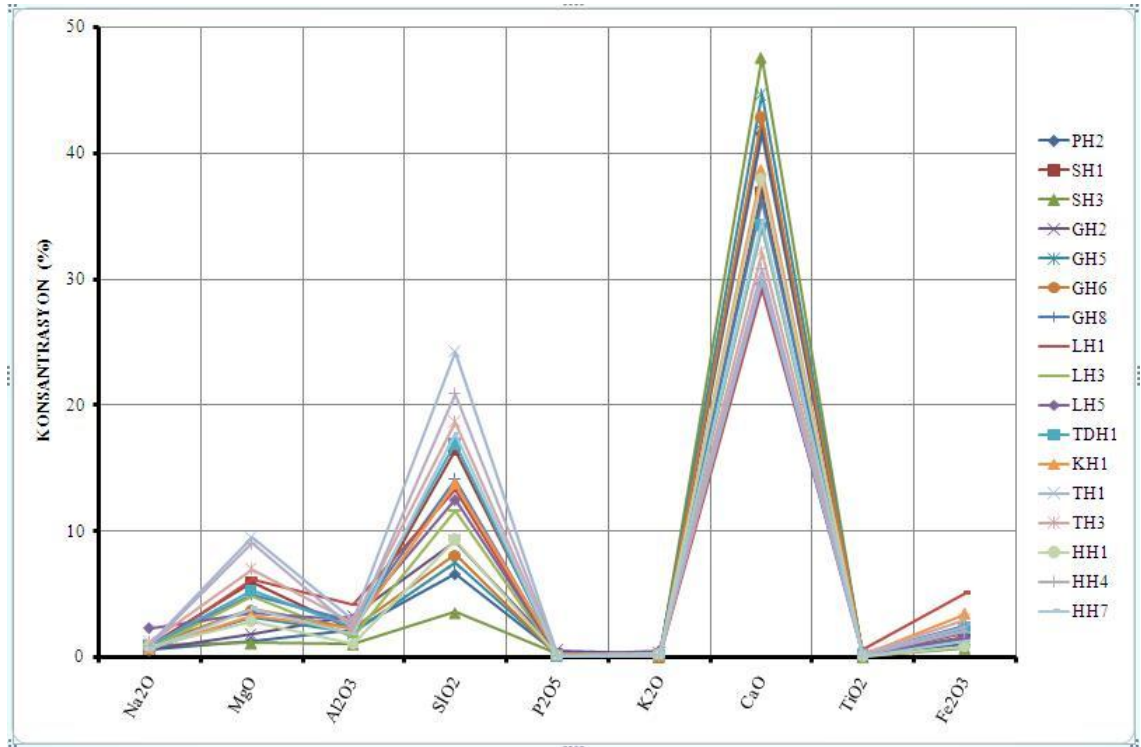


(a)

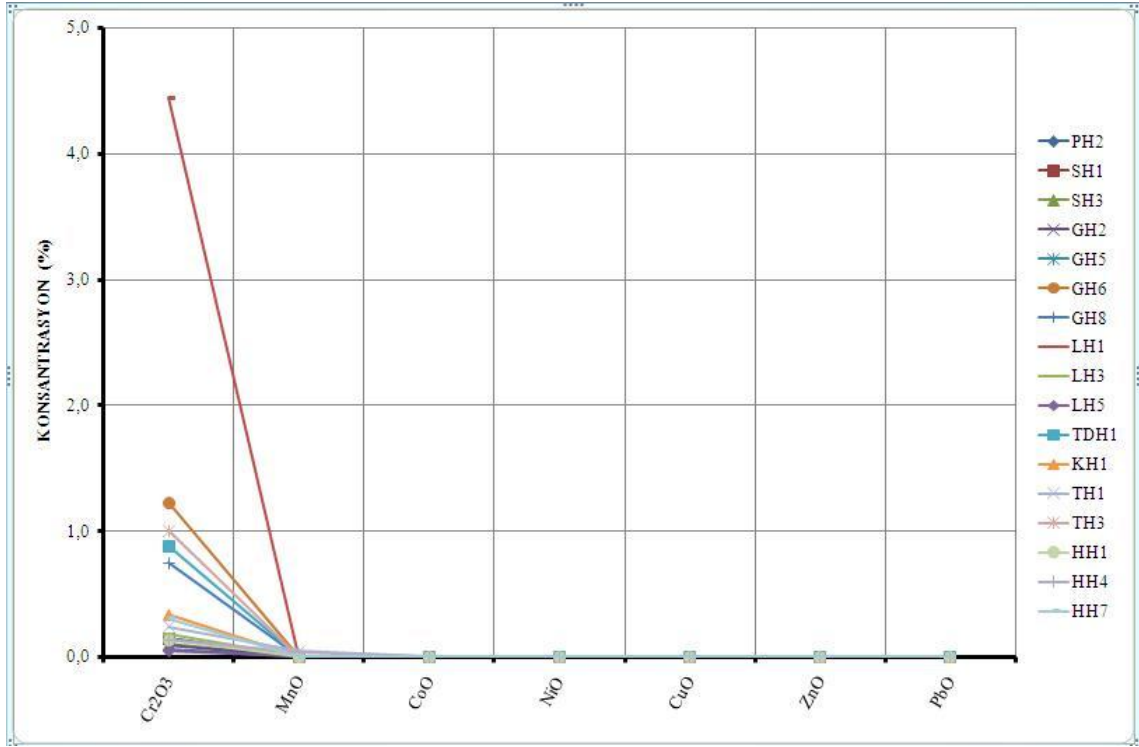


(b)

Şekil 4.35. Sıvanın temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları



(a)

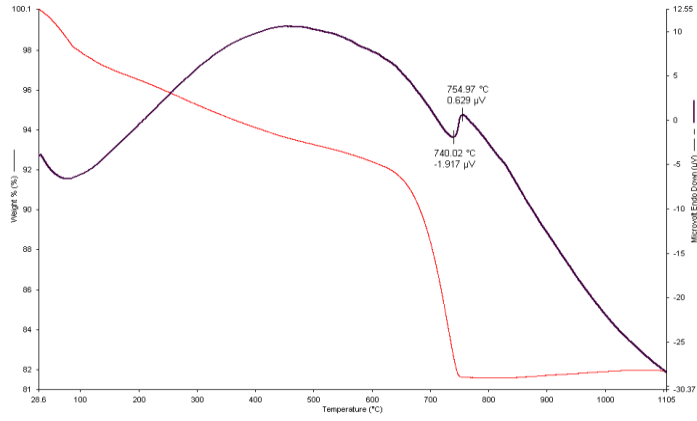


(b)

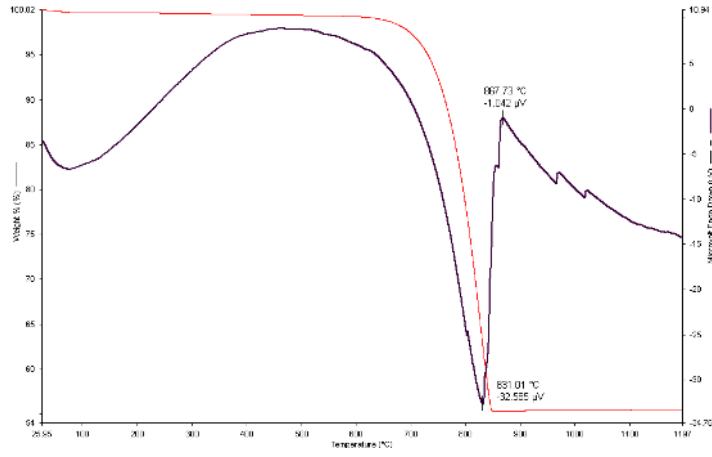
Şekil 4.36. Harçların temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları

Termal analizler

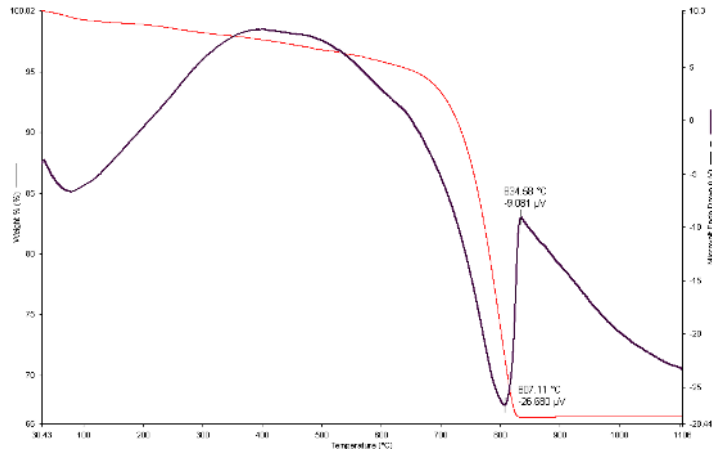
Tuğla, taş, sıva, harç toplam 28 numune üzerinde yapılan TG/DTA analizleri sonucunda belirli sıcaklık aralıklarında gerçekleşen kütle kayıpları (Çizelge 4.29-4.32) belirlenmiştir. Numuneler 1200°C 'ye kadar ısıtılarak oluşan termik reaksiyonlar endotermik (dışarıdan ısı alan) ve ekzotermik (dışarıya ısı veren) pikleri birlikte değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.37-4.40). Analiz sonuçları Ek-4'de verilmiştir. Bu kısımda tuğla, taş, sıva, harç numunelerinden birer örnek alınarak değerlendirilmiştir.



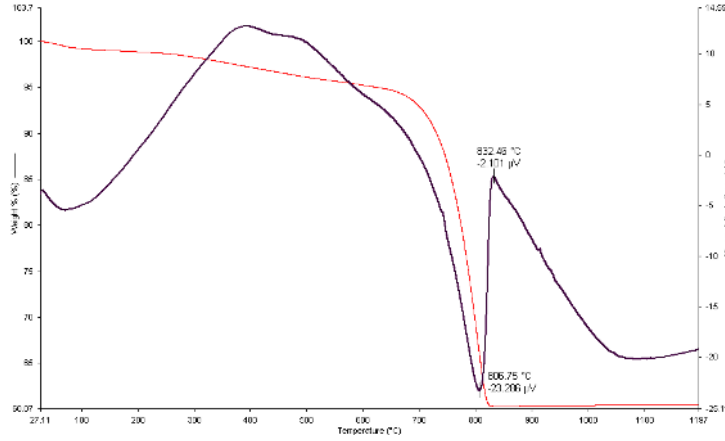
Şekil 4.37. HT4 tuğla numune TG/DTA grafiği.



Şekil 4.38. TS1 taş numune TG/DTA grafiği.



Şekil 4.39. PP3 sıva numune TG/DTA grafiği.



Şekil 4.40. GH5 harç numune TG/DTA grafiği.

Çizelge 4.29. Tuğla numune TG/DTA sonuçları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE AĞIRLIĞI (W ₀)	200 ⁰ C A	600 ⁰ C B	900 ⁰ C C	H ₂ O (A-B)/W ₀ %	CO ₂ (B-C)/W ₀ %	CO ₂ /H ₂ O %
1	PT2	6.754	6.518254	6.241396	5.518832	4.10	10.70	3
2	ST4	10.427	10.334337	10.155393	9.864013	1.72	2.79	2
3	GT2	17.501	17.359613	17.085174	16.619226	1.57	2.66	2
4	LT1	7.811	7.65742	7.490935	7.007381	2.13	6.19	3
5	TT1	17.617	17.324732	17.093391	16.149777	1.31	5.36	4
6	HT2	9.423	9.293297	9.166585	8.752456	1.34	4.39	3
7	HT3	11.096	10.262467	9.423747	8.630125	7.56	7.15	1
8	HT4	10.202	10.084212	9.941866	9.321783	1.40	6.08	4

Çizelge 4.30. Taş numune TG/DTA sonuçları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE AĞIRLIĞI (W ₀)	200 ⁰ C A	600 ⁰ C B	900 ⁰ C C	H ₂ O (A-B)/W ₀ %	CO ₂ (B-C)/W ₀ %	CO ₂ /H ₂ O %
1	PS1	20.372	20.297708	20.208033	11.410179	0.44	43.19	98
2	TS1	21.456	21.383164	21.298127	11.879434	0.40	43.90	111

Çizelge 4.31. Sıva numune TG/DTA sonuçları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE AĞIRLIĞI (W ₀)	200 ⁰ C A	600 ⁰ C B	900 ⁰ C C	H ₂ O (A-B)/W ₀ %	CO ₂ (B-C)/W ₀ %	CO ₂ /H ₂ O %
1	PP3	19.800	19.581004	18.978344	13.184189	3.04	29.26	10

Çizelge 4.32. Harç numune TG/DTA sonuçları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE AĞIRLIĞI (W ₀)	200 ⁰ C A	600 ⁰ C B	900 ⁰ C C	H ₂ O (A-B)/W ₀ %	CO ₂ (B-C)/W ₀ %	CO ₂ /H ₂ O %
1	PH2	9.656	9.467888	9.030019	5.781605	4.53	33.64	7
2	SH1	9.857	9.780906	9.433644	6.605986	3.52	28.69	8
3	SH3	21.701	21.460401	20.995792	12.359396	2.14	39.80	19
4	GH2	13.329	13.096703	12.496287	8.004912	4.50	33.70	7
5	GH5	14.797	14.631263	14.094664	8.933298	3.63	34.88	10
6	GH6	17.979	17.854814	17.464443	11.173584	2.17	34.99	16
7	GH8	14.994	14.868622	14.501250	9.895949	2.45	30.71	13
8	LH1	22.358	22.227518	21.660677	15.70551	2.54	26.64	11
9	LH3	19.135	18.93569	18.429604	12.203624	2.64	32.54	12
10	LH5	13.701	12.750852	11.545578	8.669062	8.80	20.99	2
11	TDH1	12.018	11.890085	11.623201	8.00722	2.22	30.09	14
12	KH1	19.280	19.051827	18.449688	12.459913	3.12	31.07	10
13	TH1	9.855	9.609945	9.374619	6.962975	2.39	24.47	10
14	TH3	15.546	15.40181	15.075941	10.709345	2.10	28.09	13
15	HH1	28.566	27.714008	25.862872	17.196901	6.48	30.34	5
16	HH4	7.709	7.441374	7.090123	5.108187	4.56	25.71	6
17	HH7	18.361	17.951385	17.484701	11.920993	2.54	30.30	12

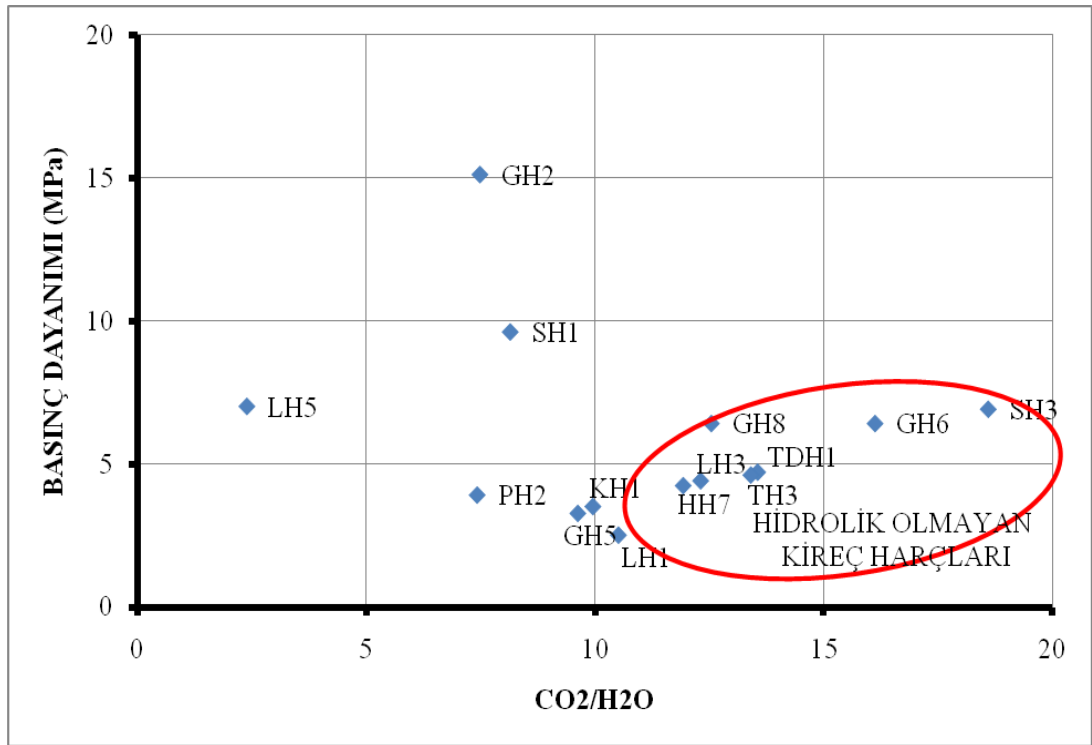
Moropoulou vd (2005), harçları dört gruba ayırmıştır. Tipik kireç harçları kimyasal su %3'ten az, CO₂ %32'den fazla, CO₂/H₂O oranı 10'dan fazla olan harçlardır. Hidrolik kireç harçları kimyasal su %3.5-6.5 arası, CO₂ %24-34 arası, CO₂/H₂O oranı 6.5-9.5 arası harçlardır. Tuğla kırıklı harçları kimyasal su %3.5-8.5 arası, CO₂ %22-29 arası, CO₂/H₂O oranı 3-6 arası harçlardır. Puzolanik harçlar ise kimyasal su %5-14 arası, CO₂ %12-20 arası, CO₂/H₂O oranı 3'ten az olan harçlardır.

Çizelge 4.32'ye göre; Roma dönemi (GH6, GH8, LH1, LH3, TH3, HH7), Bizans dönemi (SH3), Selçuklu dönemi (TDH1), harçları tipik kireç harcı, Roma dönemi (PP3, PH2, GH5, TH1, HH1, HH4), Bizans dönemi (SH1, GH2, KH1), hidrolik kireç harcı, Roma dönemi (LH5) puzolanik harç sınıfına girmektedir.

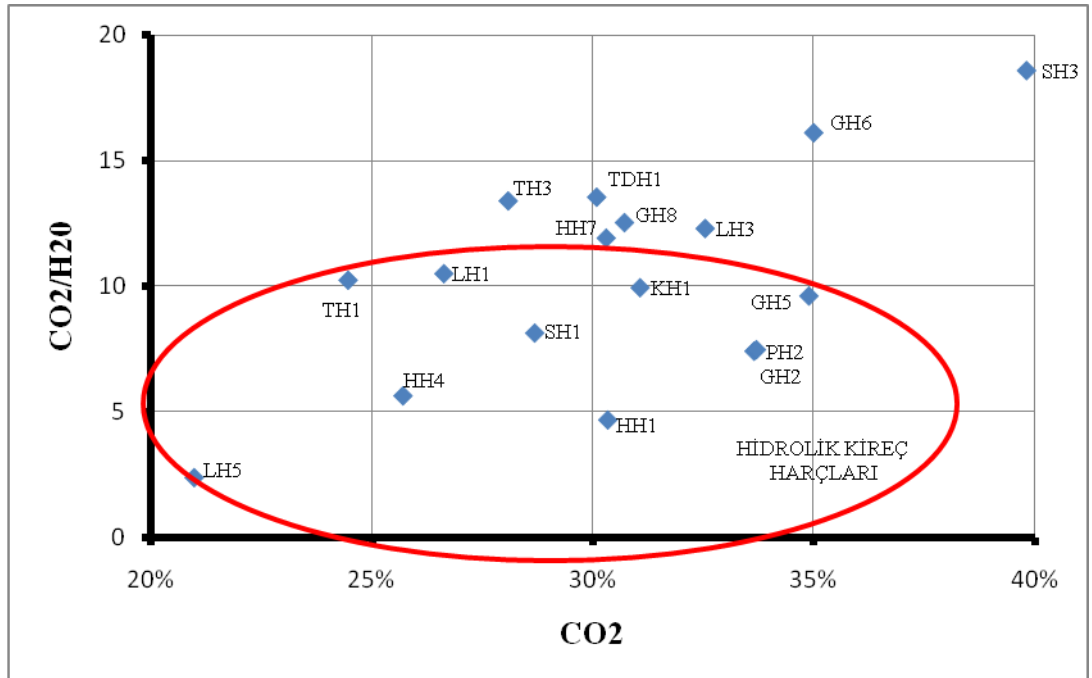
Harçların hidrolik özellikleri TG/DTA analizi ile belirlenmiştir. Sıcaklık değişimleri karşısındaki kütle kayıplarının incelendiği bu analiz neticesinde, 200-600°C

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 yüzdelерinin birbirine oranlanması (CO₂/H₂O) ile değerlendirilir. Bu oranın 1 ile 10 arasında olması durumunda harçların hidrolik özellik gösterdiği, 10 ile 35 arasında olması durumunda ise hidrolik özellik göstermediği kabul edilmektedir (Sağın Uğurlu ve Böke 2010). Buna göre incelenen 18 harç ve sıva numunelerinde (CO₂/H₂O) oranı 10'un altında olan Roma dönemi (PP3, PH2, GH5, LH5, TH1, HH1, HH4), Bizans dönemi (SH1, GH2, KH1) harçlarının hidrolik özellikte olduğu söylenebilir. Roma dönemi (GH6, GH8, LH1, LH3, TH3, HH7), Bizans dönemi (SH3), Selçuklu dönemi (TDH1) harçlarının (CO₂/H₂O) oranı 10'un üstünde olduğundan hidrolik değillerdir. Taşlarda TG/DTA analizi yapılmıştır. Taşlar kalker bazlı kayalar olduğundan CO₂/H₂O oranının yüksek çıktığı görülmektedir (Çizelge 4.30).

Termal analiz TG/DTA, tuğlaların pişirilme sıcaklıklarının kil minerallerinin dehidrasyonuna kadar devam edip etmediğini ve tuğlaların kalsiyum karbonat içerip içermediğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil Ek.4.1-4.8'de, 200-600°C ve 600-900°C sıcaklık aralıklarında ihmal edilebilir (~ %4) kütle kayıpları gözlenmiştir. Bu durum, tuğlaların hammaddelerinin pişirilme esnasında dehidrasyona uğradıklarını ve bileşimlerinde düşük miktarda kalsit bulundurduklarını göstermektedir. HT4 tuğla numunesinin TG/DTA analizinde (Şekil 4.37), 100°C ve 740°C' lerde kütle azalmaları görülmüştür. 100 °C'de olan azalma, tuğlada absorblanan sudan, 740°C'deki ise yapıda var olan olası kil minerallerinin dehidroksilasyonundan kaynaklanmaktadır. Diğer tuğla numunelerinde kütle azalmaları 100°C ve 700-752°C arasında olmaktadır.



Şekil 4.41. Harçların CO₂/H₂O oranları ile basınç dayanımları arasındaki ilişki



Şekil 4.42. Harçların CO₂/H₂O oranları ile %CO₂ arasındaki ilişki

4.1.5. Mekanik analizler

Malzemelerin mekanik özelliklerinin tayini için numunelerin durumuna göre (bazı durumlarda tarihi yapıdan yeterli miktarda veya istenen büyüklükte numune almak mümkün olamaz. Taş ve tuğladan gerekli büyüklükte yeterli numune alınabilse bile harç ve sıvalar genellikle zayıflamış oldukları için teknik olarak bu numunelerde belirli boyutta ve düzgün numune gerektiren deneyler çoğunlukla yapılamaz), tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı deneyi, basınç dayanımı deneyi, statik elastisite modülü tayini deneyi, ultrases hızı deneyi, nokta yükleme deneyi, Schmidt çekici yüzey sertliği deneyi gibi deneyler yapılmıştır.

Üç adet harç numunesi (GH5, LH2, HH7) standart boyutlarda hazırlanarak bu numunelerde tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çizelge 4.33’de sonuçları verilmiştir. Farklı yüzyıllarda üretilen bu üç harcın deney sonuçları birbirine yakın çıkmıştır.

Çizelge 4.33. Harç numune eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları

SN	NUMUNE NO	ÜRETİM TARİHİ	EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI (MPa)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	GH5	2.yy	1.1	3.3
2	LH2	4.yy	0.8	2.4
3	HH7	3.yy	1.9	4.2

Harç ve sıva numunelerinin standart boyutlarda olmaması nedeniyle tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılamadığından Çizelge 4.33’deki numuneler hariç, nokta yükleme (point-load) deneyi tercih edilmiştir. 29 adet harç numunesi üzerinde nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.34’de görülmektedir. Bölüm 3.2.5.1’de belirtildiği gibi düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi ($I_s(50)$) ile K değeri çarpılarak eşdeğer tek eksenli basınç dayanım değeri bulunmuştur.

Çizelge 4.34. Harç numune nokta yükleme deney sonuçları

SN	NUMUNE ADI-YILI	NUMUNE TİPİ	$I_s=P/De^2$	$De^2=4A/\pi$	$F=(De/50)^{0.45}$	$I_s(50)=F.I_s$	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	PH2(2yy)	HARÇ (tuğla_tuğla)	1.22	11.4912	0.2979	0.36	3.9
2	PP3(2yy)	SIVA	1.71	39.0936	0.3924	0.67	7.2
3	SH1(5yy)	HARÇ (taş_taş)	2.83	15.5263	0.3188	0.90	9.6
4	SH3(5yy)	HARÇ (taş_taş)	1.51	57.1185	0.4273	0.65	6.9
5	GH1(2yy)	HARÇ (taş_taş)	0.75	37.9095	0.3897	0.29	3.1
6	GH2(6yy)	HARÇ (taban-murex)	3.61	39.0569	0.3923	1.42	15.1
7	GH4(2yy)	HARÇ (taş_taş)	2.00	26.4337	0.3593	0.72	7.6
8	GH6(2yy)	HARÇ(taş_taş) (çatı)	1.58	35.1918	0.3832	0.60	6.4
9	GH7(2yy)	HARÇ(yalıtım-temel)	2.23	19.5389	0.3357	0.75	8.0
10	GH8(2yy)	HARÇ (yalıtım-çatı)	1.75	21.1344	0.3417	0.60	6.4
11	GH9(2yy)	HARÇ (taş_taş)	0.64	22.5691	0.3467	0.22	2.4
12	GH10(2yy)	HARÇ (taş_taş)	2.17	23.0096	0.3483	0.76	8.1
13	GH11(6yy)	HARÇ (taban)	1.04	25.0702	0.3550	0.37	3.9
14	LH1(4yy)	HARÇ (tuğla_tuğla)	0.65	29.3664	0.3679	0.24	2.5
15	LH3(4yy)	HARÇ (taş_taş)	1.16	25.0068	0.3548	0.41	4.4
16	LH4(4yy)	HARÇ (taş_taş)	2.15	33.6787	0.3794	0.82	8.7
17	LH5(4yy)	HARÇ (taban)	1.75	31.1052	0.3727	0.65	7.0
18	LH6(4yy)	HARÇ (taş_taş)	0.74	32.3293	0.3759	0.28	3.0
19	TDH1(13yy)	HARÇ (taş_taş)	1.24	24.6461	0.3537	0.44	4.7
20	TDH2(13yy)	HARÇ (taş_taş)	1.65	32.0670	0.3753	0.62	6.6
21	TDH4(13yy)	HARÇ (taş_taş)	2.10	35.0056	0.3827	0.80	8.6
22	KH1(6yy)	HARÇ (taş_taş)	0.94	23.4229	0.3496	0.33	3.5
23	TH2(2yy)	HARÇ (tuğla_tuğla)	6.60	22.5153	0.3466	2.29	24.3
24	TH3(2yy)	HARÇ (taş_taş)	1.33	17.7132	0.3283	0.44	4.6
25	TH4(2yy)	HARÇ (taş_taş)	0.33	45.4257	0.4058	0.13	1.4
26	TH5(2yy)	HARÇ (taş_taş)	1.48	19.2150	0.3344	0.50	5.3
27	HH2(3yy)	HARÇ (tuğla_tuğla)	5.74	30.2950	0.3705	2.13	22.7
28	HH3(3yy)	HARÇ (tuğla_tuğla)	3.07	40.5860	0.3957	1.21	12.9
29	HH5(3yy)	HARÇ (tuğla_tuğla)	4.37	26.0591	0.3581	1.57	16.7

Nokta yükleme deney sonuçlarına göre basınç dayanımları; Plakoma'da (2. yüzyıl), ortalama 5.5 MPa, Sinagog'ta (5. yüzyıl) ortalama 8.3 MPa, Granarium'da duvarlarda (2. yüzyıl) ortalama 6.0 MPa, tabanda (6. yüzyıl) ortalama 9.5 MPa, Liman yapılarında (4. yüzyıl) ortalama 5.1 MPa, Kuzey yerleşim'de (6. yüzyıl) 3.5 MPa, Taşdibi'nde (13. yüzyıl) ortalama 6.6 MPa, Tiyatro'da (2. yüzyıl) ortalama 8.9 MPa, Hamam'da (3. yüzyıl) ortalama 17.4 MPa olarak belirlenmiştir. Hamam'da yüksek

çıkmasının sebebi hidrasyon için gerekli buhar ve sıcaklık gibi parametrelerin hamam gibi mekanda bulunmuş olmasından kaynaklanmaktadır. Tuğla numunelerin tabanda kullanılan tuğlalar (GT2, GT3, GT11, ST4) hariç dokuz adedinin yapıdaki yerinde yapılan Schmidt çekici sonuçları ve tahmini eşdeğer basınç dayanımı Çizelge 4.35’de verilmektedir.

Çizelge 4.35. Tuğla numunelerin Schmidt çekici deney sonuçları

SN	NUMUNE NO	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R _{ORT}	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	PT2	30	34	22	26	24	27.20	19
2	LT1	32	34	22	24	28	28.00	22
3	LT2	18	18	18	20	18	18.40	14
4	TT1	28	22	22	28	30	26.00	18
5	HT2	28	24	22	28	28	26.00	18
6	HT3	34	40	42	38	34	37.60	36
7	HT4	46	52	50	46	52	49.20	58
8	HT5	32	28	34	38	30	32.40	28
9	HT6	32	32	30	30	28	30.40	24

Tuğla numunelerde Schmidt çekici deney sonuçlarına göre eşdeğer tahmini basınç dayanımları; Plakoma’da (2. yüzyıl), 19.0 MPa, Liman yapılarında (4. yüzyıl) ortalama 18.0 MPa, Tiyatro’da (2. yüzyıl) 18.0 MPa, Hamam’da (3. yüzyıl) ortalama 32.8 MPa olarak belirlenmiştir. Hamamda tuğla dayanımının yüksek çıktığı görülmektedir. Burada da harç için belirtilen sebebe ek olarak bu yapıda kullanılan malzemelerin kalitesinin yüksek olması, yapıya verilen önem ve yapının diğer yapılara göre çevre şartlarının (denizden uzaklık) etkisinden de kaynaklanabilir. Taş numunelerin yapıdaki yerinde yapılan Schmidt çekici sonuçları ve eşdeğer basınç dayanımı Çizelge 4.36’da verilmektedir.

Çizelge 4.36. Taş numunelerin Schmidt çekici deney sonuçları

SN	NUMUNE NO	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R _{ORT}	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	PS1	43	44	42	38	44	42.20	49
2	TS1	36	34	30	36	38	34.80	36

PS1 taş numunesi TS1'e göre basınç dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyinde de benzer sonuçlar çıkmıştır.

Onüç adet tuğla numunesi üzerinde tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çizelge 4.37'de sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.37.Tuğla numunelerin Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımı sonuçları

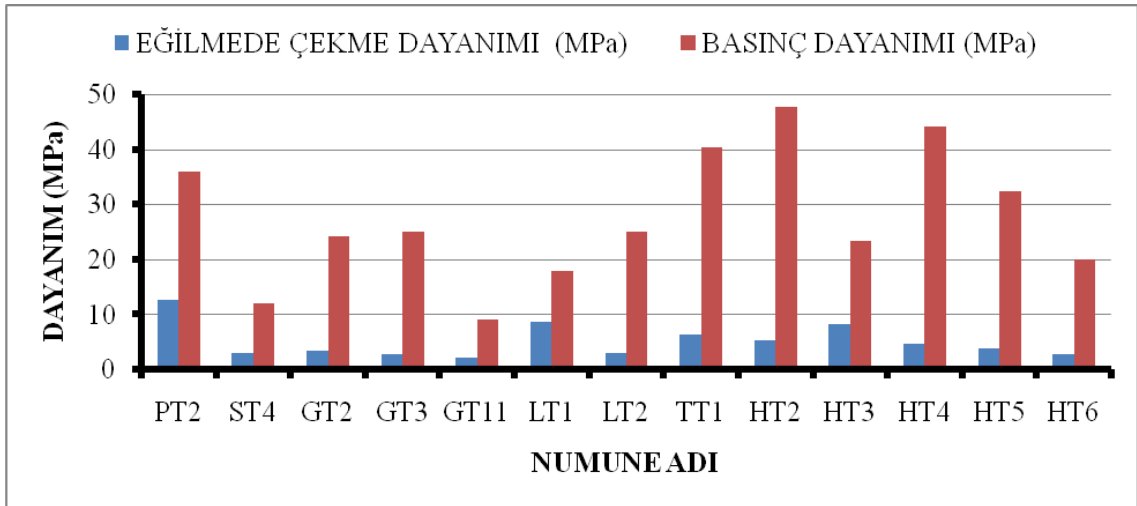
SN	NUMUNE NO	ÜRETİM TARİHİ	EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI (MPa)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	PT2	2.yy	12.7	36.0
2	ST4	5. yy	2.9	12.0
3	GT2	6. yy	3.4	24.2
4	GT3	6. yy	2.8	25.0
5	GT11	6. yy	2.1	9.0
6	LT1	4. yy	8.7	17.8
7	LT2	4. yy	3.0	25.0
8	TT1	2. yy	6.3	40.4
9	HT2	3. yy	5.2	47.8
10	HT3	3. yy	8.2	23.3
11	HT4	3. yy	4.7	44.0
12	HT5	3. yy	3.8	32.3
13	HT6	3. yy	2.8	20.0

Tuğla numunelerin tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı deney sonuçlarına göre; Plakoma'da (2. yüzyıl), 12.7 MPa, Sinagog'ta (5. yüzyıl) 2.9 MPa, Granarium'da tabanda (6. yüzyıl) ortalama 2.8 MPa, Liman yapılarında (4. yüzyıl) ortalama 5.9 MPa, Tiyatro'da (2. yüzyıl) 6.3 MPa, Hamam'da (3. yüzyıl) ortalama 4.9 MPa olarak belirlenmiştir.

Tuğla numunelerin tek eksenli yük altında basınç dayanımı deney sonuçlarına göre; Plakoma'da (2. yüzyıl), 36.0 MPa, Sinagog'ta (5. yüzyıl) 12.0 MPa, Granarium'da tabanda (6. yüzyıl) ortalama 19.4 MPa, Liman yapılarında (4. yüzyıl) ortalama 21.4 MPa, Tiyatro'da (2. yüzyıl) 40.4 MPa, Hamam'da (3. yüzyıl) ortalama 33.5 MPa olarak

belirlenmiştir. Taş numunelerde Schmidt çekici ve tek eksenli basınç dayanımı deneyi benzer sonuçlar vermiş olsada, tuğla numuneler için aynı durumdan bahsetmek mümkün olmamaktadır. Bunun nedeni taşlar doğal olarak elde edilirken, tuğlaların üretiminde sıcaklık faktörünün ön plana çıkmasındandır.

Farklı yüzyıllarda üretilen tuğlaların Roma dönemi (2-3-4. yüzyıl) tuğlaları (PT2, LT1, LT2, TT1, HT2, HT3, HT4, HT5, HT6), Bizans dönemi (5-6. yüzyıl) tuğlalarına (ST4, GT2, GT3, GT11) göre daha yüksek mukavemetde çıkmıştır. Basınç dayanımı değerinin TS EN 771-1’de orta dayanımlı dolu harman tuğlası için verilen 5.0 MPa’lık minimum basınç dayanımını sağladığı görülmüştür.



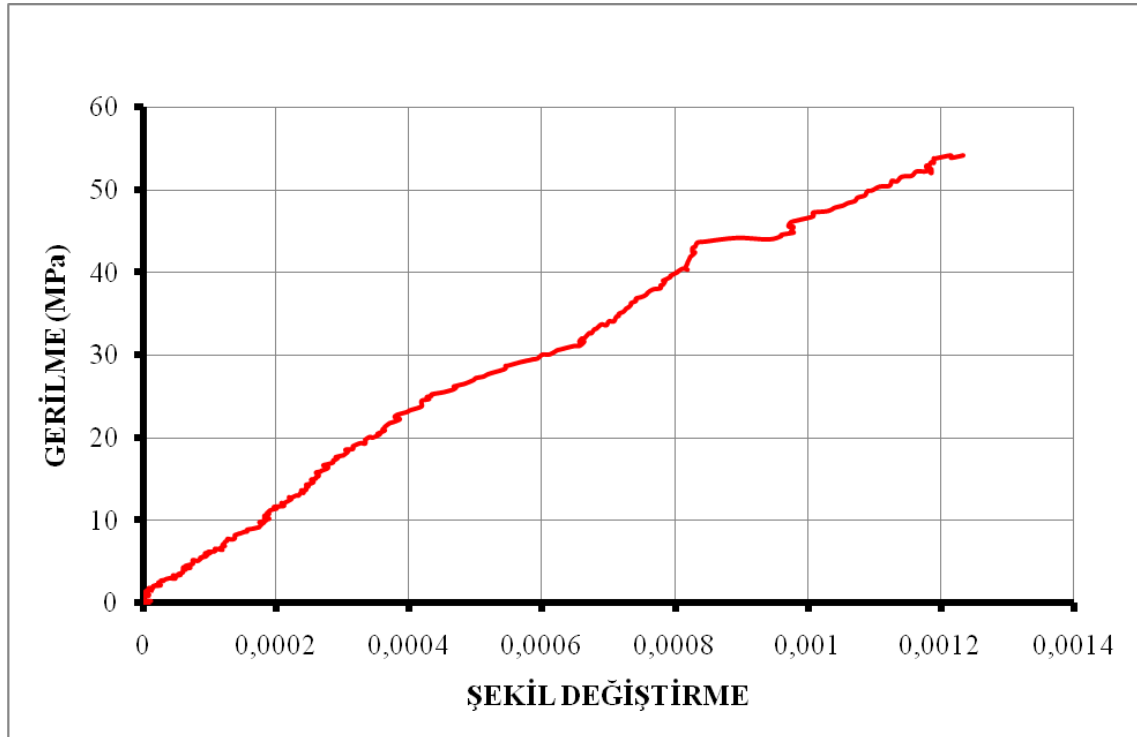
Şekil 4.43. Tuğla numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.39’daki değerlere bakıldığında, ultrases hızları ve dinamik elastik modülleri yüksek olan numunelerin mekanik özelliklerinin de kısmen iyi olduğu gözlenmiştir. Bu numunelerin fiziksel özellikleri ile mekanik özellikleri arasında da genellikle benzer ilişkiler bulunmakla birlikte, tuğlaların homojen bir yapıda olmamaları, iç yapılarında çeşitli maddeler ve süreksiz boşluklar bulunması dolayısıyla bu ilişkilerin her numunede tam olarak kurulamadığı da görülmektedir. Kullanılan hammaddenin homojen bir yapıda olmaması, yerel hammadde kaynaklarının ve dönemsel üretim tekniklerinin farklılıkları, pişirme teknikleri vb etkiler yanında, geçen süre gibi faktörler nedeniyle tarihi tuğlalarda standart değerler elde etmek zor olmakla

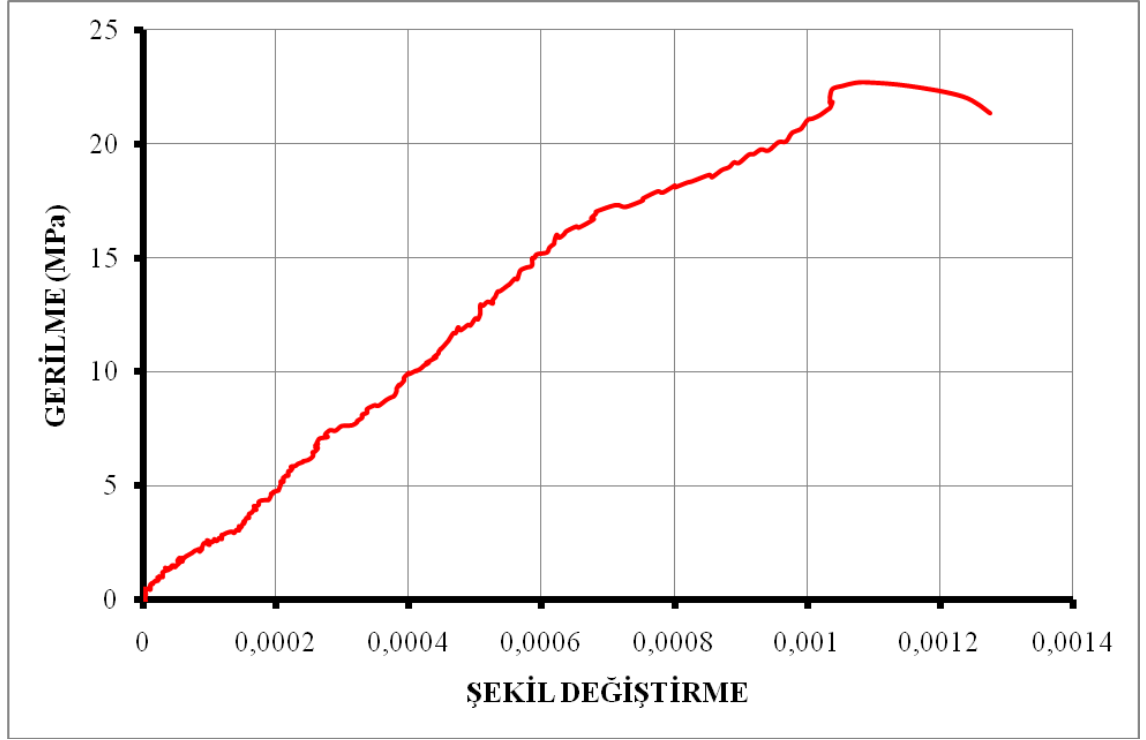
birlikte genel ortalama değerler tuğlaların özellikleri hakkında yine de genel bilgiler verebilmektedir. Pişirme işlemi sırasında aynı fırının değişik yerlerinde bulunan tuğlaların farklı ısıl işleme maruz kalmaları da mekanik özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir. Geleneksel harman tuğla üretimde bu durumla çokca karşılaşılmaktadır.

Çizelge 4.38. Taş numunelerin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları

SN	NUMUNE NO	ÜRETİM TARİHİ	BASINÇ DAYANIMI (MPa)	ORTALAMA BASINÇ DAYANIMI (MPa)	ELASTİSİTE MODÜLÜ (MPa)
1	PS1-1	2.yy	54.2	51.3	57206
2	PS1-2	2.yy	50.5		52217
3	PS1-3	2.yy	49.2		43208
4	TS1-1	2.yy	22.7	25.8	22654
5	TS1-2	2.yy	27.3		26810
6	TS1-3	2.yy	27.4		26615



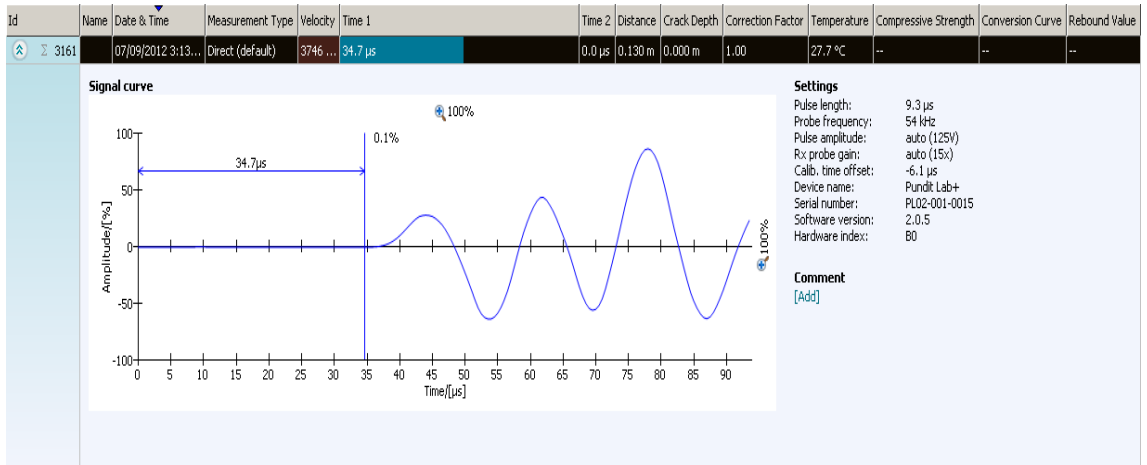
(a)



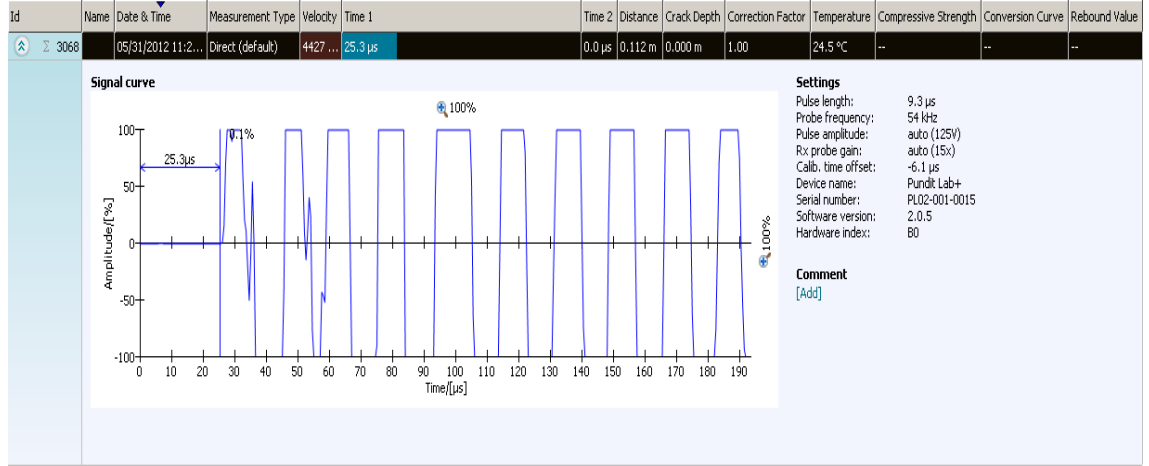
(b)

Şekil 4.44. Taş numunelerin (a) PS1, (b) TS1 gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Tuğla ve taş numuneler üzerinde ultrases geçiş süreleri ölçülerek, buradan ultrases hızları ile dinamik elastisite modülleri belirlenmiştir. Burada tuğla ve taş numuneden bir adet numunenin ultrases grafiği (Şekil 4.45-4.46) verilmiş, diğer deney yapılan tüm numunelerin ultrases grafikleri Ek-5’de yer almaktadır.



Şekil 4.45. HT4 tuğla numune ultrases grafiği



Şekil 4.46. TS1-3 taş numune ultrases grafiği

Çizelge 4.39. Tuğla numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları

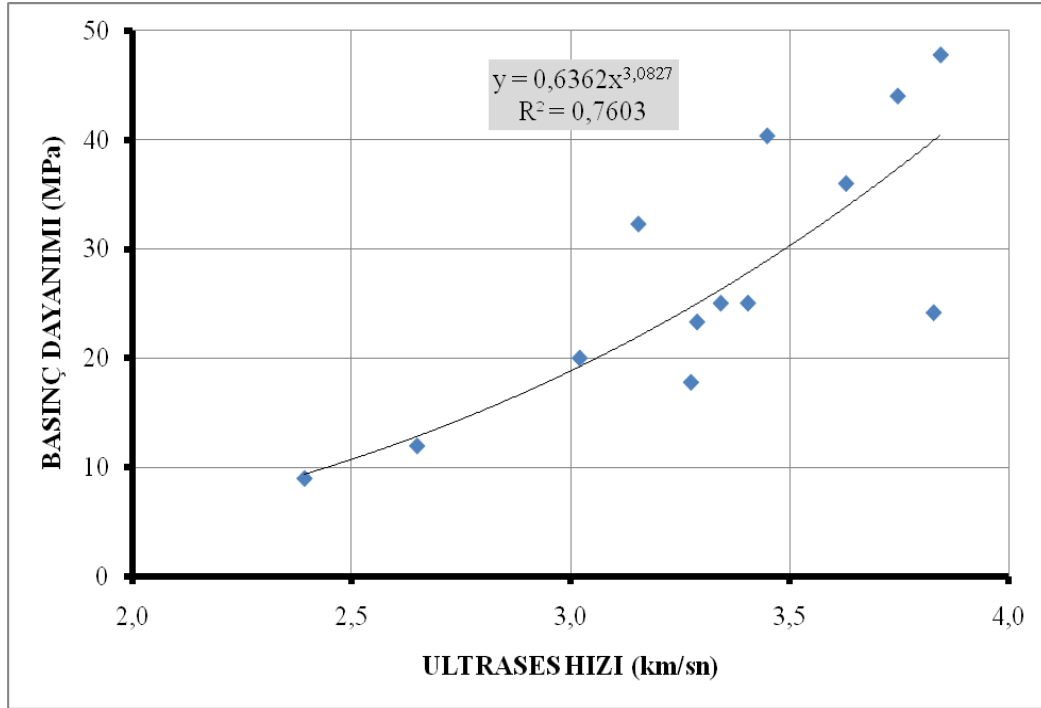
SN	NUMUNE NO	ÜRETİM YILI	BİRİM HACİM KÜTLE (gr/cm ³)	ULTRASES HIZI (km/sn)	DİNAMİK ELASTİSİTE MODULU (MPa)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	PT2	2. yy	1.70	3.628	22819	36.0
2	ST4	5. yy	1.58	2.649	11307	12.0
3	GT2	6. yy	1.72	3.828	25703	24.2
4	GT3	6. yy	1.69	3.342	19249	25.0
5	GT11	6. yy	1.60	2.392	9336	9.0
6	LT1	4. yy	1.76	3.274	19239	17.8
7	LT2	4. yy	1.71	3.404	20206	25.0
8	KT1	6. yy	1.82	3.947	28914	-
9	TT1	2. yy	1.66	3.448	20126	40.4
10	HT2	3. yy	1.82	3.844	27425	47.8
11	HT3	3. yy	1.86	3.288	20506	23.3
12	HT4	3. yy	1.80	3.746	25758	44.0
13	HT5	3. yy	1.83	3.154	18564	32.3
14	HT6	3. yy	1.85	3.020	17207	20.0

Tuğla numunelerin ultrases hızları Çizelge 4.39'dan; Plakoma'da (2. yüzyıl), 3.628 km/sn, Sinagog'ta (5. yüzyıl) 2.649 km/sn, Granarium'da tabanda (6. yüzyıl) ortalama 3.187 km/sn, Liman yapılarında (4. yüzyıl) ortalama 3.339 km/sn, Kuzey yerleşim'de (6. yüzyıl) 3.947 km/sn, Tiyatro'da (2. yüzyıl) 3.448 km/sn, Hamam'da (3. yüzyıl) ortalama 3.410 km/sn olarak belirlenmiştir.

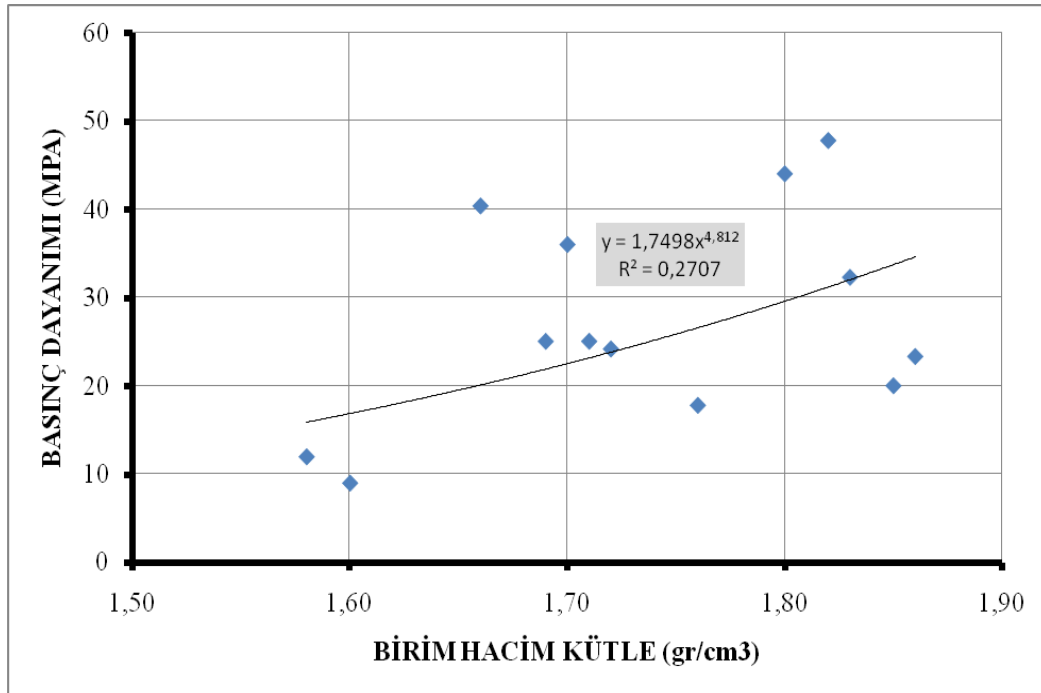
Önemli mekanik özelliklerden biri olan dinamik elastisite modülü, bir malzemenin yükleme altında dayanabildiği “gerilme/deformasyon” oranı olarak tanımlanabilir. Dinamik elastisite modülü değerini hesaplayabilmek için numunelerin ultrasonik hız ölçümleri yapılmış, birim hacim kütle değeri ile birlikte Bölüm 3.2.5.5’de belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Çizelge 4.39’da belirtildiği üzere, Plakoma’da (2. yüzyıl), 22819 MPa, Sinagog’ta (5. yüzyıl) 11317 MPa, Granarium’da tabanda (6. yüzyıl) ortalama 18096 MPa, Liman yapılarında (4. yüzyıl) ortalama 19723 MPa, Kuzey yerleşim’de (6. yüzyıl) 28914 MPa, Tiyatro’da (2. yüzyıl) 20126 MPa, Hamam’da (3. yüzyıl) ortalama 21892 MPa, olarak bulunmuştur.

Tuğlaların mekanik değerleri ile ultrases hızları arasındaki ilişkiler doğrusal regresyonla değerlendirilmiştir (Şekil 4.47). Tuğlaların basınç dayanımı ile ultrases hızı değerleri arasındaki korelasyon katsayısı $R^2=0.7603$ şeklinde yüksek bir değer elde edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen yüksek korelasyon katsayıları tuğlaların mekanik özellikleri ile ultrases hızları arasında lineer bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu durum tarihi tuğlaların yaklaşık mekanik ve fiziksel özelliklerini kestirebilmek için tahribatsız ultrases hızı yönteminin belirli bir güvenlikle kullanılabileceğini ve bu özellikleri hakkında bilgiler verebileceğini ifade etmektedir.

Tuğlaların mekanik özellikleri ile temel fiziksel özelliklerden olan birim hacim kütle arasındaki ilişkiler doğrusal regresyonla araştırılarak aralarındaki korelasyon değerlendirilmiştir (Şekil 4.48). Tuğlaların porozite oranları ile basınç dayanımları arasındaki korelasyon $R^2=0.2707$ değer almaktadır. Katsayılarıdaki sapmalar numunelerin heterojen bir iç yapı özelliği göstermeleri ve farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması nedeniyle olağan karşılanabilir. Bununla birlikte yine de, belirli bir güvenilirlikle, tuğlaların fiziksel özellikleri ile mekanik davranışları arasında doğrusal ilişkilerin bulunduğu söylenebilir.



Şekil 4.47. Tuğla numunelerin ultrases hızları ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler



Şekil 4.48. Tuğla numunelerin birim hacim kütle ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler

Çizelge 4.40. Taş numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları

SN	NUMUNE NO	ÜRETİM YILI	BİRİM HACİM KÜTLE (gr/cm ³)	ULTRASES HIZI (km/sn)	DİNAMİK ELASTİSİTE MODULU (MPa)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	PS1-1	2. yy	2.44	5.833	84661	54.2
2	PS1-2	2. yy	2.44	5.234	68166	50.5
3	PS1-3	2. yy	2.44	5.481	74751	49.2
4	TS1-1	2. yy	2.39	4.466	48612	22.7
5	TS1-2	2. yy	2.39	4.891	58304	27.3
6	TS1-3	2. yy	2.39	4.427	47767	27.4

Taş numunelerin ultrases hızları Çizelge 4.40'dan; Plakoma'da (2. yüzyıl) ortalama 5.516 km/sn, Tiyatro'da (2. yüzyıl) ortalama 4.595 km/sn olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.40'da belirtildiği üzere dinamik elastisite modülü, Plakoma'da (2. yüzyıl) ortalama 75859 MPa, Tiyatro'da (2. yüzyıl) ortalama 51561 MPa bulunmuştur.

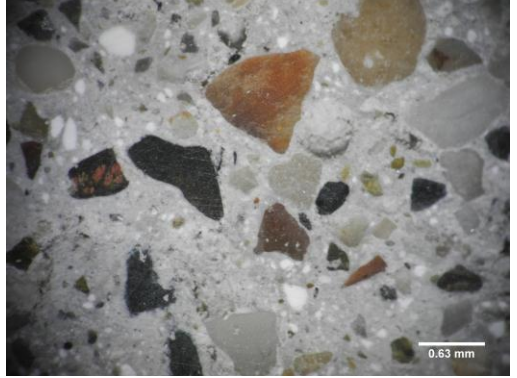
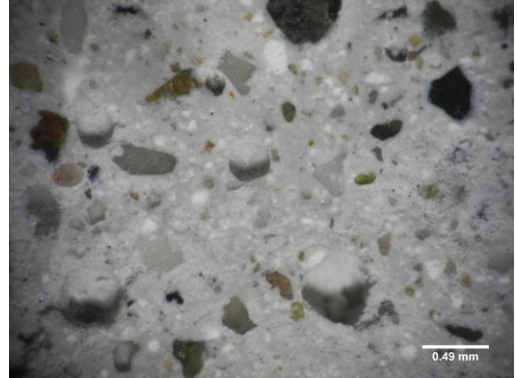
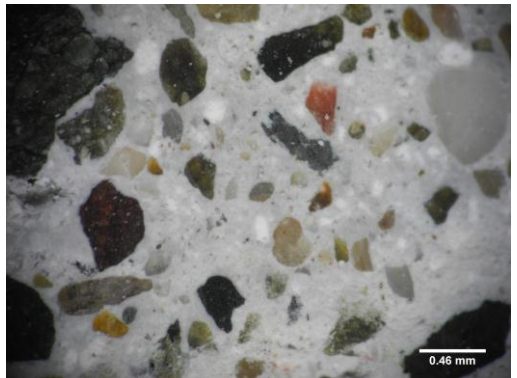
4.2. Onarım Harcı Özelliklerinin Belirlenmesi

Bölgesel hammadde kaynakları araştırılarak özgününe uygun onarım harçları üretilmiş (YH03, YH04, YH05, YH06), yeni malzemelerle üretilen onarım harçlarının eski harçlara uyumu analiz edilmiştir. Üretilen onarım harcı önerilerinin 1, 2, 3 aylık süreç içerisindeki görsel, fiziksel, kimyasal, mekanik, mikro yapı özellikleri değerlendirilerek özgün örnekler ile uyumu karşılaştırılmıştır. Ayrıca Myra ve Andriake'ye yakın bir tarihi yapıda (Xsantos) yapılan onarım çalışmalarında kullanılan iki tür harç numuneden (YH01, YH02) karşılaştırma yapmak için alınarak bunlar üzerinde de analizler yapılmıştır.

4.2.1. Makroskopik gözlemler

Numunelerin parlatılan yüzeyleri önce gözle daha sonra Nikon SMZ 745 T marka görüntüleme aparatlı trinoküler stereo-mikroskop yardımıyla incelenmiş ve numunelerin değerlendirmeleri alınan ölçekli görüntüleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.41. Onarım harç numunelerin makroskopik değerlendirilmesi.

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
YH03	Boşluklu bir yapıda, açık gri harç mevcuttur. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Köşeler yontulmuş durumdadır. Tane bileşenleri beyaz, krem, gri, siyah, kıvımsız renktedir. Bazalt kayalar vardır. Serpantinit olma ihtimali görülmektedir. Krem renkli olanlar kireçtaşıdır. Çört mevcuttur. Çok az köşeli taneler vardır. Volkanik kaya bileşenleri görülmektedir.	
YH04	Boşluklu bir yapıda, açık gri harç mevcuttur. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Köşeler yontulmuş durumdadır. Tane bileşenleri beyaz, krem, gri, siyah, kıvımsız renktedir. Bazalt kayalar vardır. Serpantinit olma ihtimali görülmektedir. Krem renkli olanlar kireçtaşıdır. Çört mevcuttur. Çok az köşeli taneler vardır. Volkanik kaya bileşenleri görülmektedir.	
YH05	Boşluklu bir yapıda, açık gri harç mevcuttur. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Köşeler yontulmuş durumdadır. Tane bileşenleri beyaz, krem, gri, siyah, kıvımsız renktedir. Bazalt kayalar vardır. Serpantinit olma ihtimali görülmektedir. Krem renkli olanlar kireçtaşıdır. Çört mevcuttur. Çok az köşeli taneler vardır. Volkanik kaya bileşenleri görülmektedir.	

Devamı arkada

Çizelge 4.41'in Devamı

YH06	Boşluklu bir yapıda, açık gri harç mevcuttur. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Köşeler yontulmuş durumdadır. Tane bileşenleri beyaz, krem, gri, siyah, kızılımsı renktedir. Bazalt kayalar vardır. Serpantinolit olma ihtimali görülmektedir. Krem renkli olanlar kireçtaşıdır. Çört mevcuttur. Çok az köşeli taneler vardır. Volkanik kaya bileşenleri görülmektedir.	
------	--	--

4.2.2. Fiziksel analizler

Üretilen onarım harç numuneleri üzerinde; su emme oranı (kütlece ve hacimce), birim hacim kütle (görünür yoğunluk), özgül kütle (gerçek yoğunluk), porozite, kompasite gibi fiziksel deneyler, Bölüm 3.2.2'deki yöntemlere göre yapılmıştır.

Çizelge 4.42. Onarım harç numunelerin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUM. ADI	Δ (gr/cm ³)	S _k (%)	S _h (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	YH3	1.78	17	31	2.63	32	68
2	YH4	1.79	16	28	2.38	25	75
3	YH5	1.79	16	28	2.50	28	72
4	YH6	1.80	16	28	2.38	24	76

Onarım harç numunelerin fiziksel özellikleri incelendiğinde (Çizelge 4.42); birim hacim kütlelerinin 1.78-1.80 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.38-2.63 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 16-17, hacimce su emme yüzdesinin % 28-31, porozitesinin % 24-32, kompasitesinin % 68-76 aralığında olduğu belirlenmiştir.

4.2.3. Kimyasal analizler

İletkenlik, pH analizleri:

Onarım 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. Çizelge 4.43'de görüldüğü üzere, deney yapılan dört onarım harç numunesinde iletkenlikler arası fark 0.52-0.70 mS/cm arası bulunduğundan puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir.

Malzemelerin asidik veya bazik olduğunun belirlenebilmesi amacıyla pH değeri ölçülmüştür. Kirecin kuvvetli baz olmasından dolayı harçların zayıf baz özelliği taşınması beklendiğinden numunelerde pH değerinin Çizelge 4.44'de görüldüğü üzere 11.50-11.59 arasında olması bunu doğrulamaktadır.

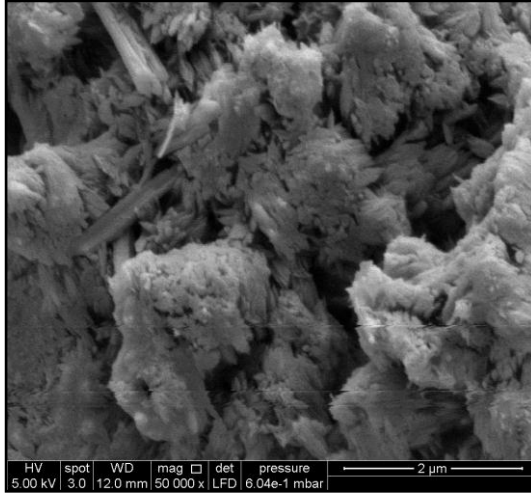
Çizelge 4.43. Onarım harç numunelerin iletkenlik, pH analizleri

NUM. ADI	NUMUNE TİPİ	iletkenlik (mS/cm)	pH
YH03	HARÇ	0.60	11.50
YH04	HARÇ	0.70	11.57
YH05	HARÇ	0.52	11.57
YH06	HARÇ	0.54	11.59

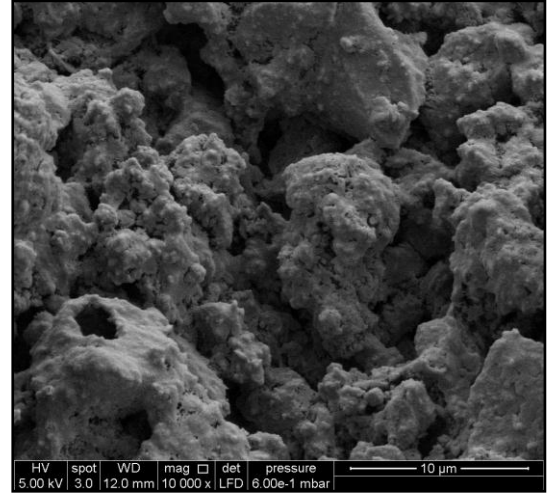
4.2.4. Mikro yapı analizleri

SEM-EDX analizi

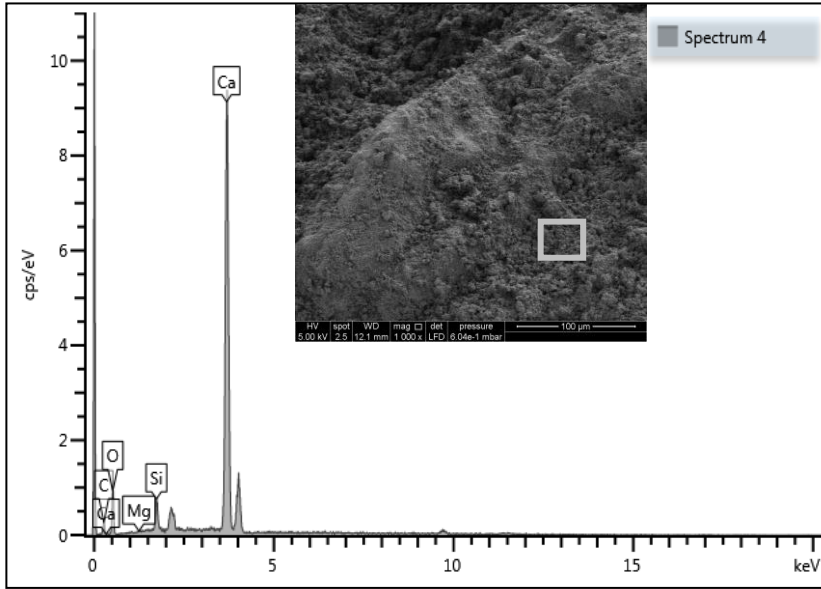
Onarım harçları üzerinde yapılan SEM/EDX analizleri, harçlarda agrega, bağlayıcı ve agrega-bağlayıcı ara yüzeyleri olmak üzere üç farklı noktada incelenmiştir. Analiz sonuçları Şekil 4.49- Şekil 4.57 ve Çizelge 4.44- Çizelge 4.52 arası verilmiştir.



(50.000 x)



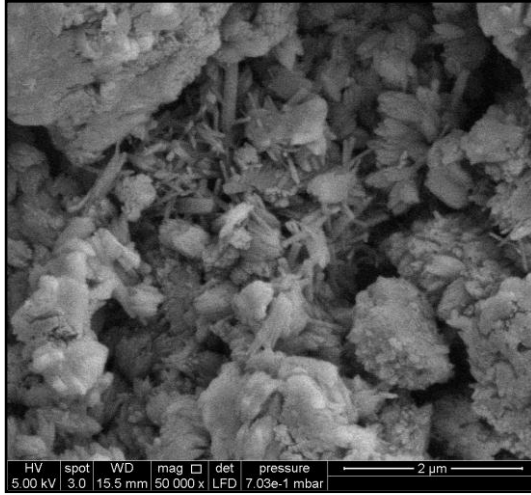
(10.000 x)



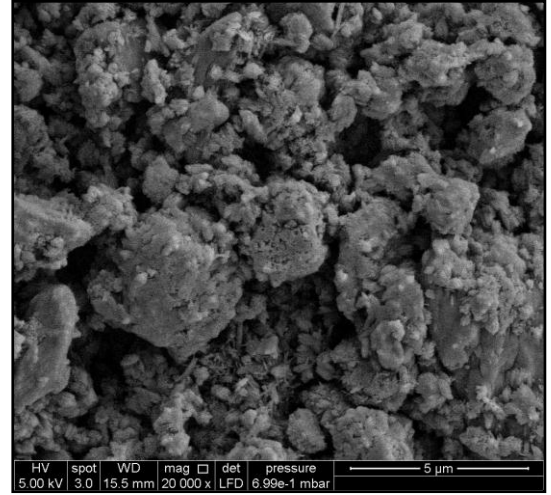
Şekil 4.49. YH01 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge 4.44. YH01 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

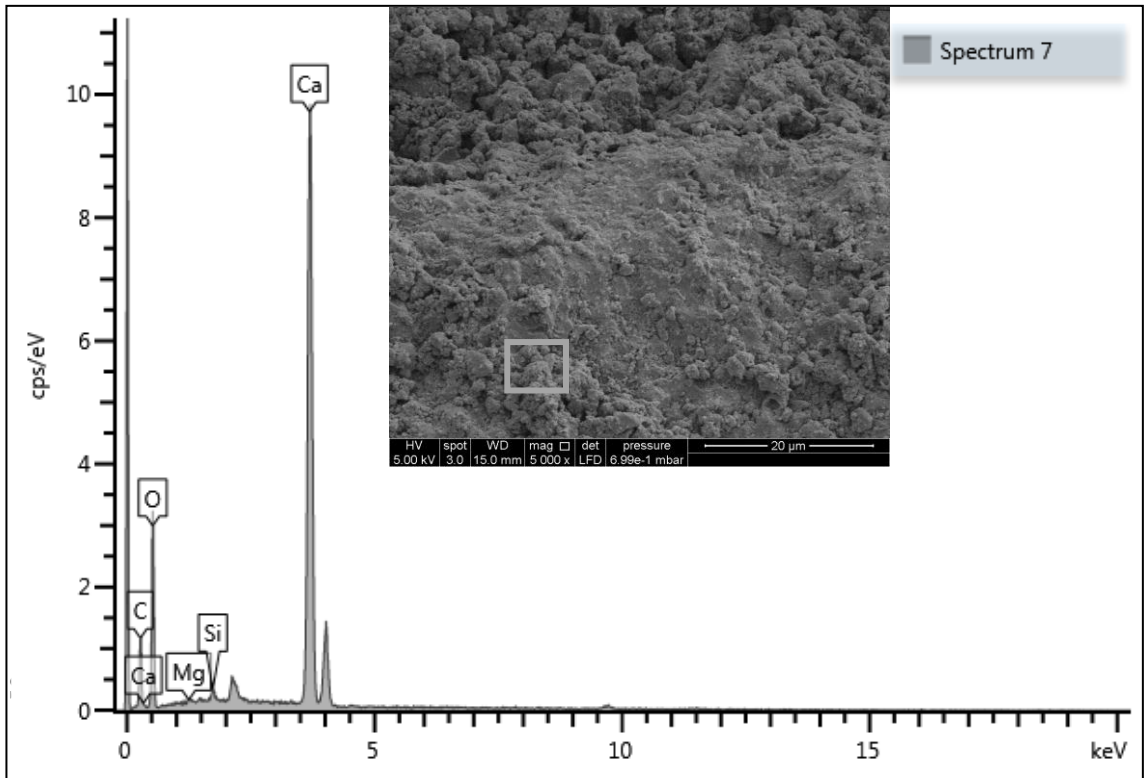
Element	C	O	Mg	Si	Ca
Wt%	8.46	43.21	0.08	1.82	46.44



(50.000 x)



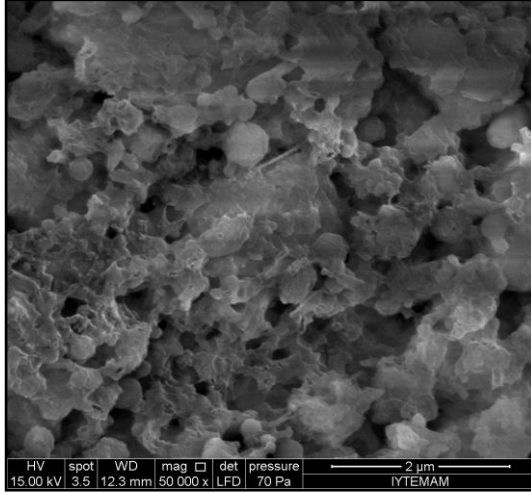
(20.000 x)



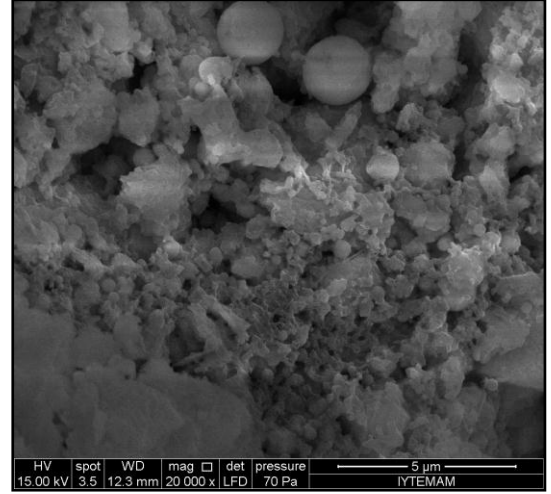
Şekil 4.50. YH02 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge 4.45. YH02 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

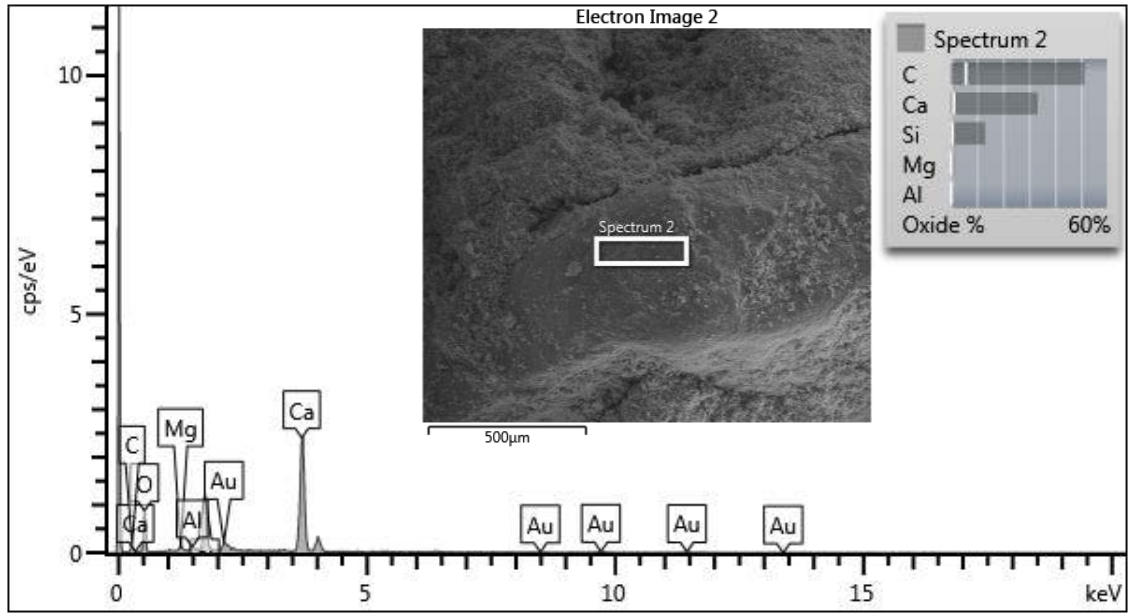
Element	C	O	Mg	Si	Ca
Wt%	16.88	56.02	0.12	0.27	26.71



(50.000 x)



(20.000 x)

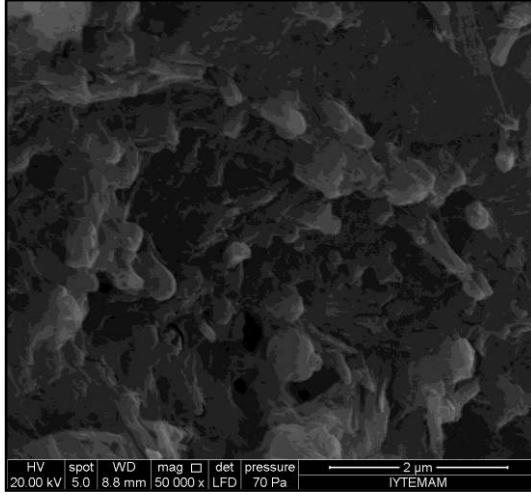


Şekil 4.51. YH03 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

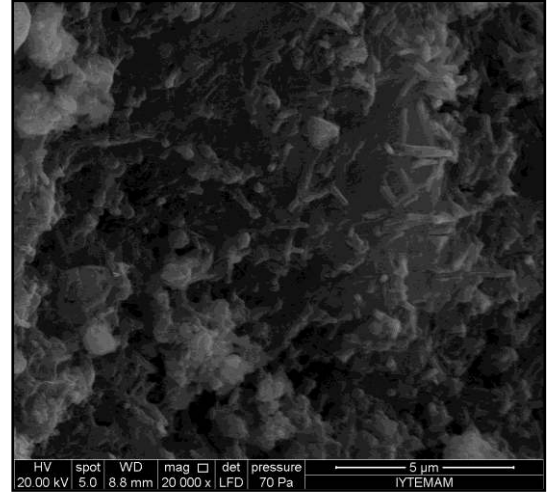
Çizelge 4.46. YH03 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca
Wt%	14.05	54.8	0.77	0.37	6.15	23.84

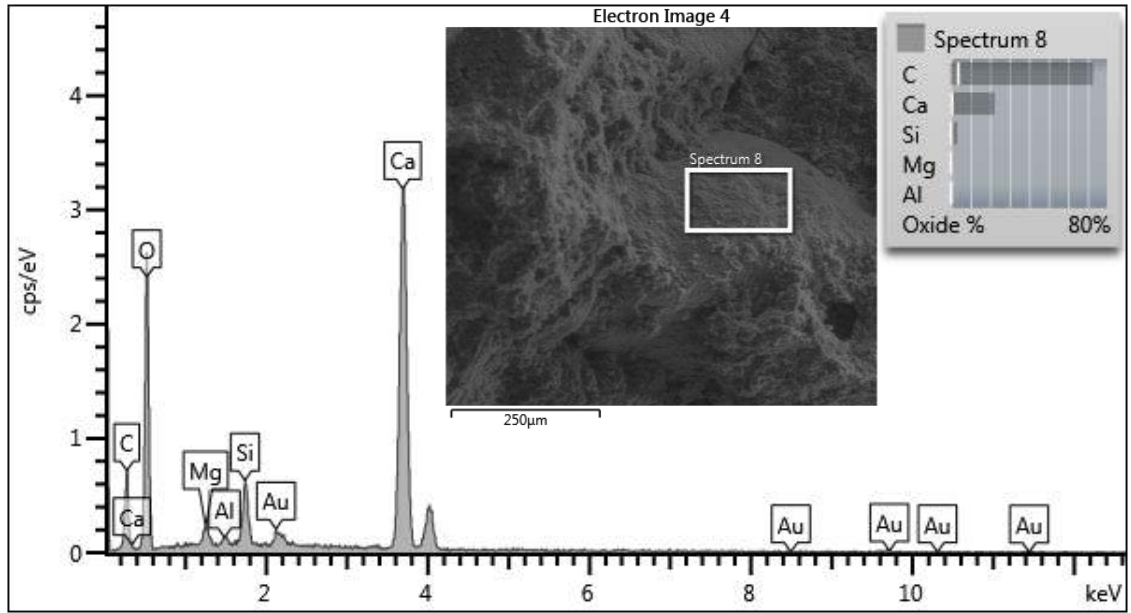
Element	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
Wt %	51.49	1.28	0.7	13.16	33.36



(50.000 x)



(20.000 x)

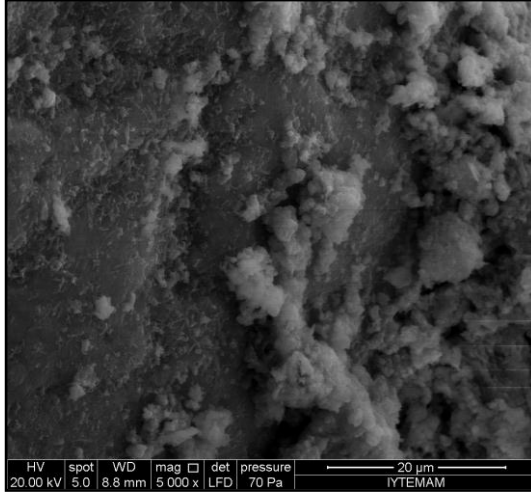


Şekil 4.52. YH04 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

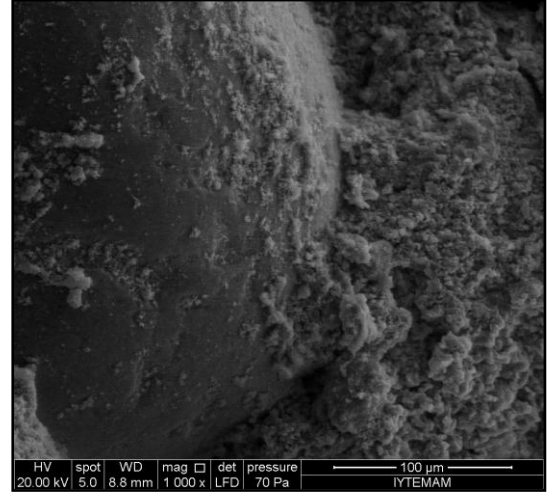
Çizelge 4.47. YH04 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca
Wt%	19.86	61.68	0.59	0.26	1.5	16.11

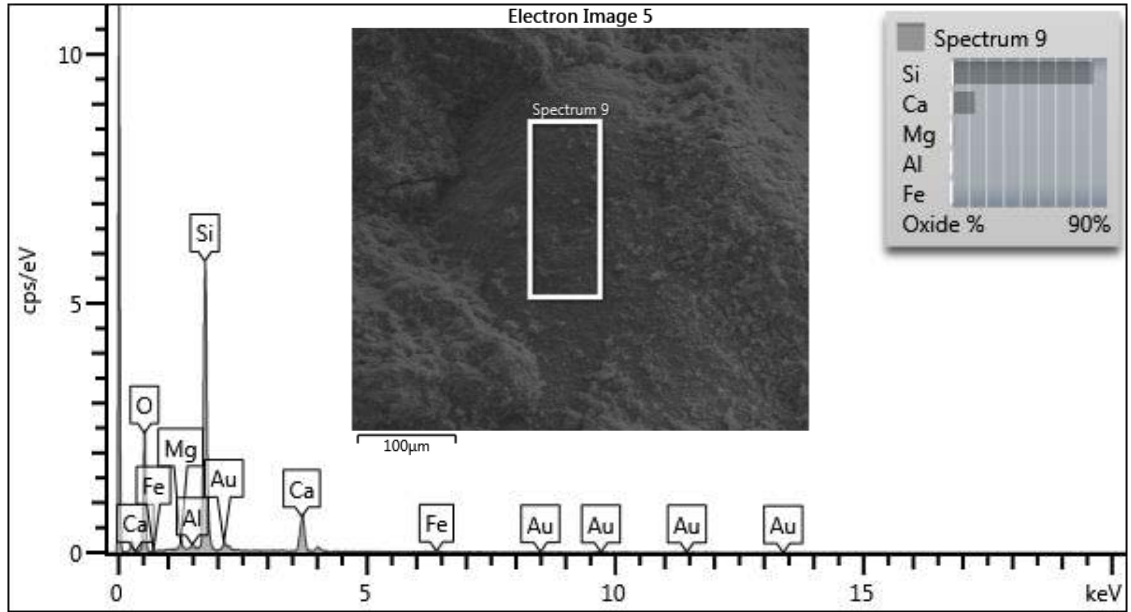
Element	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
Wt%	72.78	0.97	0.48	3.22	22.55



(5.000 x)



(1.000 x)

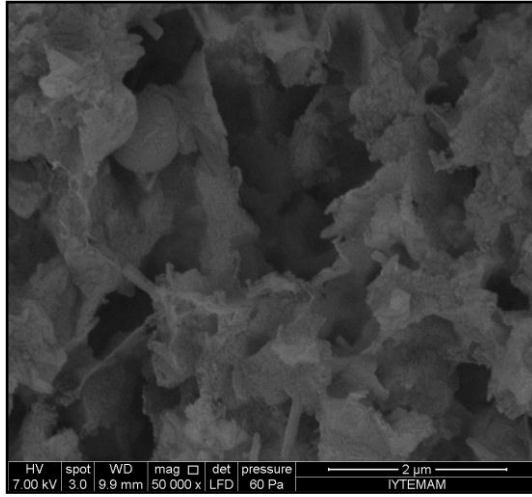


Şekil 4.53. YH04 onarım harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

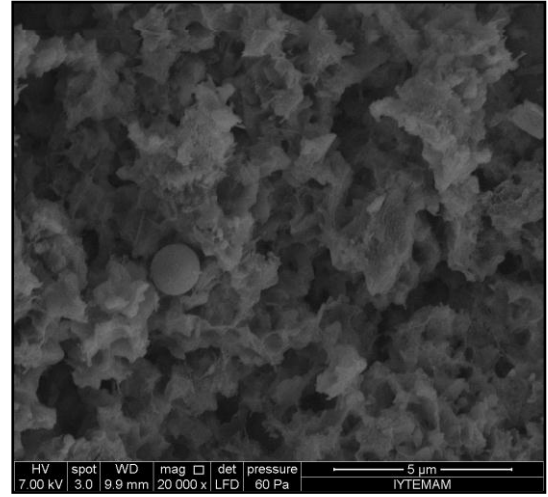
Çizelge 4.48. YH04 onarım harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt%	49.22	1.23	0.69	38.34	9.84	0.69

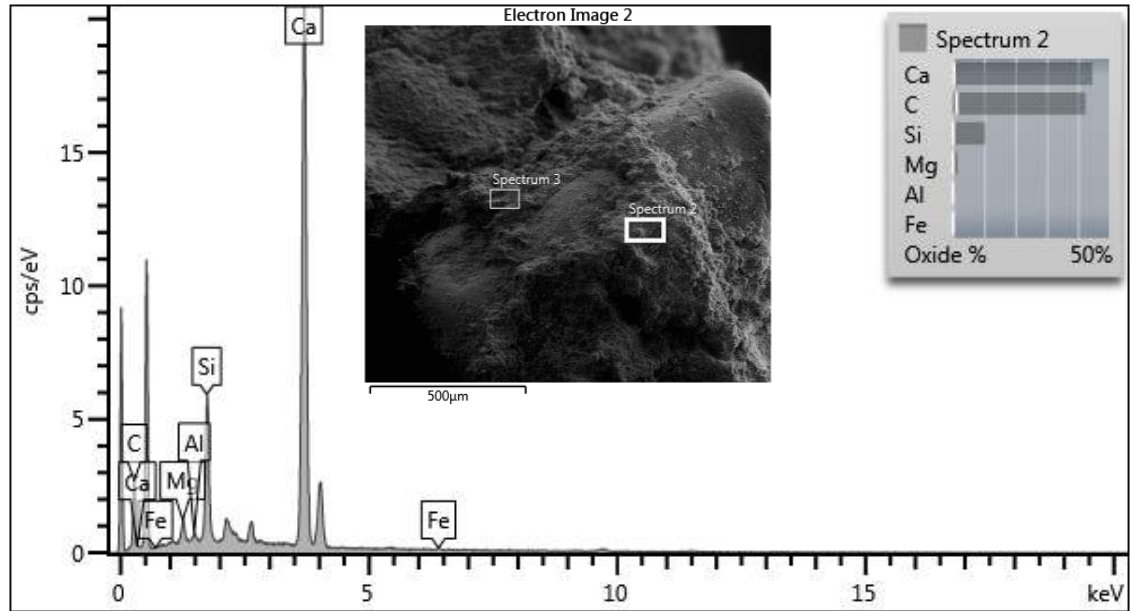
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO
Wt%	2.03	1.3	82.01	13.76	0.89



(50.000 x)



(20.000 x)

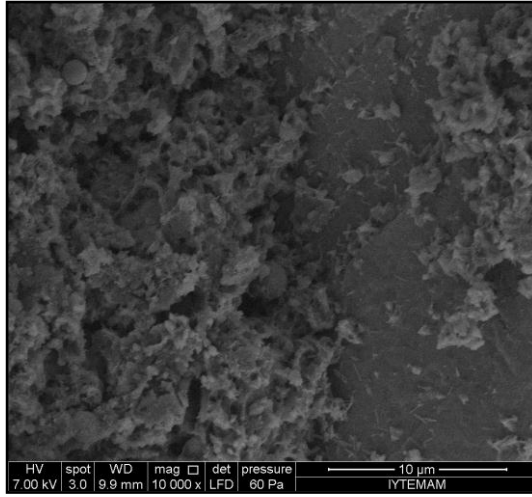


Şekil 4.54. YH05 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

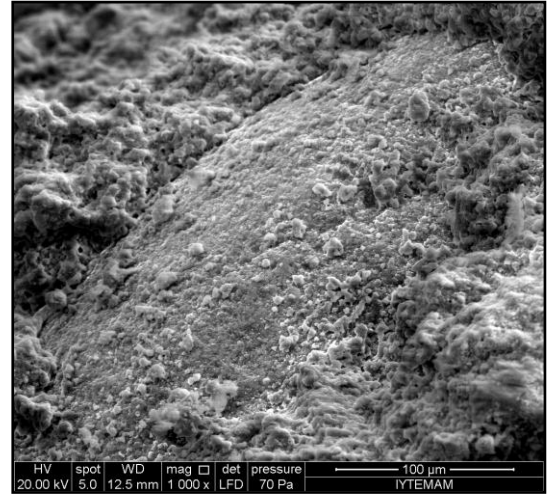
Çizelge 4.49. YH05 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt%	11.6	50.1	0.92	0.29	4.83	31.95	0.31

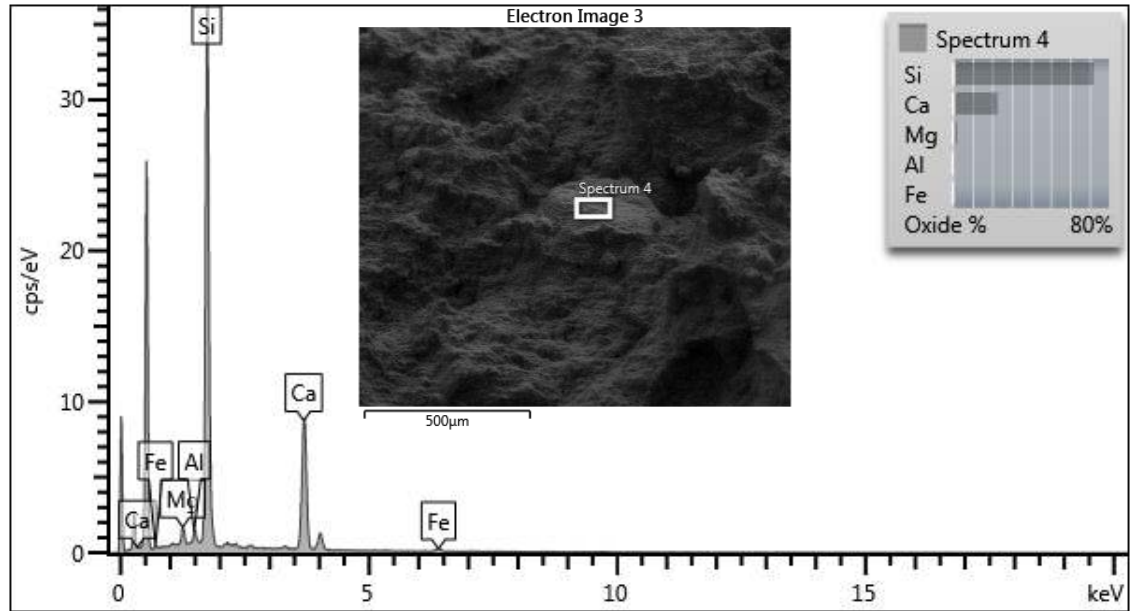
Element	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO
Wt%	42.49	1.53	0.55	10.33	44.71	0.4



(10.000 x)



(1.000 x)

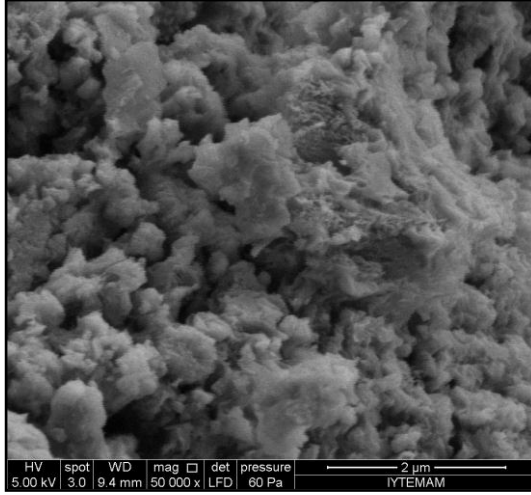


Şekil 4.55. YH05 onarım harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

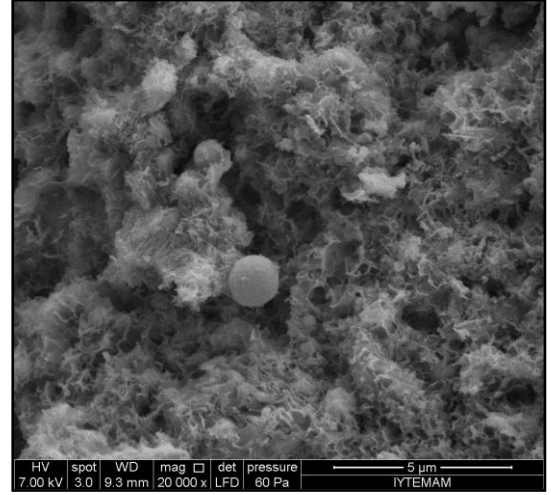
Çizelge 4.50. YH05 onarım harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt%	46.8	1.4	0.76	33.69	16.44	0.91

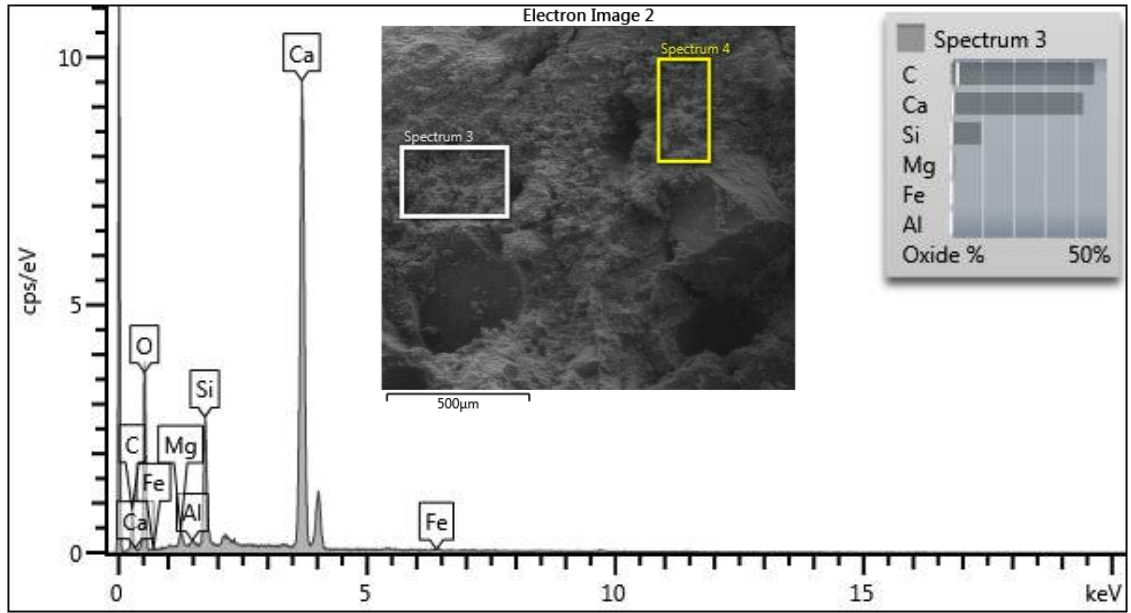
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO
Wt%	2.32	1.44	72.07	23	1.17



(50.000 x)



(20.000 x)

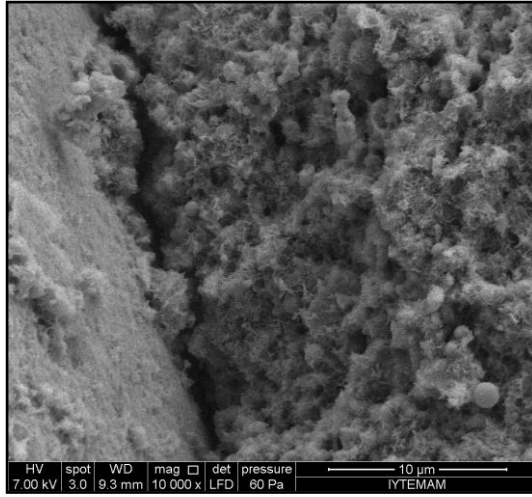


Şekil 4.56. YH06 onarım harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

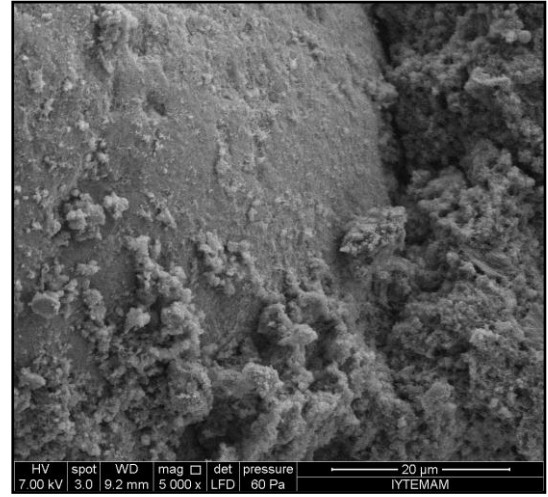
Çizelge 4.51. YH06 onarım harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt%	12.52	51.4	0.74	0.2	4.56	30.26	0.32

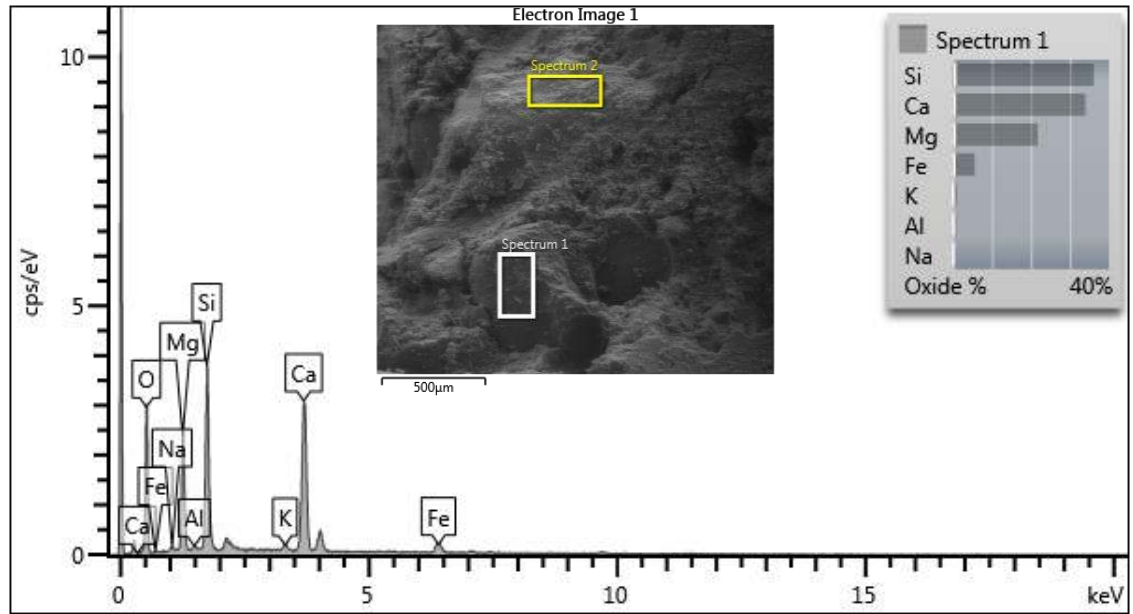
Element	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO
Wt%	45.89	1.23	0.37	9.76	42.34	0.41



(10.000 x)



(5.000 x)



Şekil 4.57. YH06 onarım harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge 4.52. YH06 onarım harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt%	39.55	0.52	13.11	0.43	16.88	0.83	24.3	4.38

Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO
Wt%	0.7	21.74	0.81	36.12	1.0	34	5.64

YH01 kullanılan onarım harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda kalsiyum; düşük oranlarda silisyum, magnezyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.49, Çizelge 4.44).

YH02 kullanılan onarım harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda kalsiyum; düşük oranlarda silisyum, magnezyum içerdiği saptanmıştır (Şekil 4.50, Çizelge 4.45).

YH03 onarım harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda kalsiyum, silisyum; düşük oranlarda magnezyum, alüminyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.51, Çizelge 4.46).

YH04 onarım harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, magnezyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.52, Çizelge 4.47). YH04 harcı numunesinin agrega kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.53, Çizelge 4.48).

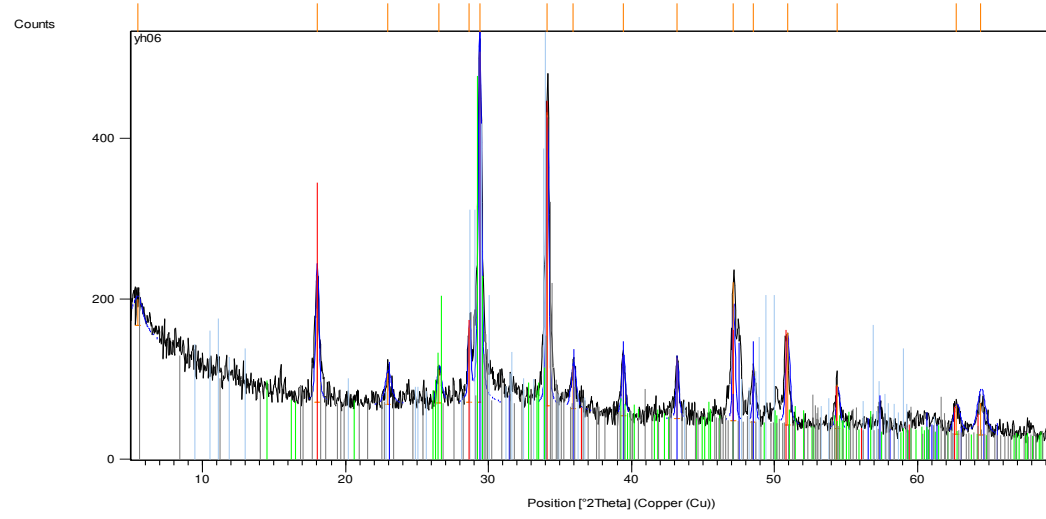
YH05 onarım harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.54, Çizelge 4.49). YH05 harcı numunesinin agrega kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.55, Çizelge 4.50).

YH06 onarım harcı numunesinin bağlayıcı kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, magnezyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.56, Çizelge 4.51). YH06 harcı numunesinin agrega kısmının SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda silisyum, kalsiyum, magnezyum; düşük oranlarda alüminyum, demir, potasyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.57, Çizelge 4.52).

XRD analizi

Onarım harç numune üzerinde yapılan XRD analizleri sonucunda benzer numuneler olduğundan önerilen YH06 numunesinin patern tayini ile bileşiklerin adı, kimyasal formülü, kristal sistemleri, birim hücre parametleri belirlenmiştir (Şekil 4.58).

YH06 onarım harcı numunesinde, portlandite,syn, kalsit, coesite, calcium iron mineralleri tespit edilmiştir. Numunede amorf silis saptanmıştır. Ayrıca numunede killeşmeye rastlanmıştır. Simektit, illit ve serpantin grubu minerallere rastlanmıştır. Alüminyum elementi illit mineralinden kaynaklanabilirken, magnezyum elementi serpantin ve simektitlerde gözlenebilmektedir.



Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	00-044-1481	Portlandite, syn	Ca(OH) ₂	Hexagonal	3.5899	3.5899	4.9160	90.00	90.00	120.00	1.00
	01-075-6049	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9880	4.9880	17.0610	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-075-4408	Coesite	SiO ₂	Monoclinic	6.9520	12.1986	7.0942	90.00	120.82	90.00	16.00
	01-078-2301	calcium iron	Ca ₂ Fe _{15.51} O ₂₅	Rhombohedral	6.0110	6.0110	94.6900	90.00	90.00	120.00	6.00

Şekil 4.58. YH06 onarım harcı XRD grafiği

XRF analizi

Çizelge 4.53. Onarım harcı temel oksit sonuçları

NUMUNE	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	KIZDIRMA KAYBI	TOPLAM	HI	CI
YH03	1.068	9.250	1.924	24.510	0.035	0.152	32.930	0.082	1.678	27.891	71.629	0.666	1.568
YH04	1.034	8.074	2.255	23.450	0.034	0.183	35.330	0.122	1.626	27.461	72.108	0.630	1.486
YH05	1.025	7.744	2.261	22.470	0.041	0.162	35.640	0.130	1.688	28.164	71.161	0.609	1.432
YH06	0.840	5.629	1.413	19.360	0.029	0.152	35.950	0.073	1.056	34.542	64.502	0.525	1.289

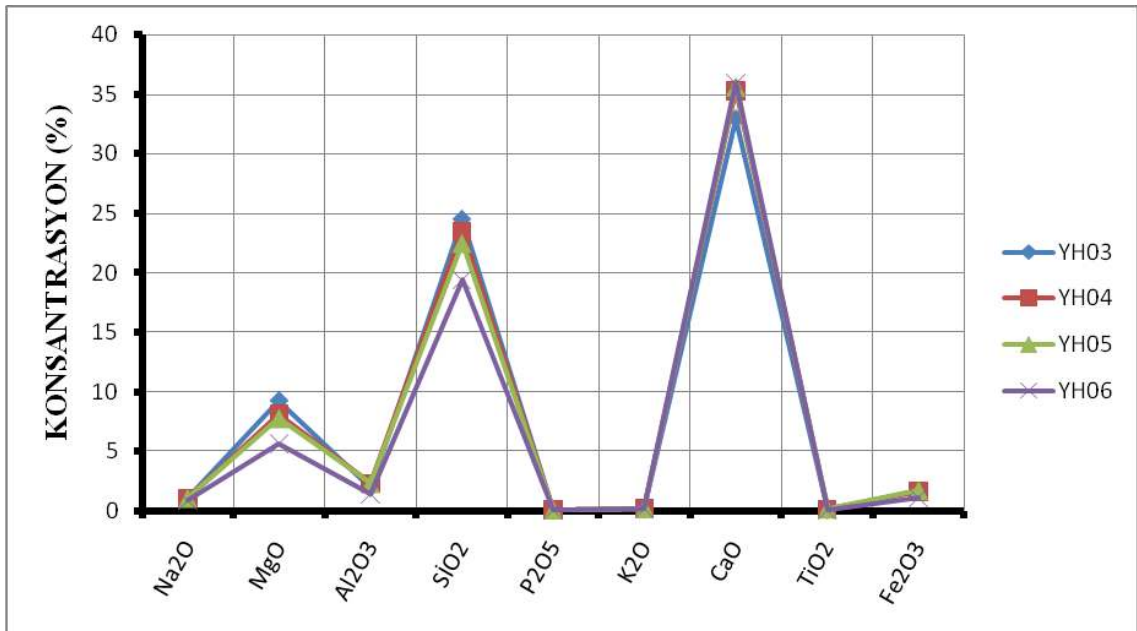
Çizelge 4.54. Onarım harcı eser oksit sonuçları

NUMUNE	Cr ₂ O ₃	MnO	CoO	NiO	CuO	ZnO	PbO	TOPLAM
YH03	0.253	0.023	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.290
YH04	0.162	0.017	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.193
YH05	0.208	0.037	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.259
YH06	0.462	0.031	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.507

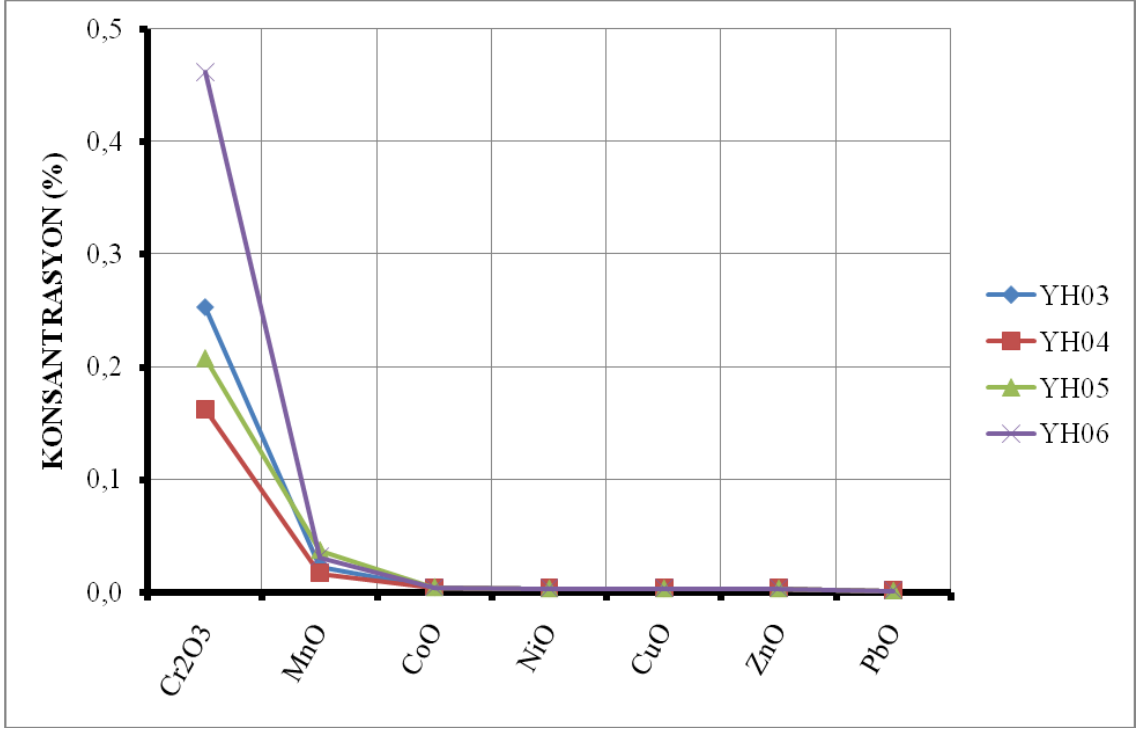
Onarım harçların yapısını oluşturan temel oksitlerin ve eser oksitlerin % konsantrasyon miktarları X ışınları floresans (XRF) analizi ile belirlenmiştir. Onarım harç numunelerinin XRF analiz verileri Çizelge 4.53-4.54’de verilmektedir.

XRF analiz sonuçlarına göre harçların temel oksit ve eser oksit % konsantrasyonları birbirleri ile benzerdir. Harçlar, yüksek miktarda CaO (%33-36), SiO₂(% 19-24), MgO (%5-9) ve düşük miktarda Al₂O₃ (%1-2), Fe₂O₃ (%1-2), Na₂O (%0.8-1), K₂O (%0.1-0.2), TiO₂ (%0.07-0.1), P₂O₅ (%0.02-0.04) içermektedir. İncelenen harçların eser oksit miktarları birbirine benzer özellik göstermektedir (Çizelge 4.54).

Ayrıca XRF analizi ile elde edilen elementlerin konsantrasyonu, harçların hidrolik dereceleri hakkında yararlı bilgiler ortaya çıkarmaktadır. XRF analizinin verileri kullanılarak, hidrolik indeks ve çimento indeksi hesaplanmıştır. Bu indeksler harçların hidrolik özellikleri için önemlidir. İndeksi en yüksek olan harcın, hidrolik ve çimentolaşma özelliği en yüksektir. Buna göre Çizelge 4.53’de görüldüğü üzere hidrolik indeksi 0.525-0.666, çimento indeksi 1.289-1.568 arasında değerler almaktadır. Şekil 4.59 (a) ve (b)’de onarım harçlarının temel ve eser oksit konsantrasyon %’leri görülmektedir.



(a)

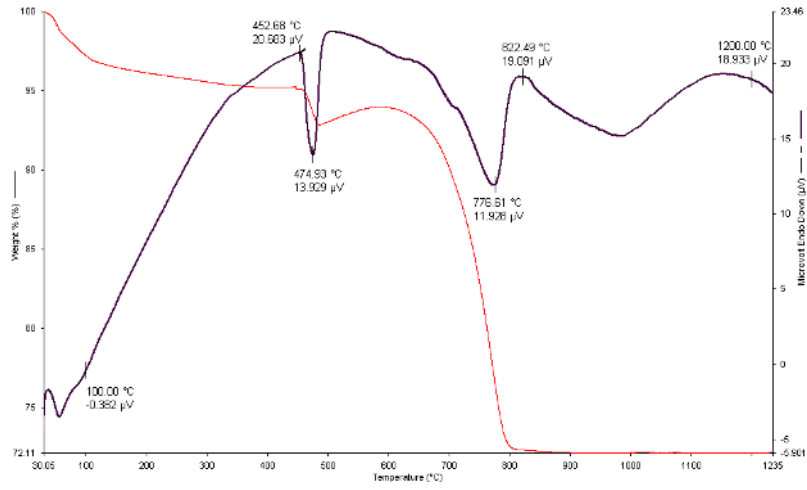


(b)

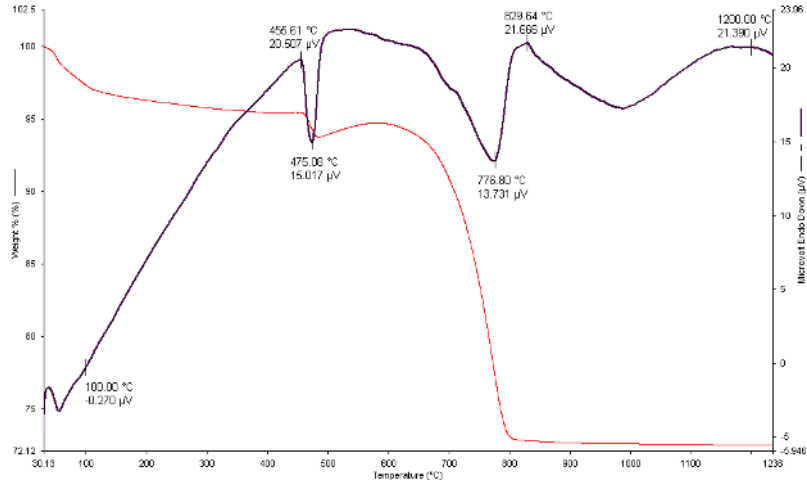
Şekil 4.59. Onarım harçlarının temel oksit (a) ve eser oksit (b) miktarları

Termal analizler

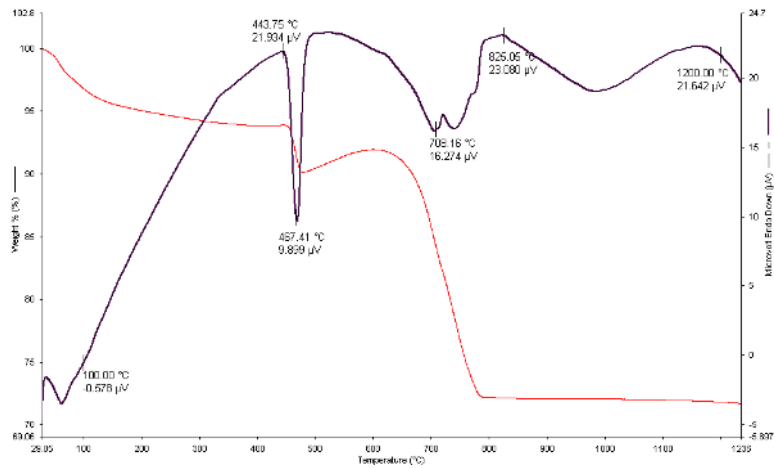
Onarım harç numuneler üzerinde yapılan TG/DTA analizleri sonucunda belirli sıcaklık aralıklarında gerçekleşen kütle kayıpları (Çizelge 4.55) belirlenmiştir. Numuneler 1200°C'ye kadar ısıtılarak oluşan termik reaksiyonlar endotermik (dışarıdan ısı alan) ve ekzotermik (dışarıya ısı veren) pikleri tespit edilmiştir (Şekil 4.60-4.63).



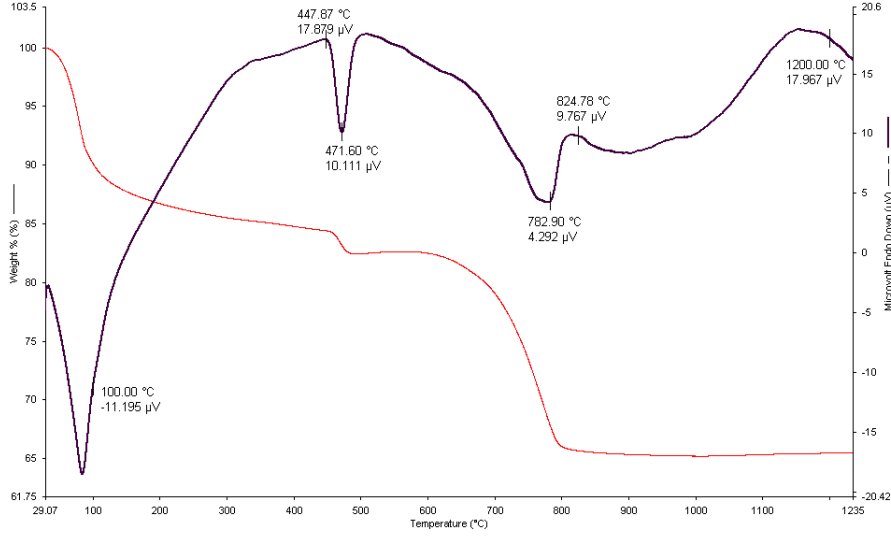
Şekil 4.60. YH03 onarım harç numune TG/DTA grafiği



Şekil 4.61. YH04 onarım harç numune TG/DTA grafiği



Şekil 4.62. YH05 onarım harç numune TG/DTA grafiği



Şekil 4.63. YH06 onarım harç numune TG/DTA grafiği

Çizelge 4.55. Onarım harcı TG/DTA sonuçları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE AĞIRLIĞI (W ₀)	200°C	600°C	900°C	H ₂ O (A-B)/W ₀	CO ₂ (B-C)/W ₀	CO ₂ /H ₂ O
			A	B	C	%	%	%
1	YH03	8.002	7.691867	7.516561	5.772041	2.19	21.80	10
2	YH04	8.007	7.70914	7.578776	5.821269	1.63	21.95	13
3	YH05	7.417	7.050264	6.820717	5.345127	3.09	19.89	6
4	YH06	13.257	11.496603	10.936896	8.664315	4.22	17.14	4

Moropoulou vd (2005), harçları dört gruba ayırmıştır. Tipik kireç harçları kimyasal su %3'ten az, CO₂ %32'den fazla, CO₂/H₂O oranı 10'dan fazla olan harçlardır. Hidrolik kireç harçları kimyasal su %3.5-6.5 arası, CO₂ %24-34 arası, CO₂/H₂O oranı 6.5-9.5 arası harçlardır. Tuğla kırıklı harçları kimyasal su %3.5-8.5 arası, CO₂ %22-29 arası, CO₂/H₂O oranı 3-6 arası harçlardır. Puzolanik harçlar ise kimyasal su %5-14 arası, CO₂ %12-20 arası, CO₂/H₂O oranı 3'ten az olan harçlardır.

Çizelge 4.55'e göre; YH03, YH04 harçları tipik kireç harcı, YH05 harcı hidrolik kireç harcı, YH06 harcı puzolanik harç sınıfına girmektedir.

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

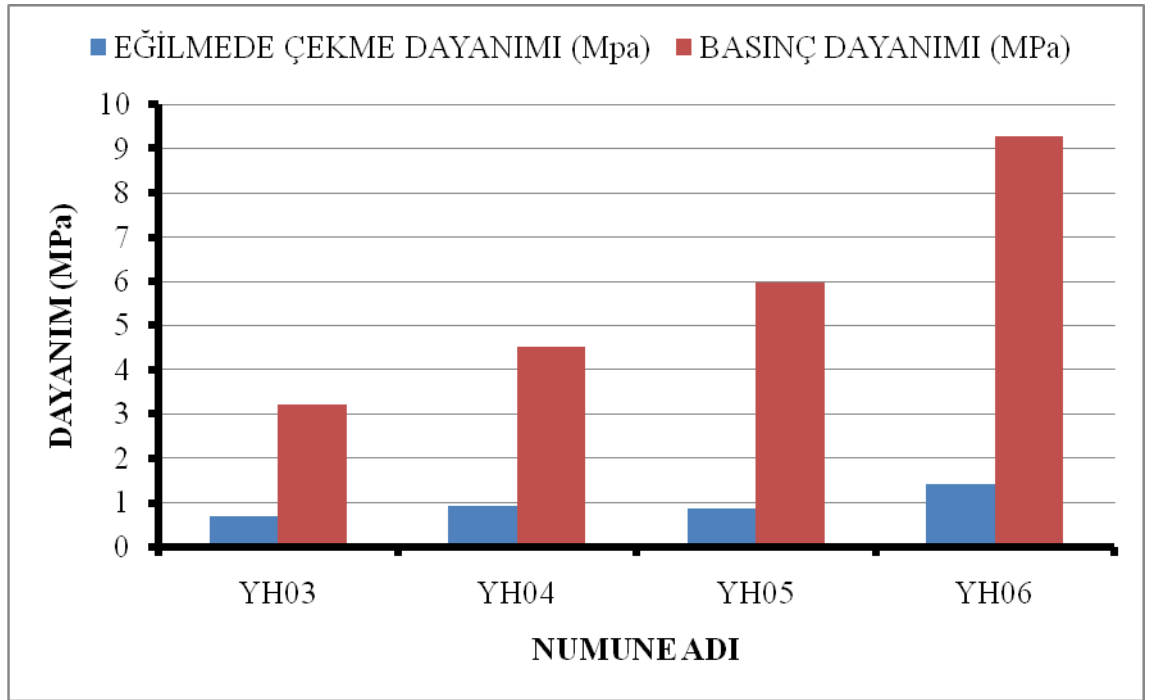
aralığındaki kütle kaybı, kimyasal bağlı suyun (H_2O) çıkışını; 600-900°C aralığındaki kütle kaybı ise karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu sonucu karbondioksit (CO_2) çıkışını ifade etmektedir. Harçların hidrolik özellikleri, kayıp karbondioksit ve su yüzdelерinin birbirine oranlanması (CO_2/H_2O) ile değerlendirilir. Bu oranın 1 ile 10 arasında olması durumunda harçların hidrolik özellik gösterdiği, 10 ile 35 arasında olması durumunda ise hidrolik özellik göstermediği kabul edilmektedir (Sağın Uğurlu ve Böke 2010). Buna göre onarım harç numunelerinde (CO_2/H_2O) oranı 10'un altında olan YH03, YH05, YH06 harçları hidrolik özellikte olduğu söylenebilir. YH04 harcı (CO_2/H_2O) oranı 10'un üstünde olduğundan hidrolik değildirlir.

4.2.5. Mekanik analizler

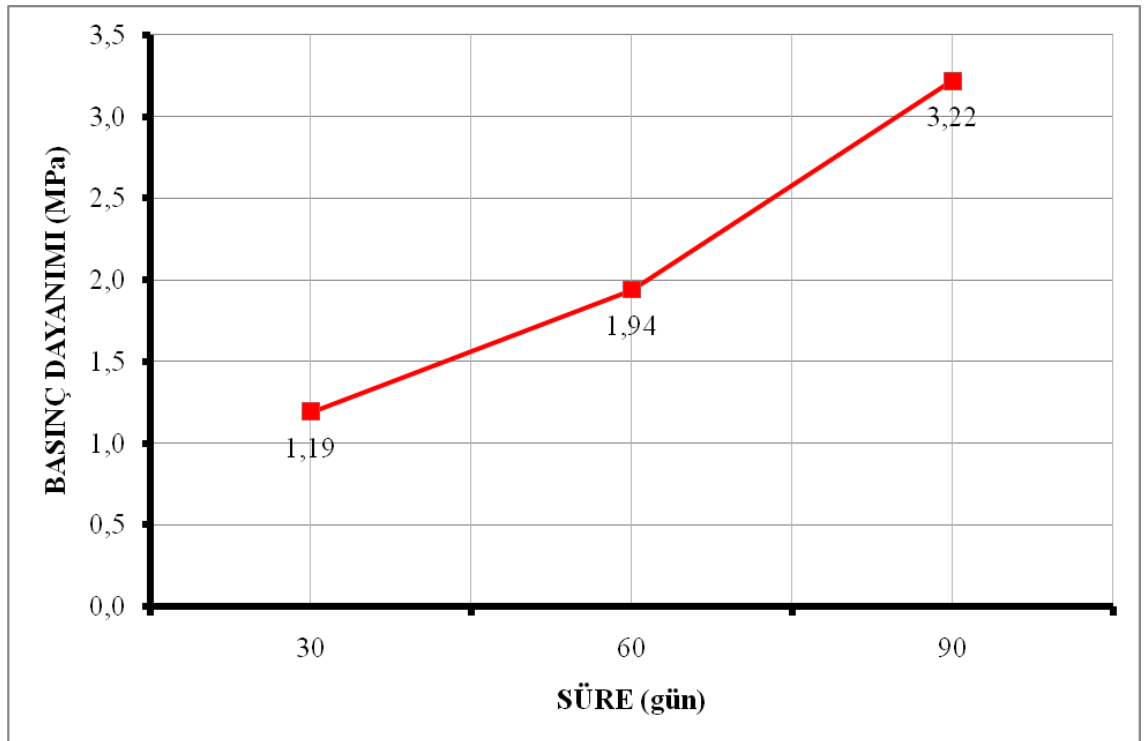
Onarım harçlarında 1, 2, 3 aylık sürelerde tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı deneyi, basınç dayanımı deneyi, ultrases deneyi yapılmıştır. Ayrıca Myra ve Andriake'ye yakın bir tarihi yapıda (Xsantos) yapılan onarım çalışmalarında kullanılan iki tür harç numuneden (YH01, YH02) karşılaştırma yapmak için alınarak bunlar üzerinde 12 aylık süreçte yukarıda belirtilen mekanik deneyler yapılmıştır (Çizelge 4.56).

Çizelge 4.56. Onarım harcı eğilmede çekme ve basınç dayanımı ortalama sonuçları

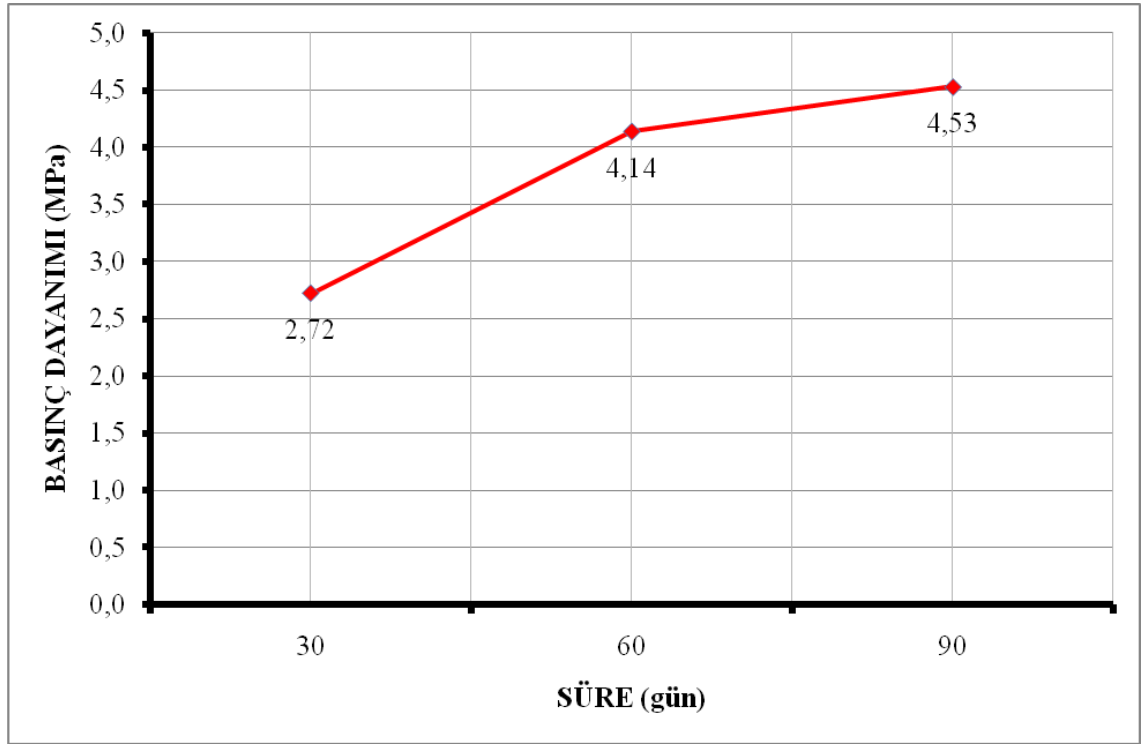
SN	NUMUNE NO	SÜRE (ay)	EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI (MPa)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	YH01	12	2.03	9.08
2	YH02	12	0.43	2.97
3	YH03-1	1	0.47	1.19
4	YH03-2	2	0.70	1.94
5	YH03-3	3	0.70	3.22
6	YH04-1	1	0.47	2.72
7	YH04-2	2	0.65	4.14
8	YH04-3	3	0.94	4.53
9	YH05-1	1	0.77	3.16
10	YH05-2	2	0.59	4.86
11	YH05-3	3	0.87	5.97
12	YH06-1	1	1.29	7.94
13	YH06-2	2	1.52	9.22
14	YH06-3	3	1.41	9.27



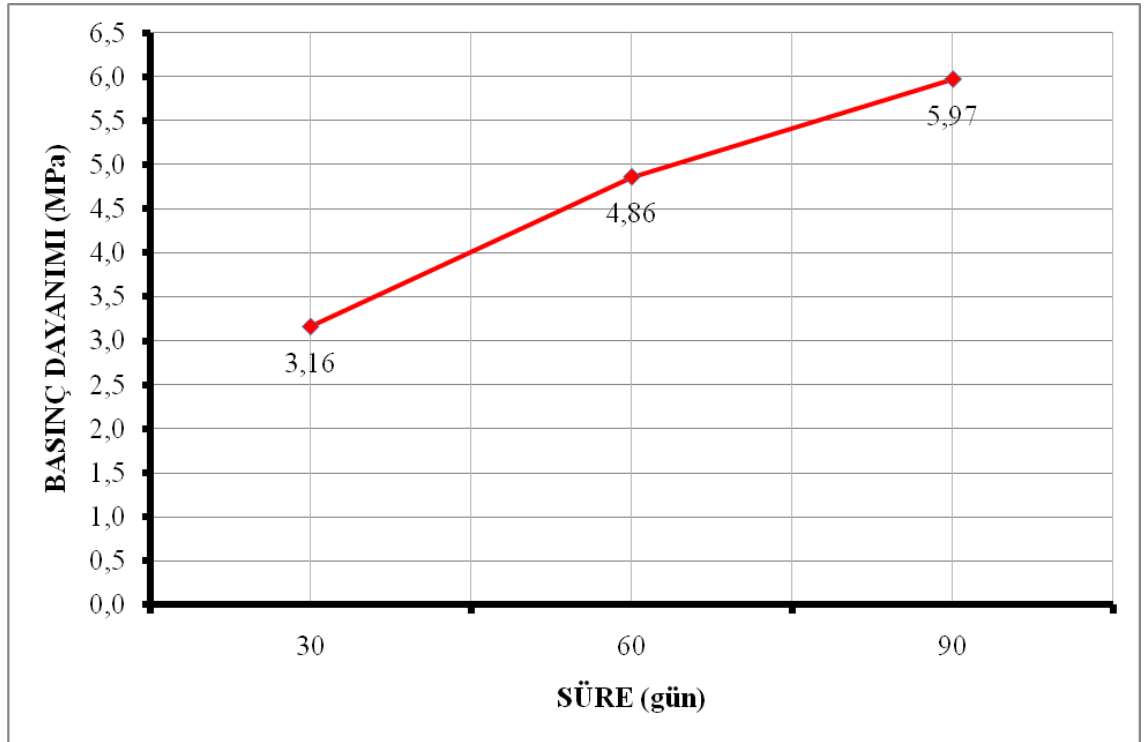
Şekil 4.64. Onarım harçlarının üç aylık eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları



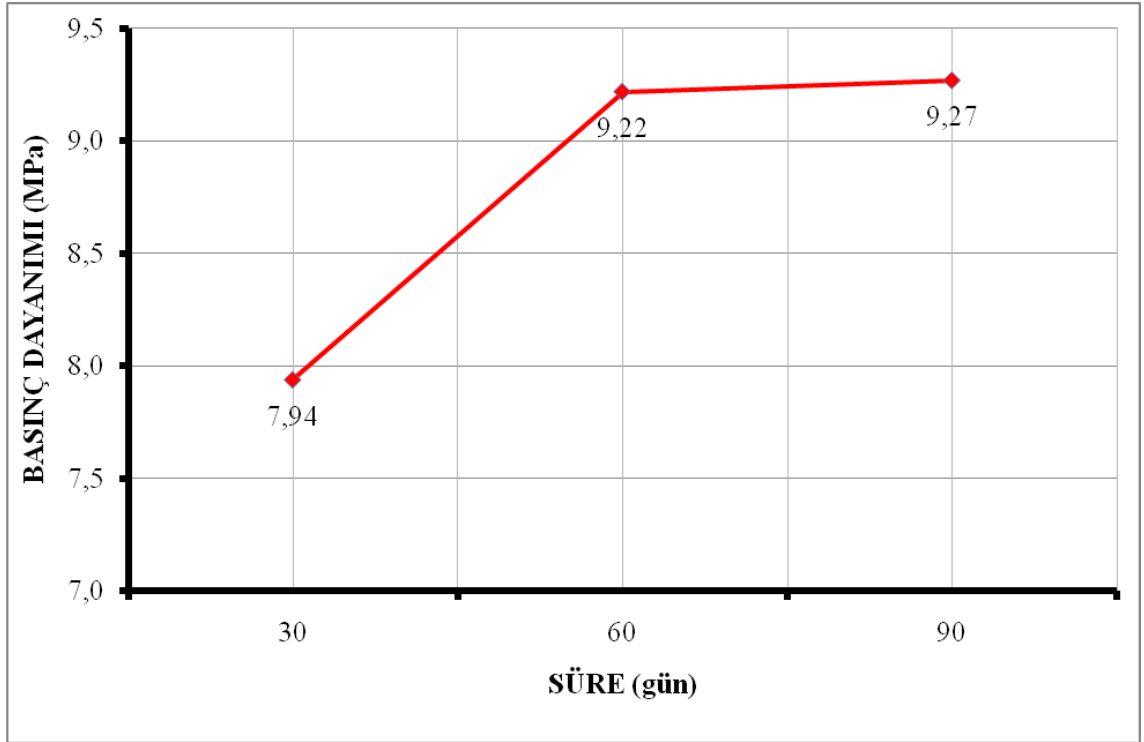
Şekil 4.65. YH03 onarım harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi



Şekil 4.66. YH04 onarım harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi

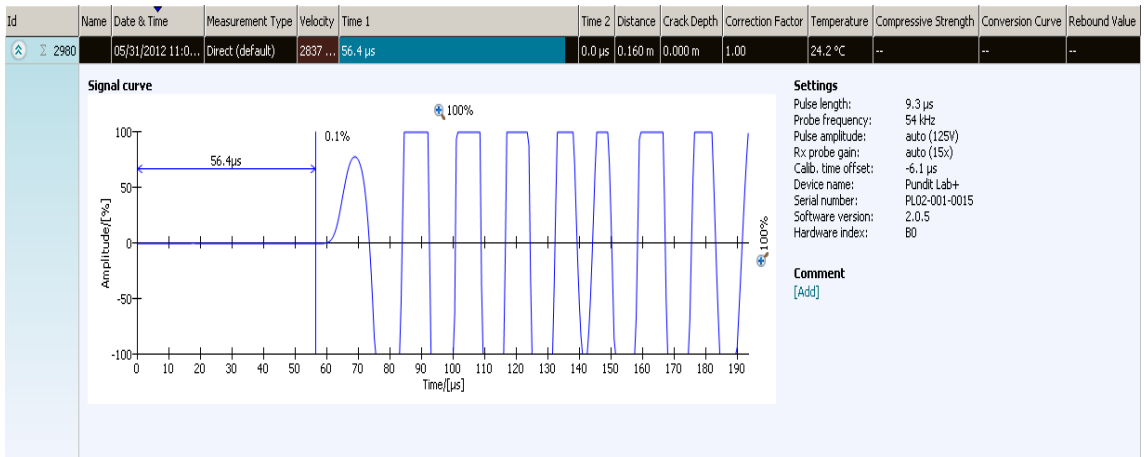


Şekil 4.67. YH05 harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi

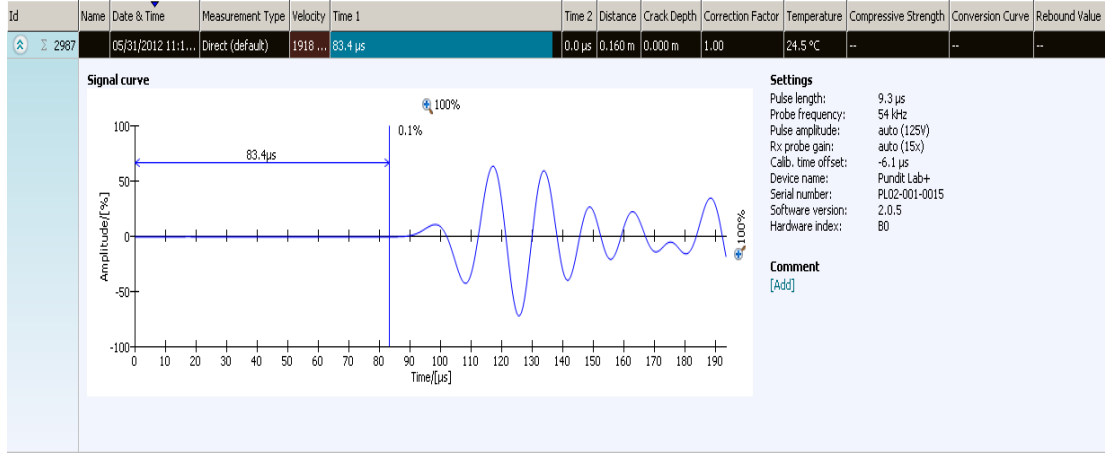


Şekil 4.68. YH06 harç numune basınç dayanımının zamana göre değişimi

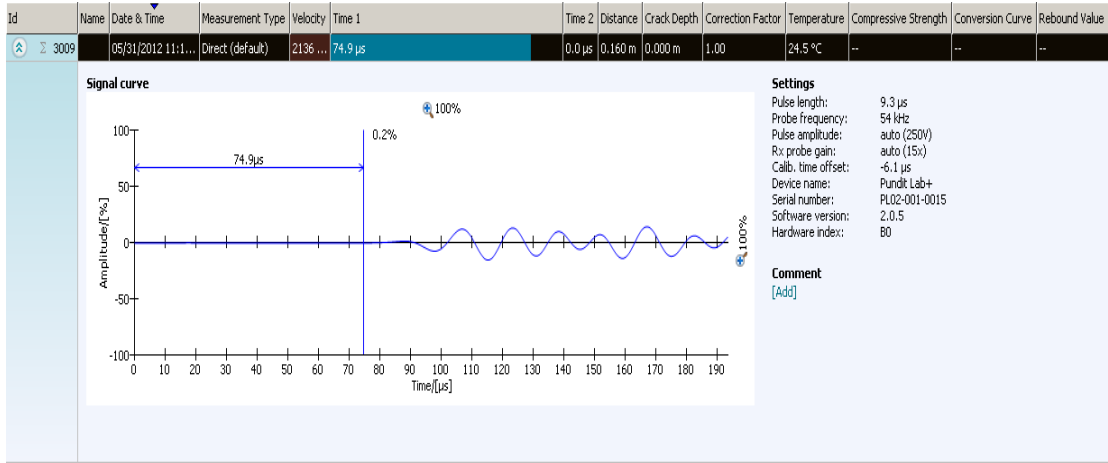
Onarım harç numuneleri üzerinde ultrases geçiş süreleri ölçülerek, buradan ultrases hızları ile dinamik elastisite modülleri belirlenmiştir. Tüm numunelerin ultrases grafikleri Şekil 4.69 - 4.74'de verilmiştir.



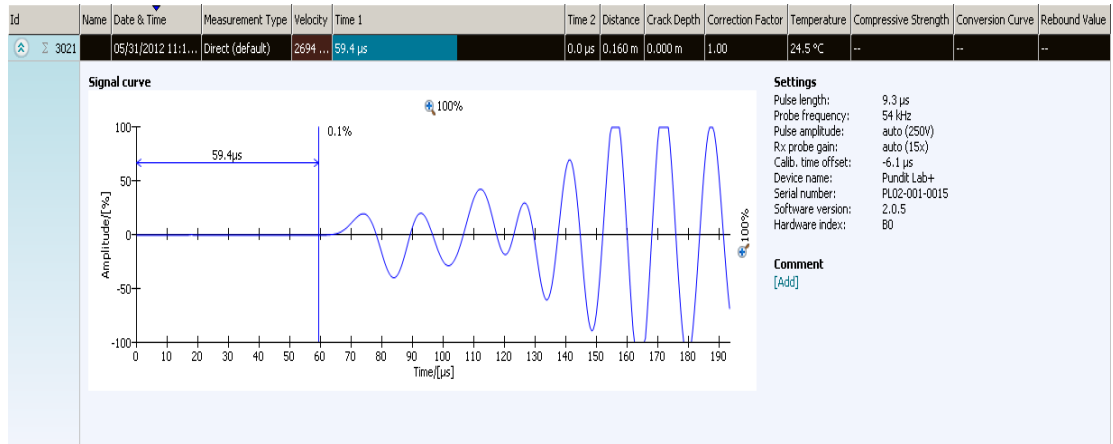
Şekil 4.69. YH01 onarım harç numune ultrases grafiği



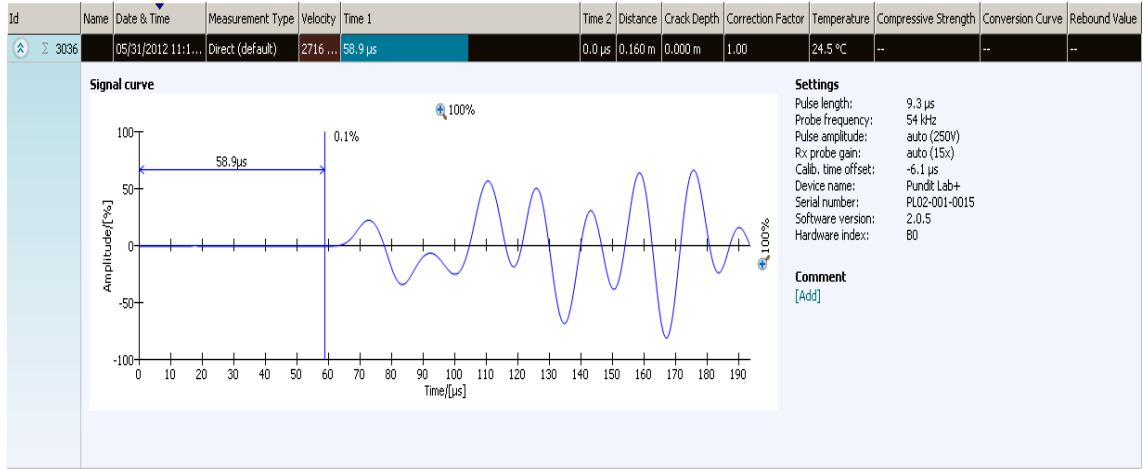
Şekil 4.70. YH02 onarım harç numune ultrases grafiği



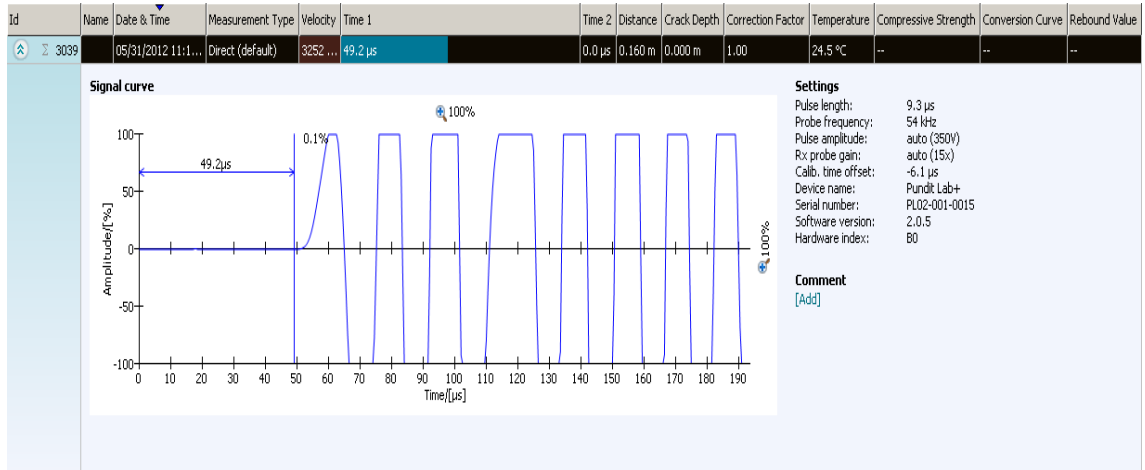
Şekil 4.71. YH03 onarım harç numune ultrases grafiği



Şekil 4.72. YH04 onarım harç numune ultrases grafiği



Şekil 4.73. YH05 onarım harç numune ultrases grafiği



Şekil 4.74. YH06 onarım harç numune ultrases grafiği

Çizelge 4.57. Onarım harcı numunelerin ultrases hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları

SN	NUMUNE NO	BİRİM HACİM KÜTLE (gr/cm^3)	ULTRASES HIZI (km/sn)	DİNAMİK ELASTİSİTE MODULU (MPa)
1	YH01	1.77	2.837	14528
2	YH02	1.75	1.938	6703
3	YH03	1.78	2.136	8282
4	YH04	1.79	2.694	13248
5	YH05	1.78	2.716	13390
6	YH06	1.80	3.252	19413

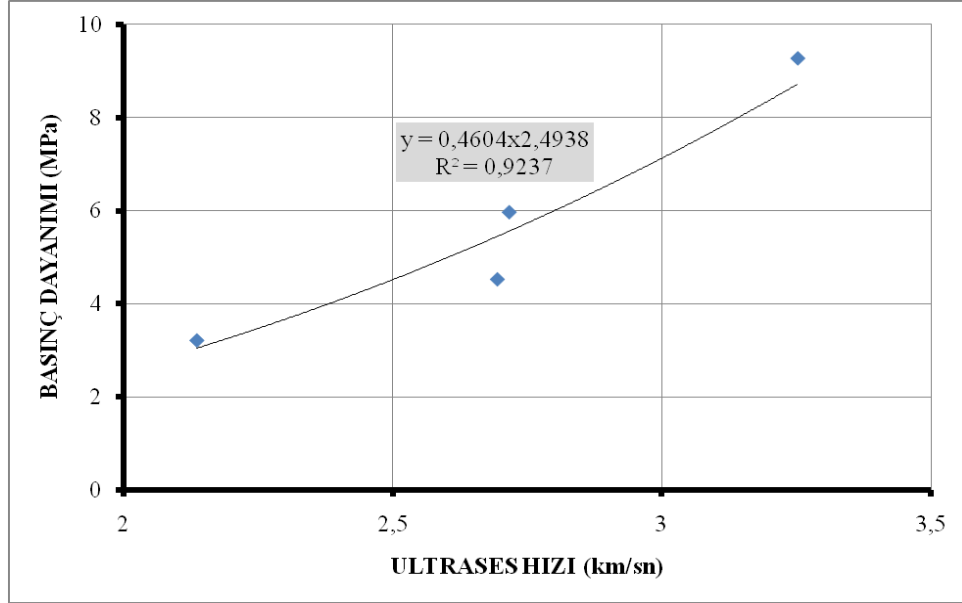
Onarım harç numunelerin ultrases hızları Çizelge 4.57'den; YH01 ve YH02 numunelerinin ortalama 2.388 km/sn, YH03, YH04, YH05, YH06 numunelerinin ortalama 2.700 km/sn olarak belirlenmiştir.

Önemli mekanik özelliklerden biri olan dinamik elastisite modülü, bir malzemenin yükleme altında dayanabildiği “gerilme/deformasyon” oranı olarak tanımlanabilir. Dinamik elastisite modülü değerini hesaplayabilmek için numunelerin ultrasonik hız ölçümleri yapılmış, birim hacim kütle değeri ile birlikte Bölüm 3.2.5.5’de belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Çizelge 4.57’de belirtildiği üzere, YH01 ve YH02 numunelerinin ortalama 10616 MPa, YH03, YH04, YH05, YH06 numunelerinin ortalama 13583 MPa olarak bulunmuştur.

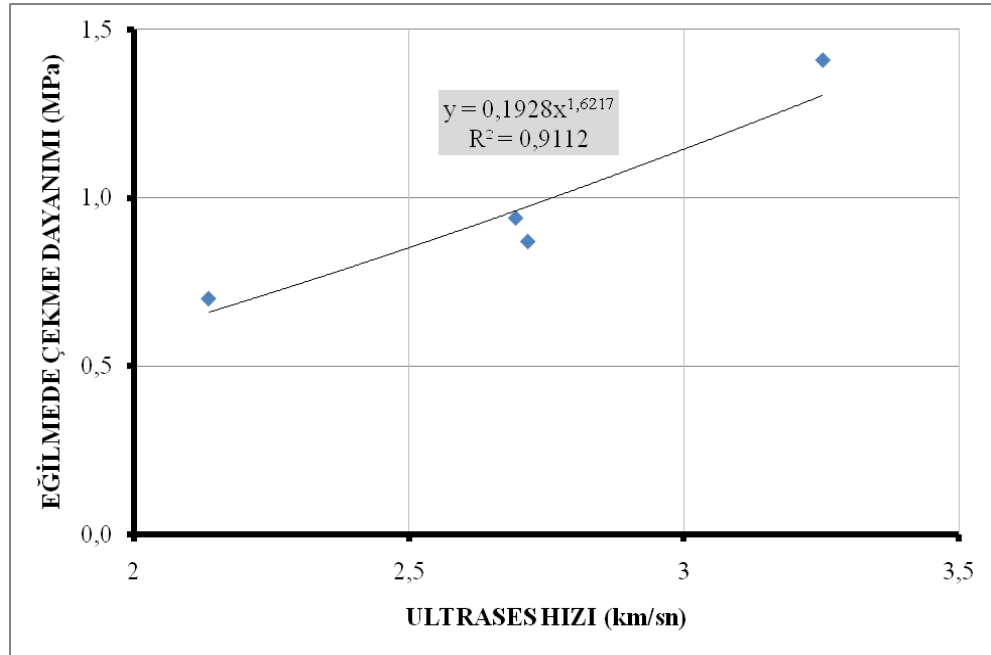
Onarım harçlarının mekanik değerleri ile ultrases hızları arasındaki ilişkiler doğrusal regresyonla değerlendirilmiştir (Şekil 4.75(a) ve (b)). Onarım harçlarının basınç dayanımı ile ultrases hızı değerleri arasındaki korelasyon katsayısı $R^2 = 0.9237$, ultrases hızı değerleri ile eğilme dayanımları arasındaki korelasyon $R^2 = 0.9112$ şeklinde yüksek bir değer elde edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen yüksek korelasyon katsayıları onarım harçlarının mekanik özellikleri ile ultrases hızları arasında lineer bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu durum onarım harçlarının yaklaşık mekanik ve fiziksel özelliklerini kestirebilmek için tahribatsız ultrases hızı yönteminin belirli bir güvenlikle kullanılabileceğini ve bu özellikleri hakkında bilgiler verebileceğini ifade etmektedir.

Onarım harçlarının mekanik özellikleri ile temel fiziksel özelliklerden olan porozite arasındaki ilişkiler doğrusal regresyonla araştırılarak aralarındaki korelasyon değerlendirilmiştir (Şekil 4.76(a) ve (b)). Onarım harçlarının porozite oranları ile basınç dayanımları arasındaki korelasyon $R^2 = 0.6011$, porozite ile eğilme dayanımları arasındaki korelasyon $R^2 = 0.7907$ şeklinde değerler almaktadır. Katsayılarıdaki küçük sapmalar numunelerin heterojen bir iç yapı özelliği göstermeleri ve farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması nedeniyle olağan karşılanabilir. Bununla birlikte yine de, belirli bir güvenilirlikle, onarım harçlarının fiziksel özellikleri ile mekanik davranışları arasında doğrusal ilişkilerin bulunduğu söylenebilir. Özellikle Onarım

harçlarının eğilme dayanımları ile porozite oranları arasındaki korelasyonun daha yüksek bir değer aldığı görülmektedir.

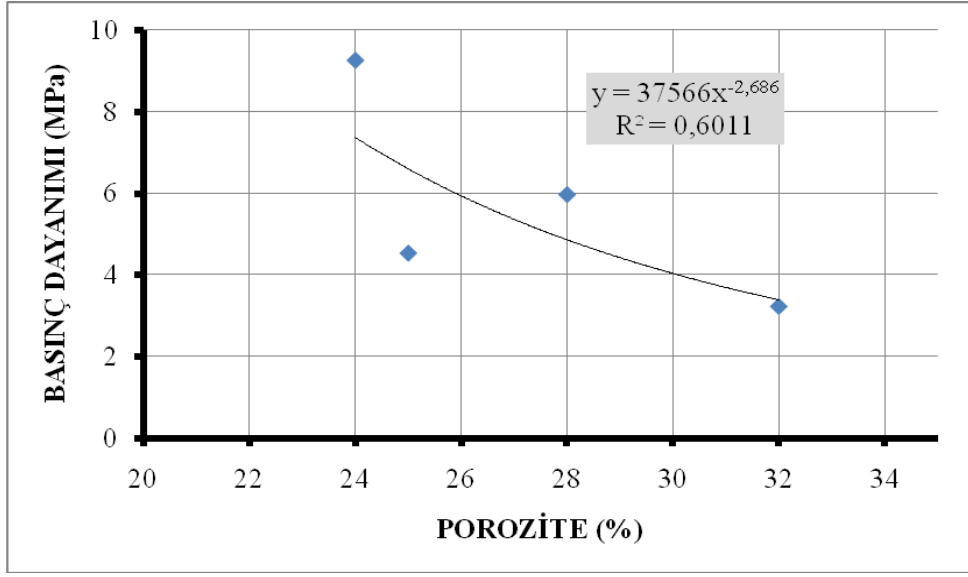


(a)

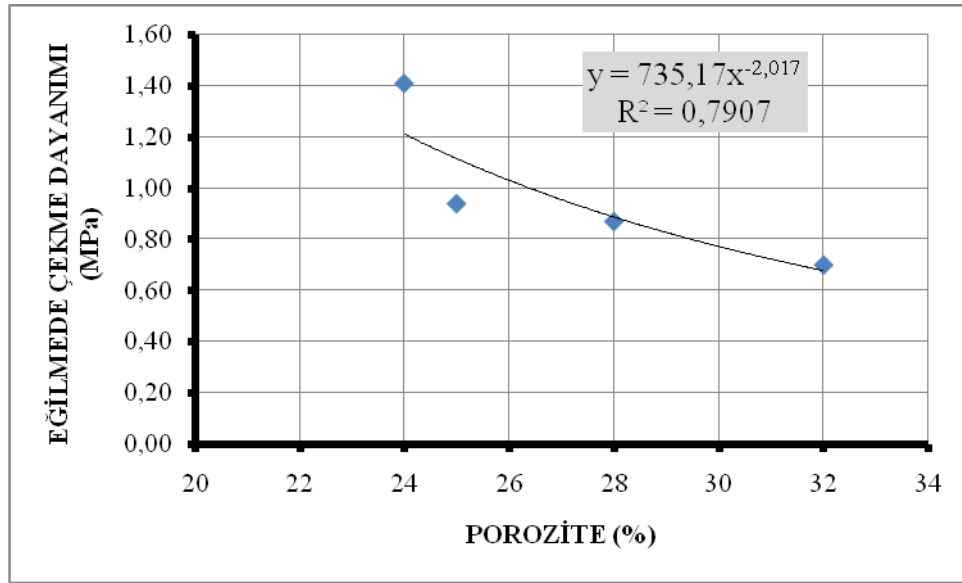


(b)

Şekil 4.75. Onarım harçlarının ultrases hızları ile basınç dayanımı (a) ve eğilmede çekme dayanımı (b) arasındaki ilişkiler



(a)



(b)

Şekil 4.76. Onarım harçlarının porozite oranları ile basınç dayanımı (a) ve eğilmede çekme dayanımı (b) arasındaki ilişkiler

5. SONUÇ

Antalya ili içerisinde yer alan Myra ve limanı Andriake’de Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemlerinde inşa edilmiş olan tarihi yapılarda kullanılan harç, sıva, tuğla, taş gibi yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal, mikroyapı, mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu yapı malzemelerin ne tür karakteristik özelliklere sahip olduğu, belirlenen deney akış şeması göz önüne alınarak 54 adet numune üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bölgesel hammadde kaynakları araştırılmış, elde edilen deneysel veriler kullanılarak, özgününe uygun onarım harçları üretilmiş, yeni malzemelerle üretilen onarım harçlarının eski harçlara uyumu analiz edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Farklı dönemlere ait yapılarda kullanılan malzemelerin özelliklerinin yeni ve/veya mevcut deney ve analizlerle tayininin sağlanması ve gerektiğinde koruma ya da onarım amaçlı malzemelerin geliştirilmesi ve bunların yerinde uygulanması çalışmaları oldukça önemlidir. Ancak bu tür tarihi yapılar üzerinde yapılan çalışmalara yeteri kadar, inşaat mühendislerinin dahil olmadığı literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında görülmektedir. Özellikle, arkeolog, mimar ve kimyacıların dışında, inşaat mühendisi yapı malzemelerinde uzman kişilerin de bu konuya eğilmeleri, bu araştırmaların daha geniş ve kapsamlı biçimde yürütülebilmesine büyük katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla, mühendislik uygulamaları ile daha nitelikli çalışmaların önünün açılacağı ve bu kapsamda inşaat mühendislerinin rolü önemli olmaktadır.
- Tarihi yapıların onarımında kullanılacak malzemelerin doğru seçilebilmesi veya üretilmesi için, özgün malzeme özelliklerinin çok iyi tespit edilmesi gerekir.
- Tarihi yapıların onarımında kullanılacak malzemenin özgün malzeme ile uyumu için fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinden başka mineralojik ve mikro yapı analizleri de yapılmalıdır.
- Bu tez çalışmasında, özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesi için Myra ve limanı Andriake’de bulunan sekiz yapıdan alınan numuneler üzerinde yapılan deney ve analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:
 - Roma dönemi inşa edilmiş Tiyatro ve Plakoma yapılarında doğal taş olarak kireçtaşı kullanılmıştır. Kireçtaşının basınç dayanımının

Tiyatro'da ortalama 25.8 MPa, Plakoma'da ortalama 51.3 MPa, statik elastisite modulünün Tiyatro'da ortalama 25360 MPa, Plakoma'da ortalama 50877 MPa, ultrases hızları Tiyatro'da ortalama 4.595 km/sn, Plakoma'da ortalama 5.516 km/sn, birim hacim kütlelerinin Tiyatro'da 2.39 gr/cm³, Plakoma'da 2.44 gr/cm³, özgül kütlelerinin Tiyatro'da 2.63 gr/cm³, Plakoma'da 2.65 gr/cm³, kompasitesinin Tiyatro'da % 91, Plakoma'da % 92, porozitesinin Tiyatro'da % 8, Plakoma'da % 9 ve hacimce su emme değerinin Tiyatro'da % 6.41, Plakoma'da % 8.40 olduğu tespit edilmiştir.

- 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, dinamik elastisite modüllerinin 9336-28914 MPa, ultrases hızlarının 2.392-3.947 km/sn, Schmidt çekici deney sonuçlarına göre eşdeğer tahmini basınç dayanımları; Plakoma'da (2. yüzyıl), 19.0 MPa, Liman yapılarında (4. yüzyıl) ortalama 18.0 MPa, Tiyatro'da (2. yüzyıl) 18.0 MPa, Hamam'da (3. yüzyıl) ortalama 32.8 MPa, 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 edilmiştir.
- Roma dönemi inşa edilen Plakoma'da kullanılan sıvanın; basınç dayanımının 7.2 MPa, birim hacim kütlelerinin 1.73 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.68 gr/cm³, kompasitesinin % 65, porozitesinin % 35 ve hacimce su emme değerinin % 26.08 olduğu tespit edilmiştir.
- Roma, Bizans, Selçuklu dönemi inşa edilen Plakoma, Sinagog, Granarium, Liman Yapıları, Kuzey Yerleşim, Taşdibi, Tiyatro ve Hamam'da kullanılan harçların; Nokta yükleme deney sonuçlarına göre ortalama basınç dayanımları; Plakoma'da (2. yüzyıl), 5.5 MPa, Sinagog'ta (5. yüzyıl) 8.3 MPa, Granarium'da duvarlarda (2. yüzyıl) 6.0 MPa, tabanda (6. yüzyıl) 9.5 MPa, Liman yapılarında (4.yüzyıl) 5.1 MPa, Kuzey yerleşim'de (6. yüzyıl) 3.5 MPa, Taşdibi'nde (13. yüzyıl) 6.6 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 edilmiştir.

- Sekiz yapıdan alınan harçlarda bağlayıcı/agrega oranının 1/3 ile 1/9 arasında değiştiği görülmüştür. Roma dönemi yapılarında (Granarium üst yapı, Plakoma, Liman Yapıları, Tiyatro, Hamam) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/6, Bizans dönemi yapılarında (Sinagog, Granarium zemin, Kuzey Yerleşim) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/7, Selçuklu dönemi yapılarında (Taşdibi) ortalama bağlayıcı/agrega oranının 1/4 olduğu görülmektedir. Maksimum tane boyutu 4 mm olan GH5, LH2, TH4 kodlu numunelerin dışındaki tüm gruplarda, agrega maksimum tane boyutunun 8 mm olduğu tespit edilmiştir.
- Roma, Bizans, Selçuklu dönemi harçlarının fiziksel, mekanik, hammadde özellikleri açısından birbirine benzediği görülmektedir. Yapılan analizler sonucu, yapılarda kullanılan harçlarda bağlayıcı/agrega oranları ve içerikleri, fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri açısından dönemsel bir farklılaşma tespit edilememiştir. Harçların düşük birim hacim kütleye ve yüksek gözenekliliğe sahip olduğu saptanmıştır. Çoğunda bağlayıcı-agrega arasında iyi aderans sağlandığı SEM analizinden gözlenmiştir.
- Denize yakın bölgedeki Granarium, Liman Yapıları ile Myra Hamam yapısındaki harçlarda klorür varlığı tespit edilmiştir. Klorun deniz suyundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Myra'daki Tiyatro, Hamam yapıları civarında aktif tarımın varlığıyla oluşan tarımsal atıklardan ve kentiçi trafiğe maruz bölge olması nedeniyle atmosferik kirlilikten dolayı sülfat ve karbonat varlığı düşünülmektedir. Çok sayıda numunede nitrat varlığı bölgenin yoğun tarım yapılan bir bölge olması nedeniyle tarımsal atıklardan kaynaklandığı kanaatine varılmaktadır.
- Harçların %45'i puzolanik aktiviteye sahip, %55'inin puzolan olmadığı tespit edilmiştir.
- Harçların %55'inde protein, %60'ında yağ, %71'inde hem protein ve hem de yağ varlığının, harçlarda kullanılan katkılardan kaynaklanmış olabileceği

ve/veya malzemelerin kirliliğinin etkisi de düşünülmektedir. %29'unda ise protein ve yağ varlığı tespit edilememiştir.

- Myra ve Andriake'de bulunan yapılarda kullanılan Roma, Bizans ve Selçuklu dönemlerindeki harçlar, kalsit ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Kalsit minerali, bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kuvars minerali ise kullanılan agregaların genellikle silisyum mineralini içerdiğini göstermektedir. Farklı dönemlerde inşa edilen yapılarda kullanılan harç malzemesi bölgede dağılım sunan kayalardan üretilmiştir ve dönemselsel olarak harç kimyasında bir farklılık gözlenmemektedir.
- Harçların SEM/EDX analizlerinde yüksek oranlarda kalsiyum bulunması, harçların hazırlanmasında saf kirecin kullanıldığını göstermektedir.
- Myra ve limanı Andriake'deki Roma dönemi, Bizans dönemi, Selçuklu dönemi harçlar, tipik kireç harcı, hidrolik kireç harcı, puzolanik harç sınıfına giren bir dağılım göstermektedir.
- Myra ve limanı Andriake'deki Roma dönemi, Bizans dönemi harçlarının bir kısmının hidrolik özellikte ve diğer kısmının hidrolik olmadığı TG/DTA analizlerinden görülmekle birlikte, Selçuklu dönemi harçlarının hidrolik olmadığı tespit edilmiştir.
- Tuğla, harç ve sıva numunelerinin pH değerlerine bakıldığında bazik oldukları görülmektedir.
- Tuğla numunelerinin %43'ü puzolanik aktiviteye sahip, %57'sinin puzolan olmadığı belirlenmiştir. Bu değerler, tuğlaların düşük miktarda puzolanik madde içerdiğini ortaya koymuştur.
- Myra'da bulunan Roma dönemi inşa edilen Hamam ve Tiyatro'da kullanılan tuğlaların, farklı yüzyıllarda üretilmelerine rağmen aynı içerikli olmaları kompozisyonlarında çok değişiklik yapılmadıysa hammaddelerinin birbirine yakın yerlerden ya da aynı kaynağın değişik katmanlarından elde edildikleri ileri sürülebilir.
- XRF analiz sonuçlarına göre tuğlaların temel oksit ve eser oksit % konsantrasyonlarının birbirine benzer özellikte olması, bu tuğlaların üretiminde kullanılan hammaddenin aynı kaynaktan alınmış olabileceğini göstermektedir.

- Tuğla numunelerinin SEM görüntülerinden ise camsı yapının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum tuğlaların düşük sıcaklıklarda pişirilmiş olduklarını doğrulamaktadır. Tuğlaların XRD kırınım desenlerinde mullit ve kristobalit gibi minerallere rastlanmamış olması ve illit mineralinin gözlenmesi bu tuğlaların pişirilme sıcaklıklarının 900°C'yi geçmediğini, hematitin varlığı ise tuğlaların 850°C civarında pişirildiklerini işaret etmektedir. Üretimde kullanılan hammaddeler yöresel kaynaklardan elde edilmiş olup, tuğlalar muhtemelen 800-900°C'ler civarında pişirilmişlerdir.
- Farklı yüzyıllarda üretilen Roma dönemi (Plakoma, Liman Yapıları, Hamam) tuğlaları, Bizans dönemi (Sinagog, Granarium taban) tuğlalarına göre daha yüksek mukavemetde çıkmıştır. Basınç dayanımı değerinin TS EN 771-1'de orta dayanımlı dolu harman tuğlası için verilen 5.0 MPa'lık minimum basınç dayanımını sağladığı görülmüştür.
- Tuğlaların 2. yüzyıldan bu zamana kadar geçen süreçte çevresel, atmosferik ve fiziko-kimyasal etkilere karşı özgünlüğünü büyük ölçüde korumaları ve yer yer üstün mekanik özelliklere sahip olmaları, uygun tekniklerle üretildiklerini göstermektedir.
- Aynı yapıların farklı yerlerinden alınan tuğlaların farklı fiziksel ve mekanik özellikler taşıması, bunların geleneksel ve ampririk yöntemlerle üretilmesinin bir sonucu olarak kendisini gösterebileceği gibi dönemsel inşaa ve malzeme kullanım teknolojilerinin değişikliğine de işaret etmektedir.
- Bazı tuğlalarda gözlemlenen şekil bozuklukları üretimin hızlı yapıldığı görüntüsü vermektedir.
- Onarım harç numunelerin fiziksel özellikleri incelendiğinde; birim hacim kütlelerinin 1.78-1.80 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.38-2.63 gr/cm³, kütlece su emme yüzdelerinin % 16-17, hacimce su emme yüzdelerinin % 28-31, porozitelerinin % 24-32, kompasitelerinin % 68-76 aralığında olduğu belirlenmiştir. Tamamının puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir.
- Onarım harçlarının; tipik kireç harcı, hidrolik kireç harcı, puzolanik harç sınıfına girdiği belirlenmiştir.
- Onarım harçlarının bir tanesi hariç (YH04), tamamının hidrolik özellikte olduğu saptanmıştır.

- Onarım harcı olarak YH06 kodlu harç önerilmektedir.
- Onarım harçlarına puzolan katılması atmosfer etkilere karşı dayanıklılığı arttırmakta, ayrıca puzolan olarak, Antalya Etibank Elektrometalurji A.Ş. İşletmesinin tesislerinden temin edilen ve atık ürün olan silis dumanının kullanılması, hem ekonomi hem de atıkların değerlendirilerek çevreye katkıda bulunması bakımından da yarar sağlamıştır.
- Bu tez çalışmasında tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin mühendislik gözüyle incelenmesi ve farklı yüzyıllarda inşa edilmiş yapıların zaman içerisindeki gelişimleri ve karakteristik özellikleri ortaya konmuştur. Elde edilen veriler, ileriki aşamalarda tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmalarına ışık tutabilecektir. Tarihi yapılarda araştırma ve çalışma yapacak kişi veya kurumlara yol gösterici nitelikte olabilecektir. Zengin bir kültürel mirasa sahip olan ülkemizde, bu konuda yapılacak her türlü saha ve laboratuvar aktiviteleri için gerekli teknik personelin yetiştirilmesine de olanak sağlayabilecektir.
- Tez çalışmasında incelenen Roma, Bizans ve Selçuklu uygarlıklarının kullandıkları tarihi yapı malzemelerinin üretim teknikleri ve malzeme teknolojileri hakkında bilgi verebilecektir. Bu üretim teknikleri ve malzeme teknolojisi göz önünde tutularak tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmaları sırasında malzeme seçiminde yol gösterici olabilecektir. Tarihi yapı malzemeleri ile ilgili çalışmalara dikkat edilirse, mühendislik bakış açısının önemi daha iyi anlaşılabilecektir. Yapılan bilimsel çalışma ve değerlendirme raporlarında, tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin incelenmesi bize geçmiş, günümüz ve gelecek arasında köprü kuruyor olması ve bu malzemelerin imalat yapım tekniklerinin bugünkü malzemelerle karşılaştırılmasına olanak sağlayabilecektir.
- Tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmalarının bilimsel kriterleri göz önüne alındığında, özgün yapı malzemelerinin karakterizasyon çalışmaları ve malzeme araştırmaları belge niteliğinde olmakla birlikte, koruma, onarım ve güçlendirme çalışmaları için yeterli olmamaktadır. Karakterizasyon çalışmaları sonucuna göre uygun hammadde kaynakları bulunarak yapılacak üretimle ortaya çıkan yapı malzemelerinin özgün yapı malzemelerine uygun, onlara zarar

vermeyen bir yapıda olması karşılaştırma deneyleri ile saptanmalıdır. Daha önce yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde bu konuda yapılmış olan çalışmaların çok az sayıda olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile bu konudaki araştırma eksikliklerine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

- Bu tez çalışması; Myra ve limanı Andriake’de bulunan Plakoma, Sinagog, Granarium, Liman Yapıları, Kuzey Yerleşim, Taşdibi, Hamam, Tiyatro yapılarının 2009 yılında başlayan kazı çalışmaları doğrultusunda yapılacak koruma, onarım ve güçlendirme çalışmaları sırasında, malzeme seçimi ve uygulamasına referans olabilecek, bölgede oldukça fazla bulunan tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmalarına kaynak oluşturması amaçlanmıştır.
- Bundan sonra yapılacak araştırmalarda, tarihi yapıların koruma, onarım ve güçlendirme çalışmalarında kullanılacak yapı malzemelerinin durabilite açısından incelenmesi önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- ACUN, S. and ARIÖĞLU, N. 2006. A method concerning the preservation and restoration works of the Stones used in historical buildings. *Architectural Science Review*, 40(2): 1223-1230.
- ACUN-ÖZGÜNLER S. 2007. Tarihi Yapılarda Kullanılan Volkanik Tüflerin Konservasyonu Üzerine Bir Araştırma: Od Taşı Örneği. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 165 s.
- ADAM, J. P. 1999. Roman Building Materials and Techniques. London, 727 p.
- ADRIANO, P., SANTOS SILVA, A., VEIGA, R., MIRAO, J. and CANDEIAS, A.E. 2009. Microscopic characterization of old mortars from the Santa Maria Church in Evora. *Material Characterization*, 60: 610-620.
- AHUNBAY, Z. 1995. Osmanlı mimarlığında od taşı. 9. Milletlerarası Türk Sanatları Kongresi, Ankara.
- AKBULUT-EKŞİ, D. 2006. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri. Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 178 s.
- AKMAN, M. S. 1990. Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları ikinci baskı, Ders Kitabı, İstanbul, 162 s.
- AKMAN, M. S. 1997. Building Materials in Early Ages of Mankind. *International Conference on Studies in Ancient Structures*. İstanbul, 177-186.
- AKMAN, M. S. 2003. Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426:30-36.
- 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*, İstanbul.
- AKÖZ, F. ve YÜZER, N. 2005. Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Cilt 2, Antalya, 225-235.
- AKÖZ, F., YÜZER, N., ÇAKIR, 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., YÜZER, N. ve KORAL, S. 1996. Silis Dumanı Katkılı Harçlara Sodyum Klorür ve Magnezyum Klorür Etkileri. 4. *Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul.

- ALMESBERGER, D., TONCIC, M., D'AMATO, A. and RIZZO, A. 1997. Diagnosis of the Historical Buildings of Dubrovnik Damaged by the War. *International Conference on Studies in Ancient Structures*, İstanbul, 217-224.
- 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.
- ANDERSEN, H. D., ZIMMERMANN, H. D., FRIIS, H. and SCHNELL, U. 1999. Examination of hydraulic lime mortars of medieval churches in Denmark. *Historic Mortars: Characteristics and Tests, International RILEM Workshop*, Paisley, Scotland, 37-42.
- ARIKAN B. 2009. Patara hurmalık hamamı antik yapı malzemelerinin mikroanaliz teknikleri ve spektroskopik yöntemlerle karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 117 s.
- ARIOĞLU, N., TUĞRUL, A., ZARİF, İ.H., GİRGİN, C. ve ARIOĞLU, E. 1999. Küfeki taşının dayanıklılık analizi: Şehzade Camisi Örneği-I. *Yapı Dergisi*, 214:109-113.
- ASHURST, J. 1984. Mortars, Plaster and Renders in Conservation, Ecclesiastical Architects and Surveyors Association, London.
- ASHURST, J. and ASHURST, N. 1990. Mortars, Plasters and Renders. Vol.3. Practical Building Conservation. Gower Technical Press. England.
- ASHURST, J. and DIMES, F. G. 1990. Mortars of stone buildings. *Conservation of Building and Decorative Stone*, 2:78-93.
- BARADAN, B. 1998. Yapı Malzemeleri II. Mühendislik Fakültesi Basımevi, İzmir.
- BARONIO, G., BINDA, L. and LOMBARDINI, N. 1997a. The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks. *Construction and Building Materials*, 11(1):33-40.
- BARONIO, G., BINDA, L. and TEDESCHI, C. 1997b. Thick Mortar Joints in Byzantine Buildings: Study of Their Composition and Mechanical Behaviour. *International Conference on Studies in Ancient Structures*. İstanbul, 235-244.
- BARONIO, G., BINDA, L. and SAISI, A. 1999. Mechanical and physical behaviour of lime mortars reproduced after the characterization of historic mortars. *Historic Mortars: Characteristics and Tests, International RILEM Workshop*, Paisley, Scotland, 307-325.
- BAYRAKTAR, A. 2006. Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metotları. Beta Yayınları, İstanbul.

- BERLUCCHI, N. and CORRADINI, G. R. 1995. Experimentation of a chemical-physical methodology for the reconstruction of historic mortars. *International Colloquium, Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments*. ICCROM, Rome, 1-13.
- BIANCHINI, G., MARROCCHINO, E. and VACCARO, C. 2004. Chemical and mineralogical characterization of historic mortars in Ferrara (northeast Italy). *Cement and Concrete Research*, 34: 1471-1475.
- BISCONTIN, G., BIRELLI M.P. and ZENDRI, E. 2002. Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 3:31-37.
- 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.
- BORCHHARDT, J. 1975. Myra Eine Lykische Metropole. Vom Sande zugedeckte Häuser der gleichen Zeit fanden wir am Strand. 49.
- BORRELLI, E. 1999. Binders. ARC Laboratory Handbooks. ICCROM. S.p.A. Pres, Roma.
- BOYNTON, R.S. 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd Edition, John Willey & Sons, New York.
- BÖKE, H. and ÖZKAYA-ASLAN, Ö. 2009. Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis temple in the city of Pergamon. *Materials Characterization*, 60: 995-1000.
- BÖKE, H. and UĞURLU, E. 2009. The use of brick-lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings. *Construction and Building Materials*, 23: 2442-2450.
- BÖKE, H., AKKURT, S. ve İPEKOĞLU, B. 2004. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269: 90-95.
- BÖKE, H., AKKURT, S., İPEKOĞLU, B. and UĞURLU, E. 2006. Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement and Concrete Research*, 36: 1115-1122.
- BÖKE, H., AKKURT, S., İPEKOĞLU, B. ve UĞURLU, E. 2007. Onarım amaçlı horasan harç ve sıvaların hazırlanması. *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, 3: 68-72.
- BÖKE, H., ÇİZER, Ö., İPEKOĞLU, B., UĞURLU, E., SERİFAKİ, K. and TOPRAK, G. 2008. Characteristics of lime produced from limestone containing diatoms. *Construction and Building Materials*, 22: 866-874.

- BRUNO, P., CALABRESE, D., DI PIERRO, M., GENGA, A., LAGANARA, C., MANIGRASSI, D.A.P., TRAINI, A. and UBBRIACO, P. 2004. Chemical-physical and mineralogical investigation on ancient mortars from the archaeological site of Monte Sannace (Bari-Southern Italy). *Thermochimica Acta*, 418:131–141.
- BUDAK, M. 2005. Characterization of selected Beylikler Period mortars and processing of new intervention mortars for restoration purposes. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 92 s.
- BUDAK, M., AKKURT, S. ve BÖKE, H. 2004. Manisa’da bulunan bazı Selçuklu dönemi yapılarının harç ve tuğlalarının onarım amaçlı incelenmesi, *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 506- 516.
- BULTRINI, G., FRAGALA, I., INGO, G.M. and LANZA, G. 2006. Minero-Petrographic, Thermal and Microchemical Investigation of Historical Mortars Used in Catania (Sicily) During the XVII Century A.D.. *Applied Physics*. A83: 529-536.
- CALCATERRA, D., CAPPELLETTI, P., LANGELLA, A., MORRA, V., COLELLA, A. and DE GENNARO, R., 2000. The building stones of the ancient centre of Naples (Italy): Piperno from Campi Flegrei. A contribution to the knowledge of a long-time-used stone. *Journal of Cultural Heritage*. 1: 415–427.
- CALLEBAUT, K., ELSSEN, J., VAN BALEN, K. and VIAENE, W. 2001. Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael’s Church (Leuven. Belgium) Natural hydraulic lime or cement. *Cement and Concrete Research*, 397-403.
- CALLEBAUT, K., VIAENE, W., WAELEKENS, M., OTTENBURGS, R. and NAUD J. 2000. Provenance and Characterization of the Raw Materials of Lime Mortars Used at Sagalassos with Special Reference to the Volcanic Rocks. Sagalassos V Report on the Survey and Excavations Campaigns of 1996 and 1997. *Leuven University Press*, 651-665, Belgium.
- 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 ancient mortar from The Basilian monastery of Fragala. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91(2): 477-485.
- CERNY, R., KUNCA, A., VRATISLAV, T., DRCHALOVA, J. and ROVNANIKOVA, P. 2006. Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters. *Construction and Building Materials*, 20(10): 849-857.

- ÇAMLİBEL, N. 1983. Geleneksel Yapılarda Stabilitenin İyileştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- ÇAMLİBEL, N. 2000. Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi. Birsan Yayınevi, İstanbul
- ÇEVİK, N. 1995. Antik Dönemde, Yapı Taşlarının Kaldırılmasına İlişkin Teknikler. *Mimarlık Dergisi*, İstanbul, 11-12.
- ÇEVİK, N. 2010. Myra ve Limanı Andriake Kazılar Başlarken Ön Düşünceler. *Arkeoloji ve Sanat Dergisi*, 134:53-82.
- ÇEVİK, N. ve BULUT, S. 2010. İkinci kazı sezonunda Myra ve Limanı Andriake. Ed. N. Çevik, *Arkeolojisinden Doğasına Myra /Demre ve Çevresi*, 25 -118.
- ÇİZER, Ö. 2004. Investigation of lime mortar characteristics for the conservation of the Ottoman baths in Seferihisar-Urla region. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 131 s.
- ÇİZER, Ö., BÖKE, H. ve İPEKOĞLU, B. 2004. Bazı Osmanlı dönemi hamam yapılarının kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçlarının özellikleri. *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 469-481.
- ÇORAPÇIOĞLU, K. 1983. Doğal taş yapılarda taş ayrışmasının nedenleri ve maktralı kalkerler üzerinde korumaya yönelik bir araştırma. Doktora Tezi, MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DAVIDOVITZ, J. 1987. Ancient and Modern Concretes What is the Real Difference. *ACI Concrete International*, 9 (12): 23-35.
- DEGRYSE, P., ELSSEN, J. and WAELEKENS, M. 2002. Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation. *Cement and Concrete Research*, 32: 1457-1463.
- DEGRYSE, P., MUCHEZ, P., LOOTS, L., VANDEPUT, L. and WAELEKENS, M. 2003. The Building Stones of Roman Sagalassos (SW Turkey): Facies Analysis and Provenance. pp. 9-22, Erlangen.
- DODGE, H., 1987 . Brick Construction in Roman, Greece and Asia Minor. Roman Architecture in the Greek World, pp. 106-116, London.
- DUGGAN, T. M. P. ve AYGÜN, Ç.A. 2010. Myra'nın Ortaçağ ve Sonrasındaki Limanı Taşdibi-Stamira. Ed. N. Çevik, *Arkeolojisinden Doğasına Myra/Demre ve Çevresi*, 161 -168.
- DUMINUCO, P., MESSIGA, B. and RICCARDI, M. P. 1998. Firing process of natural clays. Some microtextures and related phase compositions. *Thermochimica Acta*, 321: 185-190.

- DURAN, A., ROBADOR, M. D., HARO, M. C. J. and RAMIREZ-VALLE, V. 2008. Study by thermal analysis of mortars belonging to wall paintings corresponding to some historical buildings of Sevillian art. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92(1): 353-359.
- ELLIS, P. R. 1999. Analysis of mortars (to include historic mortars) by differential thermal analysis. *Historic Mortars: Characteristics and Tests, International RILEM Workshop*, Paisley, Scotland, 133-147.
- ELSEN, J., BRUTSAERT, A., DECKERS, M. and BRULET, R. 2004. Microscopical Study of Ancient Mortars from Tournai (Belgium). *Materials Characterization*. 53: 289-294.
- EREN, Ö. ve BAHALİ M. 2005. Some engineering properties of natural building cut stones of Cyprus. *Construction and Building Materials*. 19: 213–222.
- ERGUVANLI, K., AHUNBAY, M., AHUNBAY, Z., ERİŞ, I., ERDOĞAN, M., NAK, A. ve EYUBOĞLU, R. 1989. Marmara bölgesi taş ocaklarının işletilebilme ve taşlarının restorasyonda kullanılabilme olanaklarının araştırılması. Tübitak Projesi. 681:173.
- ERİÇ, 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 Colloquium, Rome.
- ESİN, U. 1996. Aşıklı Ten Thousand Years Ago: A Habitation Model from Central Anatolia. Housing and Settlement in Anatolia: A Historical Perspective. HABİTAT II publ, İstanbul, 30-44.
- EYİCE, S. 2006. Tarih Boyunca İstanbul. Etkileşim Yayınları, İstanbul.
- FRANZINI, M., LEONI, L. and LEZZERINI, 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.
- FREIDIN, C. and MEIR, I. A. 2004. Byzantine mortars of the Negev Desert. *Construction and Building Materials*, 1-5.
- 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.
- GIBBONS, P. 1999. Pozzolans for Lime Mortars. E-article from <http://www.buildingconservation.com/articles/pozzo/pozzo.htm>

- GLEIZE, P. J. P., MOTTA, E. V., SILVA, D. A. and ROMAN, H. R. 2009. Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil). *Cement & Concrete Composites*, 31:342-346.
- GÜLEÇ, A. 1992. Bazı tarihi anıt harç ve sıvalarının incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.
- GÜLEÇ, A., ACUN, S. and ERSEN, A. 2004, A characterization method for the fifthcentury traditional mortars in the Land Walls of Constantinople, Yedikule. *Studies in Conservation*, 50: 295-306.
- 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, 132 s.
- GÜRDAL, E. ve ACUN, S. 2004. Mineral esaslı sıvalarda polipropilen lif katkısının fiziksel ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongre ve Sergisi*, İstanbul, 123-134.
- HELLENKEMPER, H. and HILD, F.. 2004. Tabula Imperii Byzantini, Band 8, Lykien und Pamphylien, Teil I, Tore de Stalimure: Tajdibi iskelesi, im Mittelalter Landeplatz für die Myra-Pilger. 290.
- KAHRAMAN, G. 2008. Erken Bizans dönemi horasan harçlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.
- KARAVEZİROĞLOU, 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.
- KILINÇKALE, F. M. 1996. Çeşitli puzolanların puzolanik aktivitesi ve bu puzolanlarla üretilen harçların dayanımı. *İMO Teknik Dergi*, 7(3): 1217-1229.
- KIRCA, Ö., ERDEM, T. K., USLU B. H. and BAKIRER, Ö., 2001. Estimation of the In-Situ Mechanical Properties of the Construction Materials in A Medieval Anatolian Building, Sahip Ata Hanikah in Konya. *Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures*, İstanbul, 691-701.

- 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, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 335 s.
- KRETZCHMER, F. 2000. Antik Roma’da Mimarlık ve Mühendislik. *Arkeoloji ve Sanat Yayınları*. 29 s.
- KUBAN, D. 1998. Mimarlık Kavramları. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- KULELİ, A. E. 2005. Efes Yamaçevler 2’de, 1, 2 ve 4 nolu evler örneğinde Roma Dönemi harçları araştırması. Doktora Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 180 s.
- KURUGÖL, S. 2010. Tarihi Kütahya Kalesi Tuğlalarının Mekanik Özelliklerinin ve Puzolanik Aktivitelerinin İncelenmesi. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1): 13-26.
- KURUGÖL, S. ve TEKİN, 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.
- LABIADH, M. R., OUEZDOU, M. B., HAJJEM, B. T. and MENSİ, R. 2009. Characterization of waterproof-covering mortars on Otoman monuments of “Ghar el Melh” (Tunisia). *Construction and Building Materials*, 23: 423-433.
- LAWRENCE, R.M.H., MAYS, T.J., WALKER, P. and AYALA, D.D. 2006. Determination of Carbonation Profiles in Non-hydraulic Lime Mortars Using Thermogravimetric Analysis. *Thermochimica Acta*. 444: 179-189.
- LAZZARINI, L. 2001. The building stone in monuments. *Proceedings of the International Interdisciplinary Workshop*, Italy.
- LEA, F.M. 1940. Investigations on Puzzolanas. *Building Research, Technical Papers*, 27:1-63.
- LESLIE, A. and GIBBONS, P. 1999. Mortar analysis and repair specification in the conservation of Scottish historic buildings. *Historic Mortars: Characteristics and Tests, International RILEM Workshop*, Paisley, Scotland, 273-280.
- LOPEZ-ARCE, P. and GARCIA-GUINEA, J. 2005. Weathering traces in ancient bricks from historic buildings. *Building and Environment*, 40: 929-941.
- LOPEZ-ARCE, P., GARCIA-GUINEA, J., GRACIA, M. and OBIS, J. 2003. Bricks in historical buildings of Toledo City: characterisation and restoration. *Materials Characterization*. 50: 59- 68.

- MACCHIAROLA, M., FABBRI, B. and FIORI, C. 2001. Comparision Between Thermal Analyses and X-Ray Diffractometry for the Characterisation of Ancient Magnesium Lime Mortars. *Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures*, İstanbul, 551-560.
- MAHREBEL, H.A. 2006. Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 113 s.
- MALINOWSKI, R. 1981. "Ancient mortars and concretes" Durability aspects. *Proceedings ICCROM Symposium*, Rome, 341-349.
- MARAVELAKI-KALAITZAKI, P., BAKOLAS, A. and MOROPOULOU, A. 2003. Physico-Chemical Study of Cretan Ancient Mortars. *Cement and Concrete Research*. 33: 651-661.
- MASSAZZA, F. 1989. Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, Ankara, 154-160.
- MAVİ, Ö. 2000. Kireç harç ve sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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*, İstanbul, 531-539.
- MONTOYA, C., LANAS, J., ARANDİGOYEN, M., GARCÍA-CASADO, P. J. and ALVAREZ, J. I. 2004. Mineralogical, chemical and thermal characterisations of ancient mortars of the church of Santa Maria de Irache monastery. *Materials and Structure*, 37(6): 433-439.
- MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A. and AGELAKOPOULOU, E. 2004. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. *Thermochimica Acta*, 420:135-140.
- MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A. and ANAGNOSTOPOULOU, S. 2005. Composite Materials in Ancient Structures. *Cement&Concrete Composites*. 27: 295-300.
- MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A. and BISBIKOU, K., 2000. Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1:45-58.
- MOROPOULOU, A., BISCONTIN, G., BAKOLAS, A., MICHAILIDIS, P. and BASIOTIS, J. 1997a. Historic mortars in Mediterranean monuments. *4th International Symposium on the Conservation of Monuments in Mediterranean*, Rhodous, Greece, 3:213-237.

- MOROPOULOU, A., BISCONTIN, G., BAKOLAS, A. and BISBIKOU, K. 1997b. Technology and behavior of rubble masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 11:119-129.
- MOROPOULOU, A., POLIKRETI, K., BAKOLAS, A. and MICHAİLIDIS, P. 2003. Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics. *Cement and Concrete Research*. 33: 891-898.
- NAUMANN, R. 1991. Eski Anadolu Mimarlığı. Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara, 494 s.
- ÖZKAYA-ASLAN, Ö. 2005. Properties of Roman Bricks and Mortars Used in Serapis Temple in Bergama. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 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.
- ÖZKAYA-ASLAN, Ö., BÖKE, H. ve İPEKOĞLU, B. 2006. Roma dönemi tuğla ve harçların özellikleri: Bergama Serapis Tapınağı örneği. *3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 616-627.
- PAPAYIANNI, I. 1997. Technology of Mortars and Bricks Used in Ottoman Monuments of Thessaloniki. *International Conference on Studies in Ancient Structures*. İstanbul, 245-253.
- PAPAYIANNI, I. and HATZITRIFONOS, E. 1997. A Survey of the Pazar Hamam in Thessaloniki. *International Conference on Studies in Ancient Structures*. İstanbul, 283-292.
- PAPAYIANNI, I. and STEFANIDOU, M. 1997. Repair Mortars Suitable for Interventions of Ottoman Buildings. *International Conference on Studies in Ancient Structures*. İstanbul, 255-264.
- PAPAYIANNI, I. and STEFANIDOU, M. 2001. Porosity and Structure of Old Mortars. *Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures*. İstanbul, 509-518.
- PAPAYIANNI, I. and STEFANIDOU, M. 2006. Strength-porosity relationships in lime pozzolan mortars. *Construction and Building Materials*, 20: 700-705
- 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.
- POSTACIOĞLU, B. 1986. Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul. 175 s.
- RADIOJEVIC, 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.
- RADIOJEVIC, A. and DERVISSIS, D. 2001. Production and Testing of Bricks for Repair Work. *Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures*. İstanbul, 581-588.
- 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.
- RICCARDI, M.P., MESSIGA, B. and DUMINUCO, P. 1999. An approach to the dynamics of clay firing. *Applied Clay Science*, 15: 393-409.
- 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.
- ROSSI-DORIA, P.R. 1990. Ancient mortars and mortars for restoration Ravello, 9–11 November 1988. *Materials and Structure*, 23(3): 235-238.
- SAĞIN 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*, İstanbul, 385-396.
- SANCHEZ-MORAL, S., LUQUE, L., CANAVERAS, J.C., SOLER, V., GARCIA-GUINEA, J. and APARICIO, A. 2005. Lime pozzolana mortars in Roman catacombs: composition, structures and restoration. *Cement and Concrete Research*, 35:1555-1565.
- SARAYLI, A. 1987. Yapı Malzemeleri Bilimi. YTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- SATONGAR LAÇINYURT, Ş. 1994. İstanbul Şehir Surları Horasan Harçları Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- STEFANIDOU, M. and PAPAYIANNI, I. 2005. The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars. *Cement and Concrete Composites*, 27:914-919.
- TOMASI, C., RICCI, O., PEROTTI, G. and FERLONI, P. 2006. Plasters and mortars in the central building of the university of Pavia. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 84(1): 33-38.

- TORRACA, G. 1982. Porous Building Materials. *Materials Science for Architectural Conservation*, ICCROM, Italy.
- TORRACA, G. 1996. Lime technology in architectural conservation. *Lime News*, 4 (1): 34-41.
- TS 25. 2008. Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 699. 2009. Doğal yapı taşları-inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 459-1. 2011. Yapı kireci, tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1015-2. 2000. Kagir harcı deney metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1015-3. 2001. Kagir harcı deney metotları: Taze harç kıvamının tayini (Yayılma Tablası ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1015-11. 2000. Kagir harcı, deney metotları, Bölüm 11:sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1926. 2007. Doğal taşlar deney metotları: Basınç dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1936. 2001. Doğal taşlar deney metotları: Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12372. 2000. Doğal taşlar deney metotları: Tek eksenli yük altında eğilme dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 14146. 2006. Doğal taşlar, deney metotları, dinamik elastisite modulünün tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 14579. 2006. Doğal taşlar, deney metotları, ses hızının ilerlemesinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TUNÇOKU, S. S. 2001. Characterization of masonry mortars used in some Anatolian Seljuk monuments in Konya, Beyşehir and Akşehir. Doktora Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 128 s.
- TUNÇOKU, S. S. and CANER-SALTIK, E. 2006. Opal-A rich additives used in ancient lime mortars. *Cement and Concrete Research*, 36:1886-1893.
- UĞURLU, E. ve BÖKE, H. 2006. Osmanlı dönemi hamam yapılarında kullanılan horasan sıvalarının özellikleri. *3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 585-596.

- UĞURLU, E. ve BÖKE, H. 2008. Bazı Osmanlı Dönemi Hamam Yapılarının Kubbelerinde Kullanılan Tuğlaların Özellikleri. *4. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 473-484.
- ÜNAY, A. İ. 2002. Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara
- VANDAELE, K. and WAELEN, M. 1995. Evaluation of Surface Hardness of Building Stones As A Tool for Relative Dating. Sagalassos III Report on the Fourth Excavations Campaign of 1993. Leuven University Press, 137-141, Belgium.
- VEIGA, M. R., VELOSA, A. and MAGAKHAES, A. 2009. Experimental applications of mortars with with pozzolanic additions: Characterizations and performance evaluation. *Construction and Building Materials*, 23: 318-327.
- VELOSA, A.L. and VEIGA, R. 2002. Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation adapted testing methods. *9DBMC-2002*, 174:1-7.
- VELOSA, A.L., COROADO, J., VEIGA, M.R. and ROCHA, F. 2007. Characterization of Roman Mortars from Conimbriga with Respect to Their Repair. *Materials Characterization*. 58:1208-1216.
- VIAENE, W., OTTENBURGS, R., MUCHEZ, P. and WAELEN, M. 1993. The Building Stones of Sagalassos. Sagalassos I First General Report on The Survey (1986-1989) and excavations (1990- 1991). Leuven University Press, 85-92, Belgium.
- VIAENE, W., WAELEN, M., OTTENBURGS, R. and CALLEBAUT K. 1997. An Archaeometric Study of Mortars Used at Sagalassos. Sagalassos IV Report on the Survey and Excavations Campaigns of 1994 and 1995. Leuven University Press. 406-421, Belgium.
- WARD-PERKINS, J.B. 1974. History of World Architecture: Roman Architecture, Electa Architecture, Milano.
- YEĞİNOBALI, A. ve ERTÜN, T. 2004. Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar. TÇMB Yayınları, Ankara.
- YÜZER, N., ULUKAYA, S. ve YORUÇ HAZAR, A.B. 2011. Tarihi Yapılarda Özgün Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi Üsküdar'da Apsidal Yapı Kalıntısı Örneği. *Tarihi Yapıları Koruma ve Onarım Sempozyumu(TAYKON)*, İstanbul, 500-509.
- 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*. 58:1229-1239

ZAMUDIO-ZAMUDIO, T.J., GARRIDO-ALFONSECA, A., TENORIO, D. and JIMENEZ-REYES, M. 2003. Characterization of 16th and 18th century building materials from Veracruz City, Mexico. *Microchemical Journal*. 74: 83-91.

7. EKLER

Ek-1 T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nden Alınan İzin Yazıları

Ek-2 Taş, Tuğla, Harç ve Sıva Numunelerinin SEM-EDX Sonuçları

Ek-3 Taş, Tuğla, Harç ve Sıva Numunelerinin XRD Sonuçları

Ek-4 Taş, Tuğla, Harç ve Sıva Numunelerinin TG-DTA Sonuçları

Ek-5 Taş, Tuğla, Harç Numunelerinin Ultrases Sonuçları



KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü

29.11.2010

Sayı : B.16.0.KVM.0.12.01.00.161.05 - 240206
Konu : Myra-Andriake Kazısında
doktora tez çalışması.

Sayın, Cem OĞUZ
Akdeniz Üniversitesi
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Yapı Denetim Programı
07059 Kampüs / ANTALYA

- İlgi : a) Antalya Müze Müdürlüğü'nün İl Kültür ve Turizm Müdürlüğüne hitaplı 27.10.2010
gün ve 155.03.2861 sayılı yazısı.
b) Cem OĞUZ'un 22.11.2010 tarihli dilekçesi

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü Yapı A.B.D. Yapı Malzemesi Bilim Dalı öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat
Yücel'in ilgi (a) yazı ekinde yer alan 22.10.2010 tarihli dilekçesinde; Akdeniz Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü İnş. Müh. Anabilim Dalında doktora öğrencisi olan ve eşgüdüm
doktora danışmanlığını yaptığı Cem OĞUZ'un "Myra ve Limanı Andriake Kazı Alanı harç ve
tuğla örneklerinin mekanik ve minerolojik açıdan incelenmesi" konulu teziyle ilgili olarak
Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK başkanlığında yürütülmekte olan Myra - Andriake kazı çalışmalarına
Kasım 2010-2011 tarihlerinde iştirak etmek istedikleri ifade edilmektedir.

Söz konusu çalışmanın 2010 yılı içerisindeki bölümünün Myra-Andriake Kazı Başkanı
Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK'in veya kazı ekibinden bir üyenin katılımıyla gerçekleştirilmesi
uygun görülmüş olup, çalışmalara 2011 yılında da devam edilmek istemesi durumunda konu
ayrıca değerlendirilecektir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Nermin BEŞBAŞ
Bakan a.
Genel Müdür Yardımcısı

DAĞITIM :

- Sayın, Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK
Akdeniz Üniversitesi FEF,
Arkeoloji Bölümü Kampüs / ANTALYA
- Sayın, Yrd. Doç Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi
Müh.- Mim.Fak.İnş.Müh.Böl.
32260 Çünür / ISPARTA
- Sayın, Cem OĞUZ
Akdeniz Üniversitesi
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Yapı Denetim Programı
07059 Kampüs / ANTALYA



İ.T.B.M.M. Ulus 06543/ Ankara
Tel: 310 49 60 (9 hat)/2042 Fax: 311 50 85
e-posta: kulturvarlikmuze@kulturturizm.gov.tr

Ayrıntılı bilgi için irtibat: İ. SUBAŞI Müze Arş.

Elektronik Ağ: www.kulturturizm.gov.tr



T.C. KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI ve AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
MYRA-ANDRIAKE KAZILARI

Prof. Dr. Nevzat Çevik
Akdeniz Üniversitesi, FEF, Arkeoloji Bölümü. Kampus/Antalya 0.532.5633887 ncevik@akdeniz.edu.tr

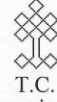
Sayı: 2010-119

25 Ekim 2010

Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğüne,

Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD'da Doktora yapmakta olan Cem Oğuz'un, "Myra-Andriake Kazı Alanı Harç ve Tuğla Örneklerinin mekanik ve minerolojik Açıdan İncelenmesi" konulu teziyle ilgili, alanda yapacağı çalışmalar kazımız ve arkeoloji açısından da çok yararlı olacaktır. Anılan araştırmanın yapılması tarafımızdan desteklenmektedir. Öğrencinin gereksindiği araştırma izninin verilmesi konusunda destek vereceğinize inançla gereğini bilgilerinize saygıyla sunarım.

Nevzat Çevik
Kazı Başkanı



T.C.

KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü



Sayı : B.16.0.KVM.0.12.01.00.161.05 -100631
Konu : Myra Andriake'de doktora tez çalışması.

11.05.2011

Sayın, Cem OĞUZ
Akdeniz Üniversitesi
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Yapı Denetim Programı
07059 Kampüs / ANTALYA

- İlgi : a) Öğr. Gör. Cem OĞUZ'un 02.02.2011 tarihli başvurusu.
b) Myra – Andriake Kazısı Başkanı Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK'in 02 Şubat 2011 tarihli yazısı.
c) Öğr. Gör. Cem OĞUZ'un 2010 yılı çalışma raporu.

Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında doktora öğrencisi olan Öğr. Gör. Cem OĞUZ'un, Akdeniz Üniversitesinden Prof. Dr. Fikret TÜRKER ve Süleyman Demirel Üniversitesi'nden Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL'in eşgüdüm danışmalığında "Myra ve Limanı Andriake'de Kullanılan Özgün Malzeme Özelliklerinin Araştırılması" konusunda doktora çalışması yapmak istediği ilgi (a) yazı ve eklerinin incelenmesinden anlaşılmıştır.

Öğr. Gör. Cem OĞUZ'un çalışmak istediği, Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK başkanlığında yürütülen Myra - Andriake kazısına Bakanlığımızın 18.04.2011 gün ve 82387 sayılı yazısıyla kazı izni verilmiştir.

Söz konusu doktora tez çalışmasının,

- 2011 yılı kazı sezonunda kazı başkanının bilgisi dahilinde,
- İlgili Müze Müdürlüğünden bir temsilcinin katılması,
- Kazı alanında yapılacak çalışmalarda ve buralardan alınacak tuğla ve harç numuneleri alımı için; Kültür ve Tabiat Varlıklarıyla İlgili Olacak Yapılacak Kazı ve Sondaj Ruhsatnamesinin 18. Maddesi doğrultusunda işlem yapılması,
- kazı ve araştırma başkanlarının yayın haklarının saklı kalması,

koşullarıyla 2011 yılında gerçekleştirilmesi Bakanlığımızca uygun görülmüştür.

Türkiye

İ.T.B.M.M. Ulus 06543/ Ankara
Tel: 310 49 60 (9 hat)/2042 Fax: 311 50 85
e-posta:kulturvarlikmuze@kulturturizm.gov.tr

Ayrıntılı bilgi için irtibat:

Elektronik Ağ: www.kulturturizm.gov.tr.



T.C.

KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü



Sayı : B.16.0.KVM.0.12.01.00.161.95
Konu : Myra Andriake'de doktora tez çalışması

-2-

Öğrencinin çalışmasını tamamlamasını müteakiben 1 ay içinde, hazırlanacak sonuç raporunun ve antik kent içerisinde çalışılan alanların işaretlendiği haritanın Bakanlığımıza gönderilmesi gerekmektedir.

Çalışmalara 2012 yılında da devam edilmek istenmesi durumunda konuya ilişkin başvurunun 31 Aralık 2012 tarihine kadar Bakanlığımıza iletilmesi hususunda bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.


Nermin BEŞBAŞ
Bakan a.
Genel Müdür Yardımcısı

DAĞITIM :

- Antalya Valiliğine
(İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü)
- Sayın, Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK
Akdeniz Üniversitesi FEF,
Arkeoloji Bölümü Kampus / ANTALYA
- Sayın, Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi
Müh.- Mim. Fak. İnş. Müh. Böl.
32260 Çünür / ISPARTA
- Sayın, Cem OĞUZ
Akdeniz Üniversitesi
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Yapı Denetim Programı
07059 Kampüs / ANTALYA



İ.T.B.M.M. Ulus 06543/ Ankara
Tel: 310 49 60 (9 hat)/2042 Fax: 311 50 85
e-posta: kulturvarlikmuze@kulturturizm.gov.tr

Ayrıntılı bilgi için irtibat:

Elektronik Ağ: www.kulturturizm.gov.tr.

Ek-1



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

SAYI : B.16.4.KTM.0.07.14.01/ 160-01/ 1789
KONU : Ekspertiz raporu

23./06/2011

**Sayın: Öğr. Gör. Cem OĞUZ
Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü –ANTALYA**

İLGİ: 23.06.2011 tarihli dilekçeniz.

Antalya ili, Demre İlçesi, Myra ve Andriake Antik Kentlerinde ilgi yazı eki, Bakanlığımız Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğünün 11.05.2011 gün ve 100631 sayılı izin yazıları doğrultusunda Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı doktora öğrencisi Öğr. Gör. Cem OĞUZ tarafından Akdeniz Üniversitesi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü laboratuvarlarında gerekli çalışmalar yapılmak üzere götürülmek istenilen, 4 kasa içerisindeki taş, harç ve tuğla örnekleri ilgi başvuru gereği Müdürlüğümüz Uzmanlarınca incelenmiş olup hazırlanan rapor ektedir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

**Mustafa DEMİREL
Müdür V.**

Eki:
Uzman raporu (1 sayfa)
4 Kasa

DAĞITIM:

Gereği:
Öğr. Gör. Cem OĞUZ
Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
ANTALYA

Bilgi :
İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü
ANTALYA



Antalya Müzesi Müdürlüğü Konyaaltı Cad. No:88 07050/ANTALYA Ayrıntılı bilgi için:
Tel: (0242) 238 56 88-89 Faks: (0242) 238 56 87
e-posta: info@antalyamuzesi.gov.tr

Elektronik Ağ: www.kulturturizm.gov.tr

R A P O R

**MÜZE MÜDÜRLÜĞÜNE
ANTALYA**

İLGİ: Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı doktora öğrencisi Öğr. Gör. Cem OĞUZ'un 23.06.2011 tarihli başvurusu.

Antalya İli, Demre İlçesi, Myra ve Andriake Antik Kentlerinde ilgi yazı eki, Bakanlığımız Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğünün 11.05.2011 gün ve 100631 sayılı izin yazıları doğrultusunda Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı doktora öğrencisi Öğr. Gör. Cem OĞUZ tarafından Akdeniz Üniversitesi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü laboratuvarlarında gerekli çalışmalar yapılmak üzere götürülmek istenilen, 4 kasa içerisindeki taş, harç ve tuğla örnekleri ilgi başvuru gereği Müdürlüğümüzce oluşturulan komisyonca incelenmiştir.

2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu kapsamında çıkarılan 06.11.1995 gün ve 8544 sayılı genelge ile Kültür ve Tabiat Varlıkları ile ilgili olarak yapılacak Araştırma Sondaj ve Kazılar Hakkındaki Yönetmelik'in 18. maddesi doğrultusunda 4 kasa içerisinde yer alan örnekler komisyonumuzca incelenmiş olup Akdeniz Üniversitesi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü laboratuvarlarına götürülmesinde sakınca bulunmamaktadır. Bilgilerinize arz ederiz. **23.06.2011**

Komisyon Başkanı:

Üye :

Üye :

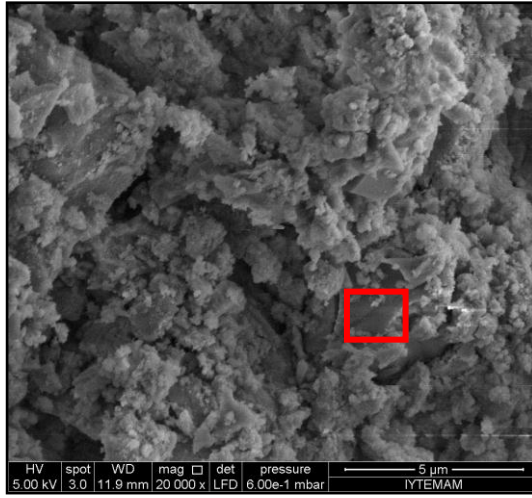
Nermin KARAGÖZ
Md.Yrd.V.

Ünvan : Uzm. Dr. NAR
Araştırmacı

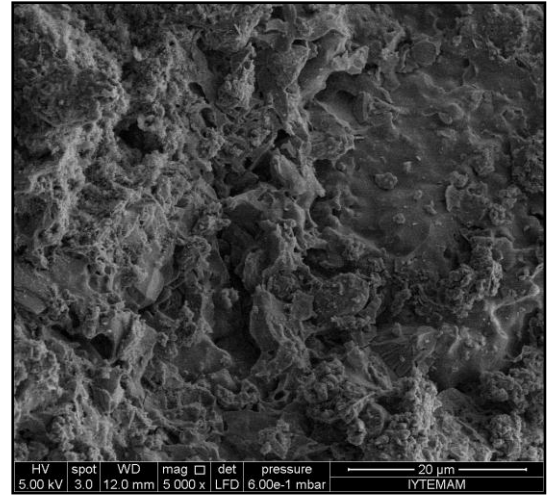
Deniz Meltem ÜLGEY
Kül.ve Tur. Uzm.

Ek: 4 kasa (taş, harç ve tuğla örnekleri)

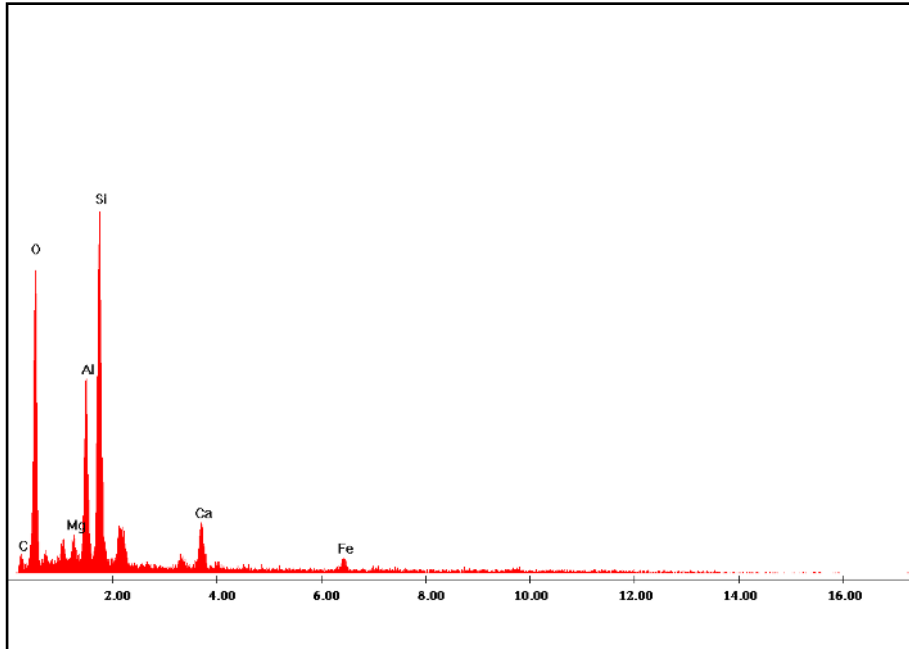
Ek-2. SEM-EDX Analizi



(20.000 x)



(5.000 x)

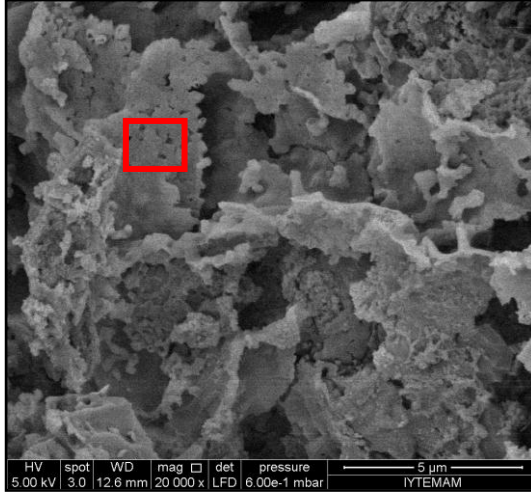


Şekil Ek.2.1. PT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

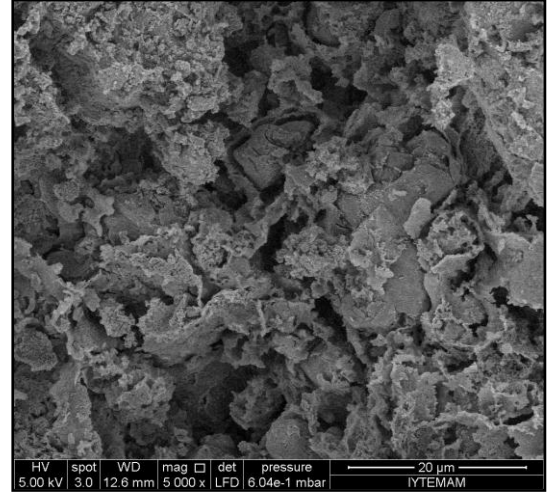
Çizelge Ek.2.1. PT2 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	9.23	39.21	2.37	12.76	24.67	6.35	5.42

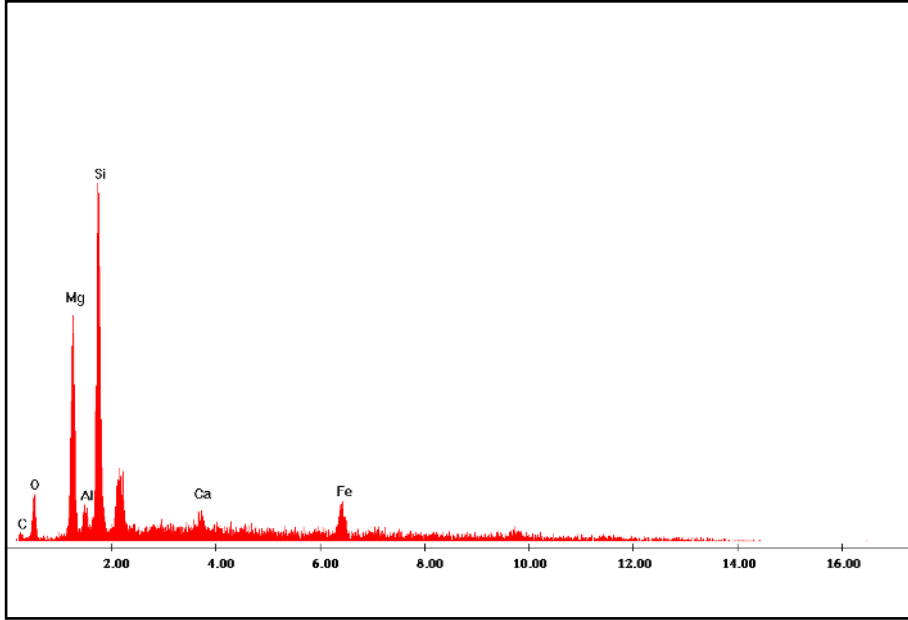
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	4.07	24.85	54.21	9.02	7.85



(20.000 x)



(5.000 x)

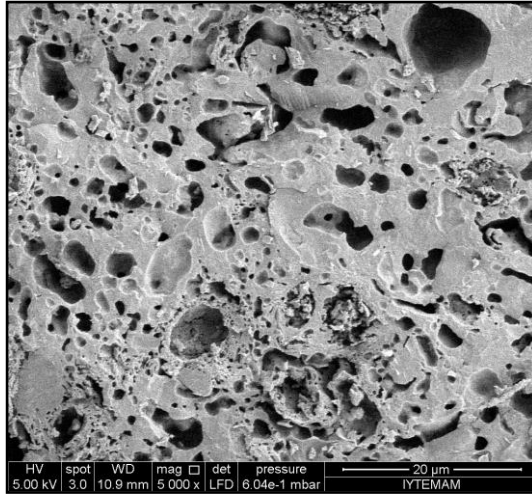


Şekil Ek.2.2. ST4 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

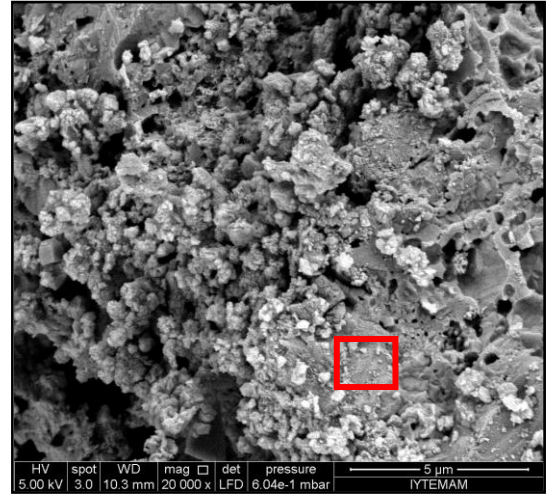
Çizelge Ek.2.2. ST4 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	24.59	3.25	43.56	5.01	23.58

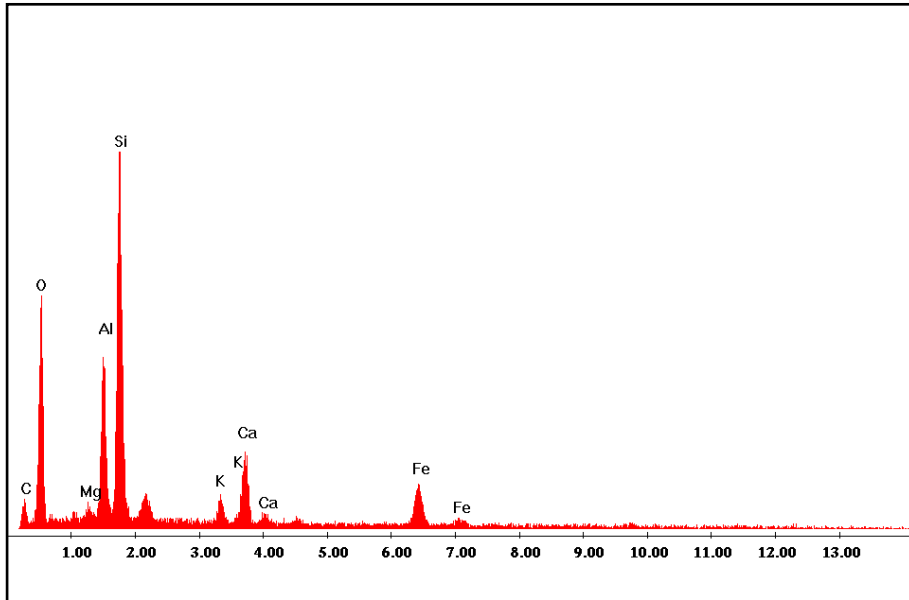
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	24.38	3.27	49.73	3.8	18.82



(5.000 x)



(20.000 x)

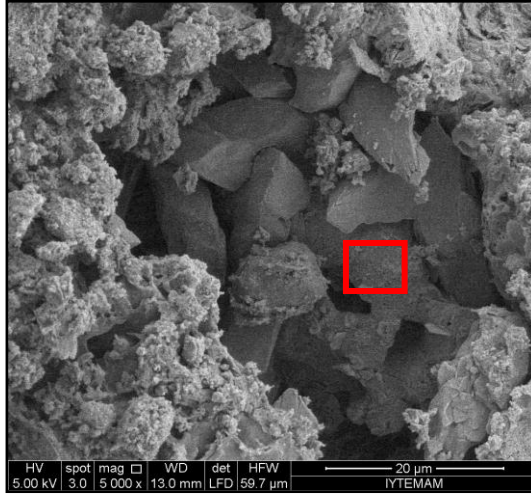


Şekil Ek.2.3. GT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

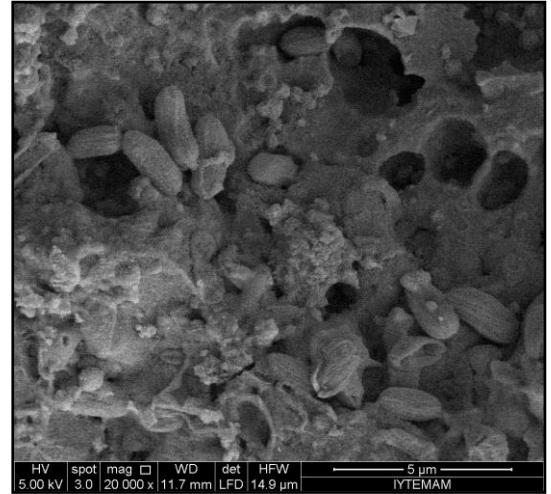
Çizelge Ek.2.3. GT2 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	11.44	30.56	0.89	9.98	21.61	2.59	7.85	15.08

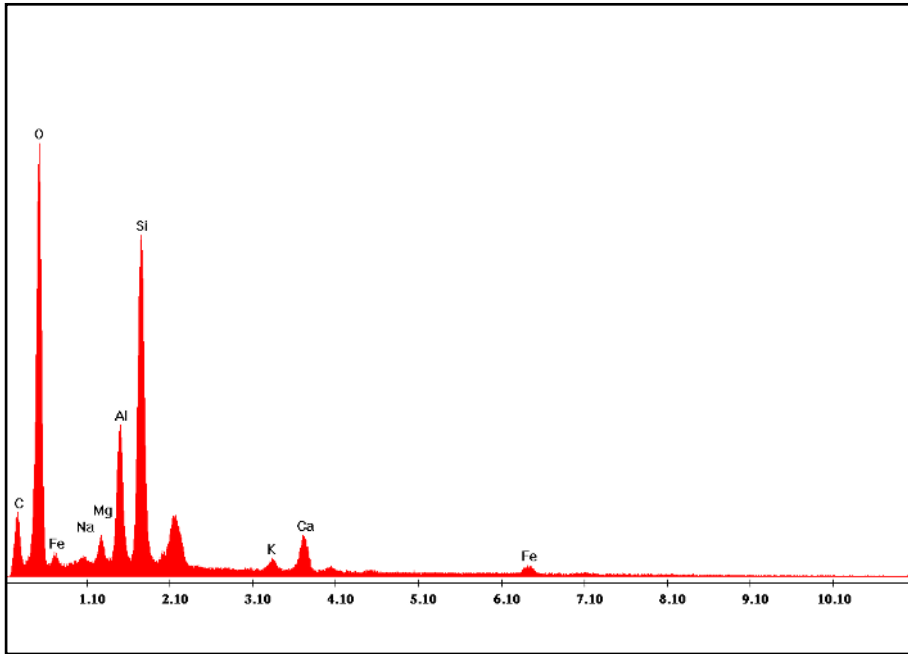
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.47	18.71	45.39	3.02	10.61	20.8



(5.000 x)



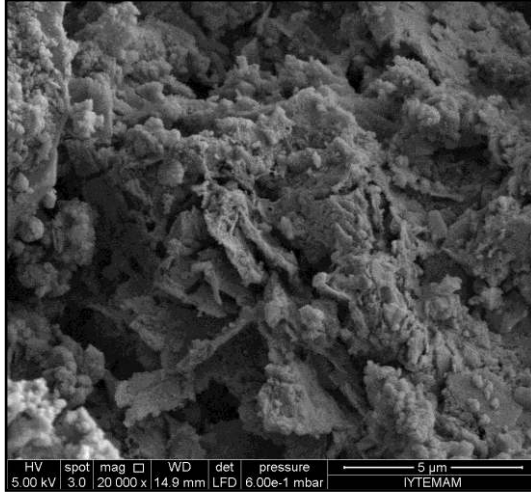
(20.000 x)



Şekil Ek.2.4. GT3 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.4. GT3 tuğla EDX analiz sonuçları

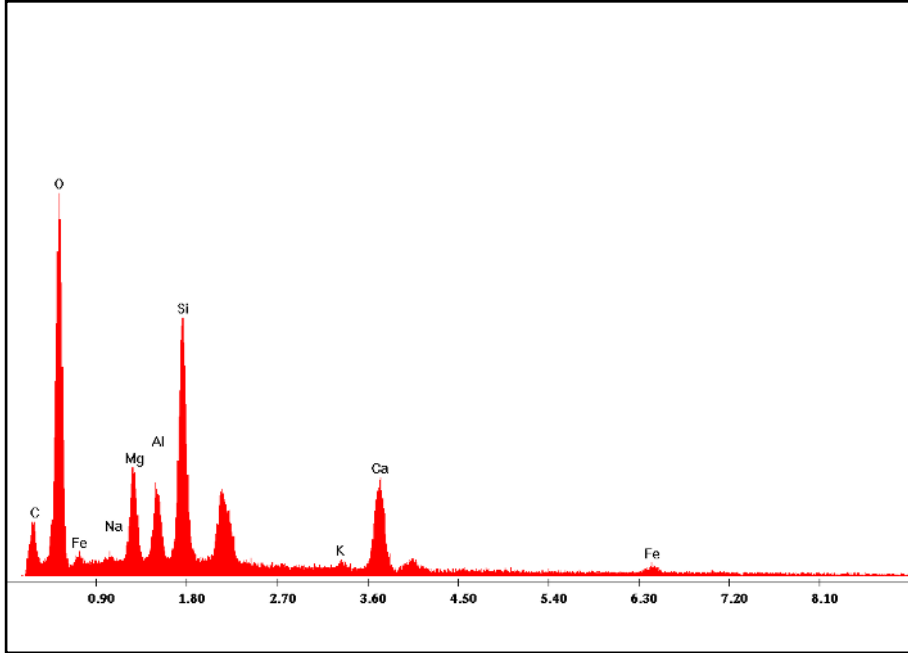
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	15.69	35.91	1.26	2.01	8.91	21.2	1.65	5.88	7.5



(20.000 x)



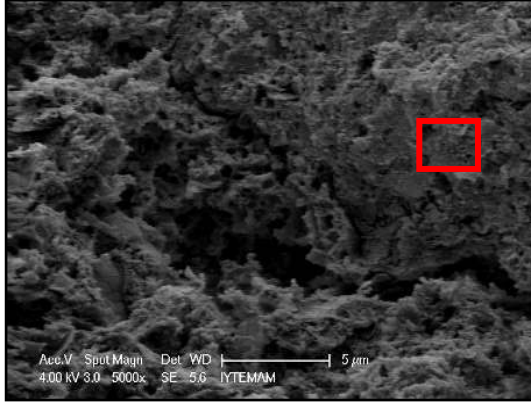
(50.000 x)



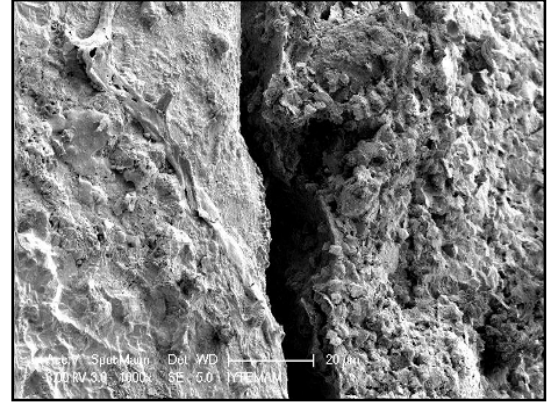
Şekil Ek.2.5. GT11 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.5. GT11 tuğla EDX analiz sonuçları

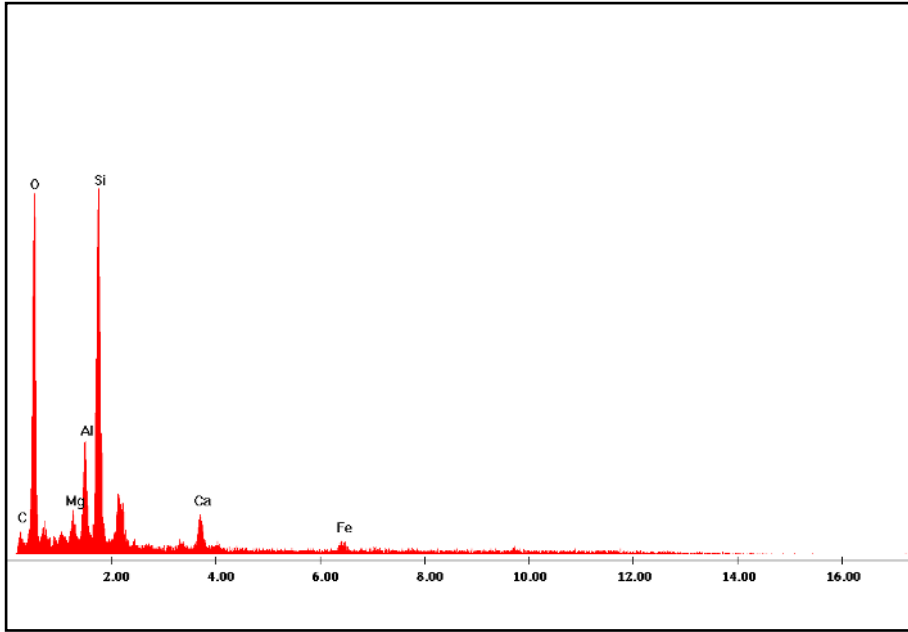
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	11.98	36.67	1.2	5.9	5.41	15.67	0.9	15.15	7.13



(5.000 x)



(1.000 x)

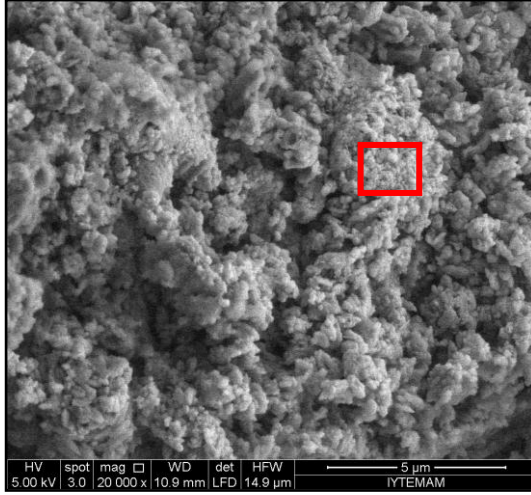


Şekil Ek.2.6. LT1 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

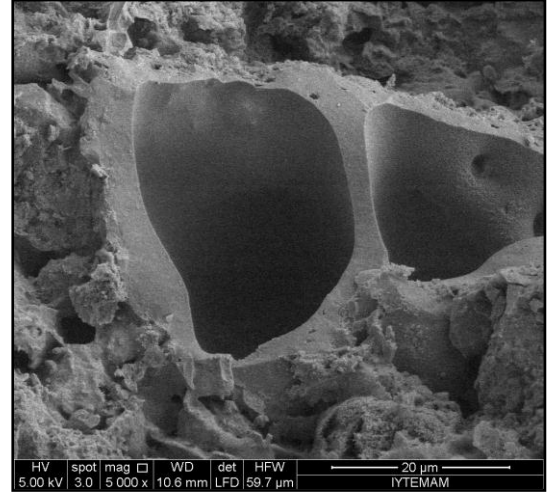
Çizelge Ek.2.6. LT1 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	10.48	44.71	1.94	7.11	24.66	5.07	6.04

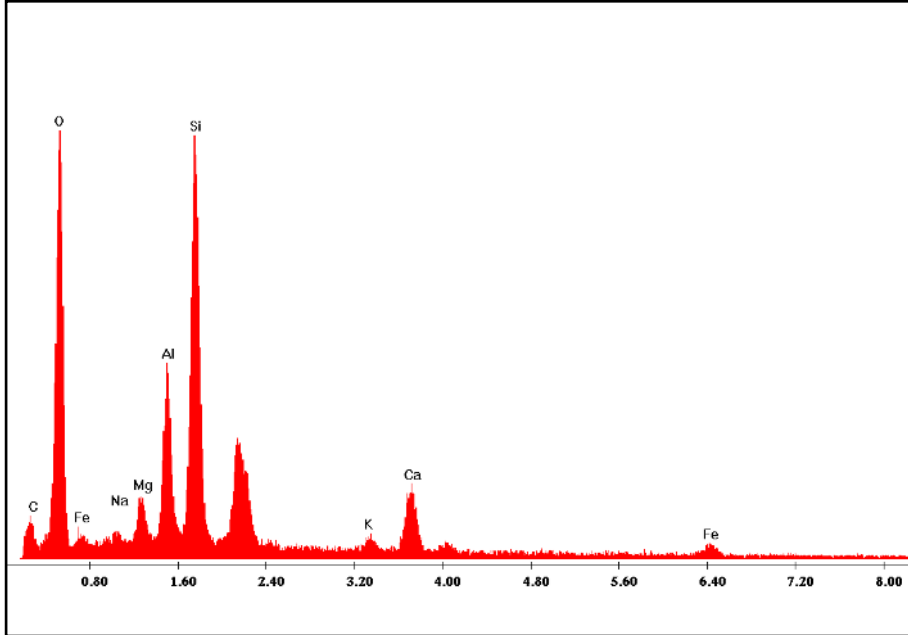
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	3.78	15.76	62.22	8.26	9.99



(20.000 x)



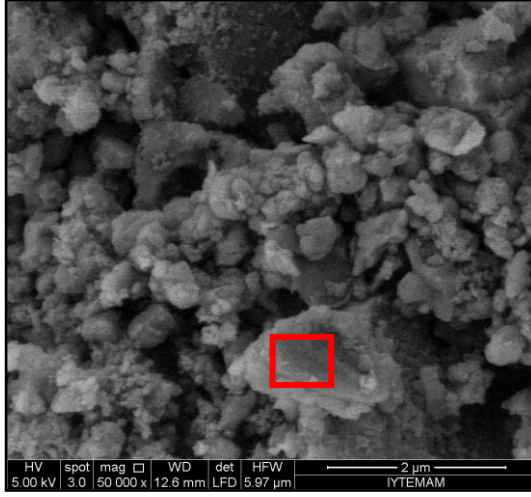
(5.000 x)



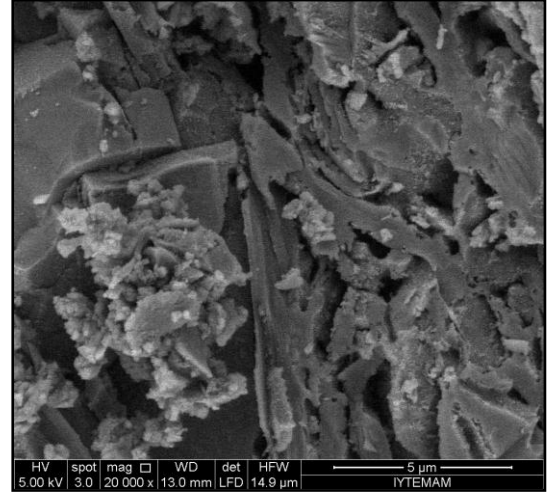
Şekil Ek.2.7. LT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.7. LT2 tuğla EDX analiz sonuçları

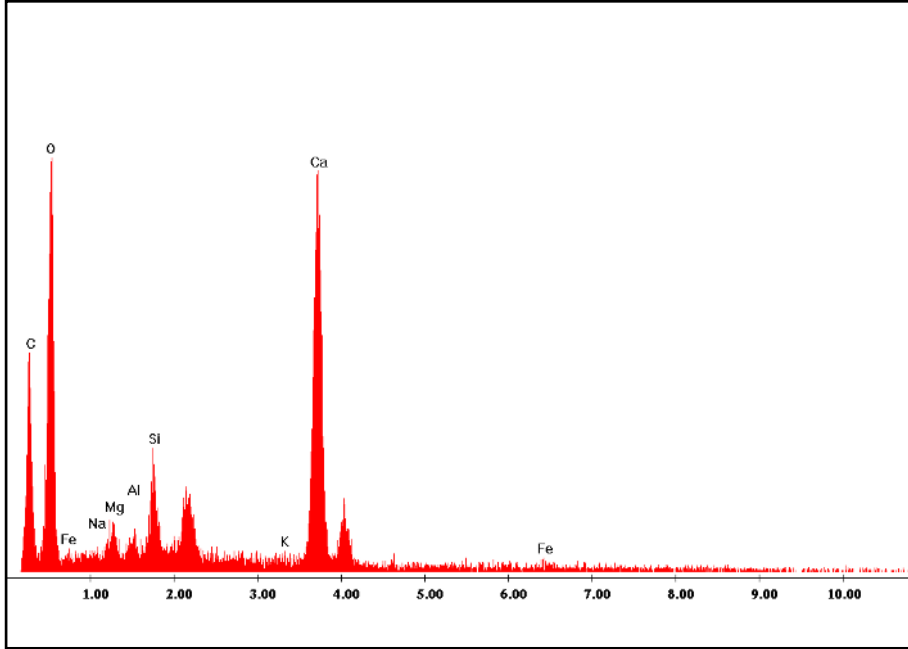
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	9.24	33.55	1.54	2.97	9.56	22.73	1.73	9.67	9.03



(50.000 x)



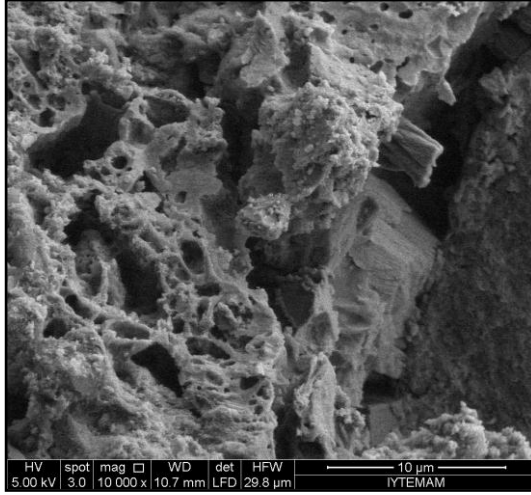
(20.000 x)



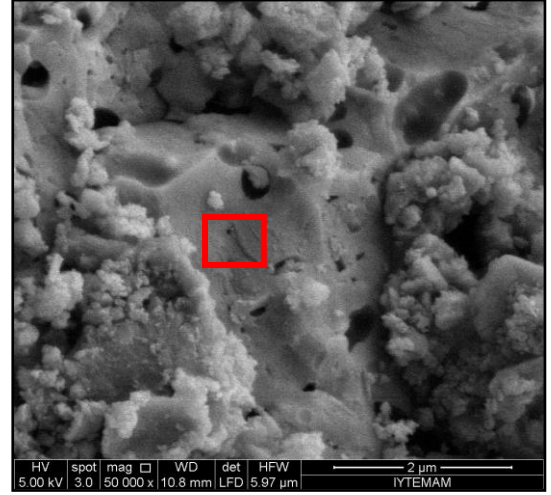
Şekil Ek.2.8. KT1 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.8. KT1 tuğla EDX analiz sonuçları

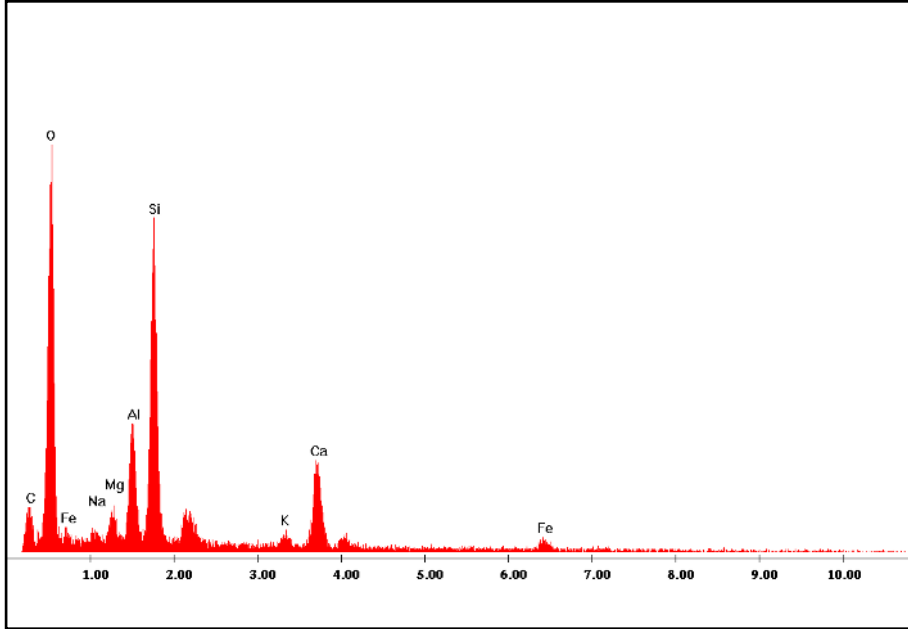
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	16.15	35.37	0.52	1.32	0.87	3.15	0.49	38.48	3.64



(10.000 x)



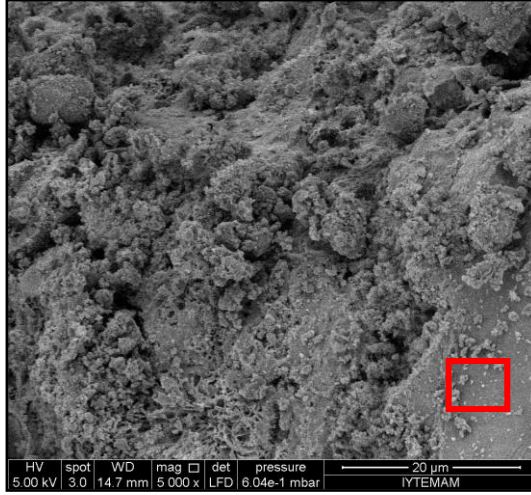
(50.000 x)



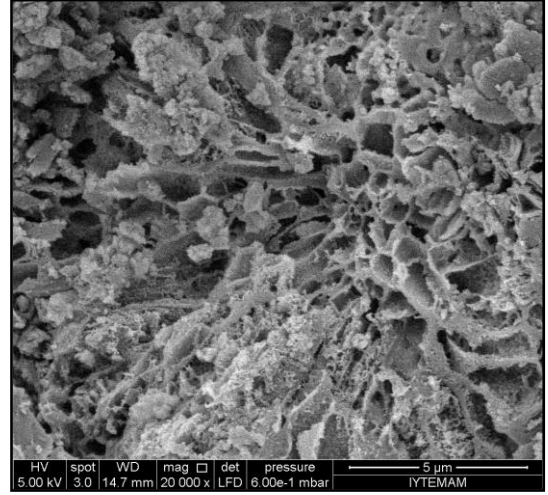
Şekil Ek.2.9. TT1 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.9. TT1 tuğla EDX analiz sonuçları

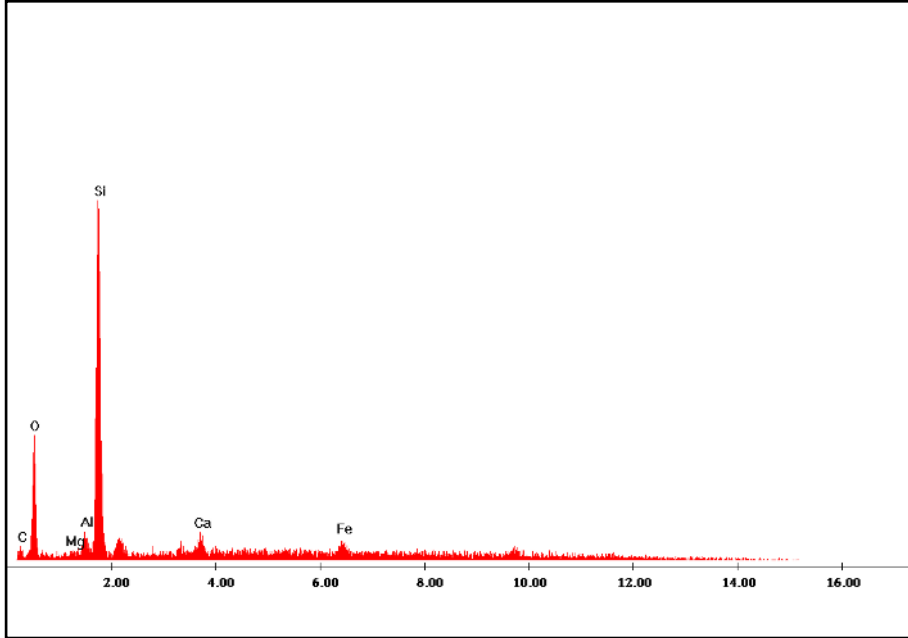
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	10.35	36.9	0.89	1.92	7.36	18.71	1.5	13.45	8.92



(5.000 x)



(20.000 x)

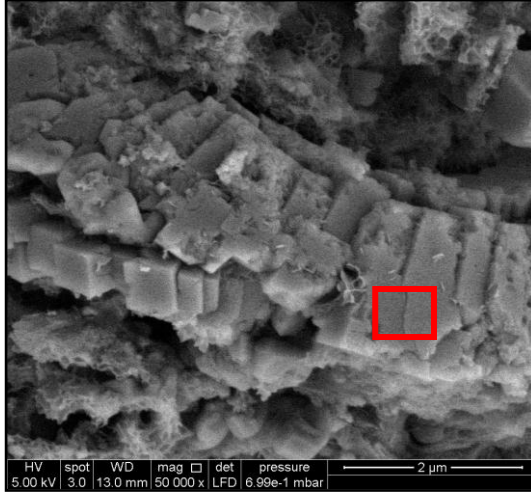


Şekil Ek.2.10. HT2 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

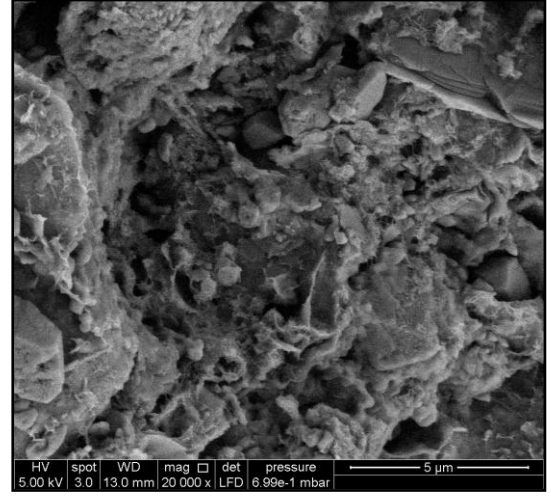
Çizelge Ek.2.10. HT2 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	10.53	27.72	0.95	2.82	41.27	4.98	11.73

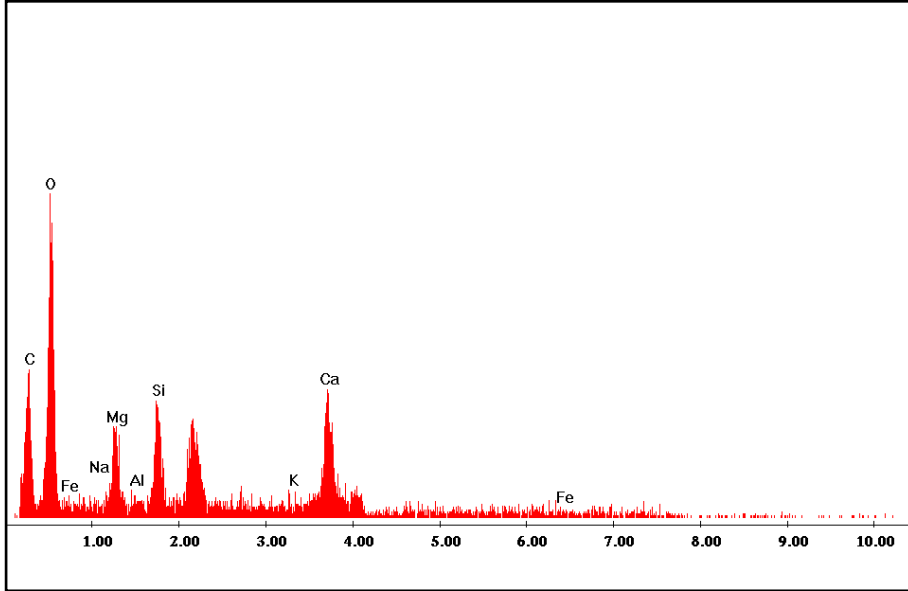
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.38	4.57	74.47	5.72	13.86



(50.000 x)



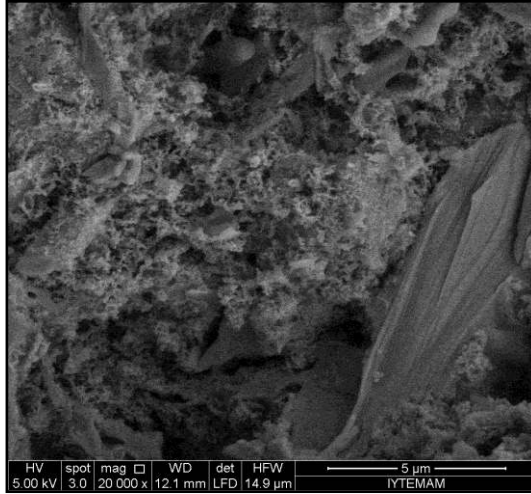
(20.000 x)



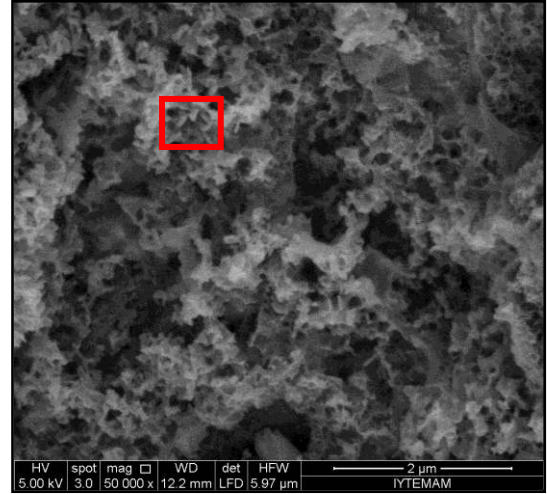
Şekil Ek.2.11. HT3 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.11. HT3 tuğla EDX analiz sonuçları

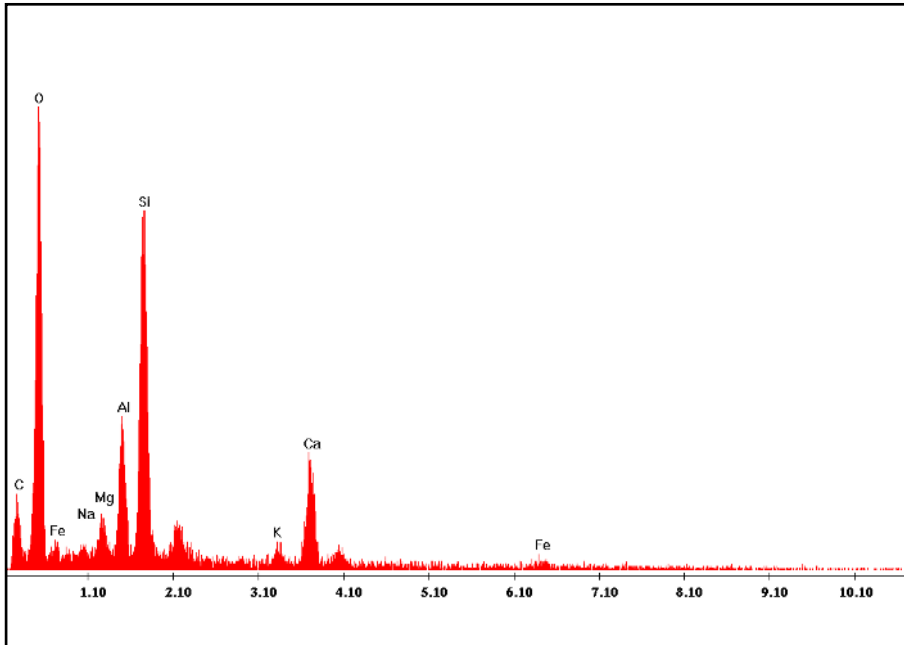
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	24.19	37.12	0.75	5.46	0.9	7.41	0.69	18.94	4.55



(20.000 x)



(50.000 x)

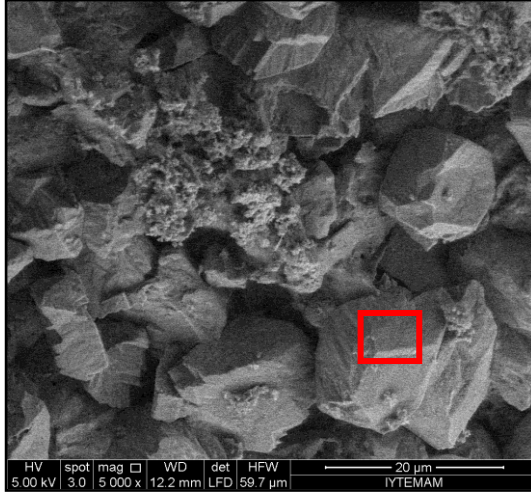


Şekil Ek.2.12. HT4 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

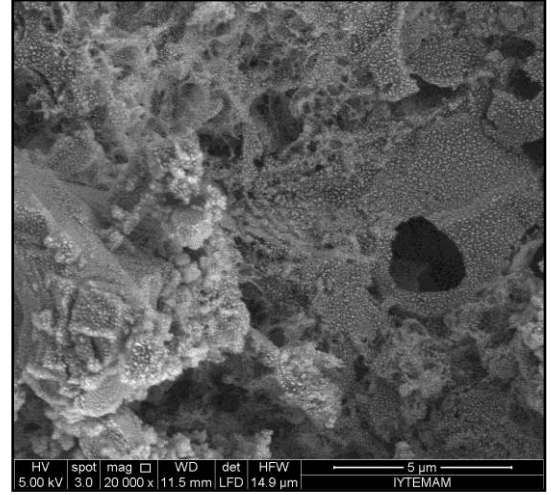
Çizelge Ek.2.12. HT4 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	12.92	37.97	1.14	2.26	7.29	18.28	1.76	14.15	4.25

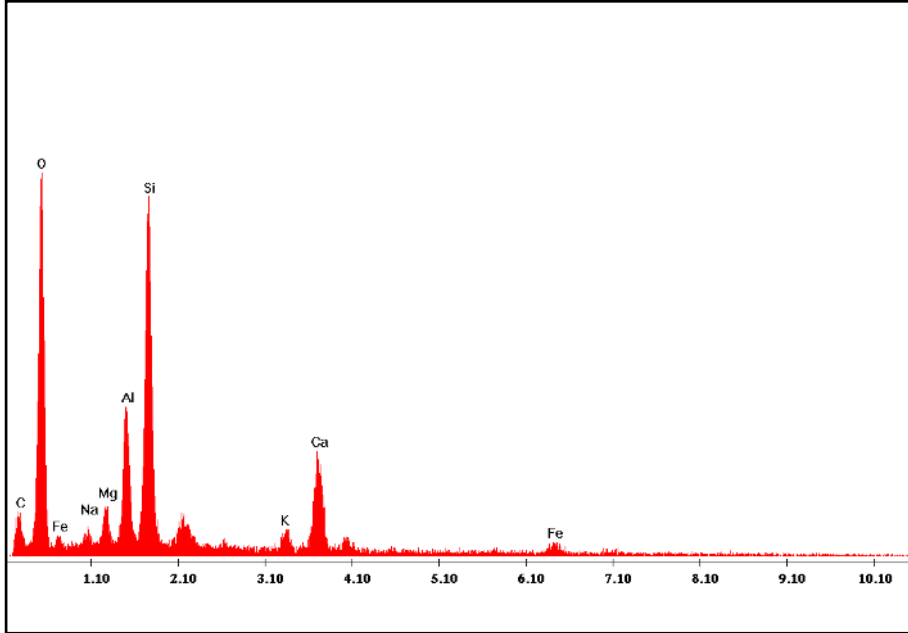
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.81	4.37	16.02	45.58	2.44	22.8	6.98



(5.000 x)



(20.000 x)

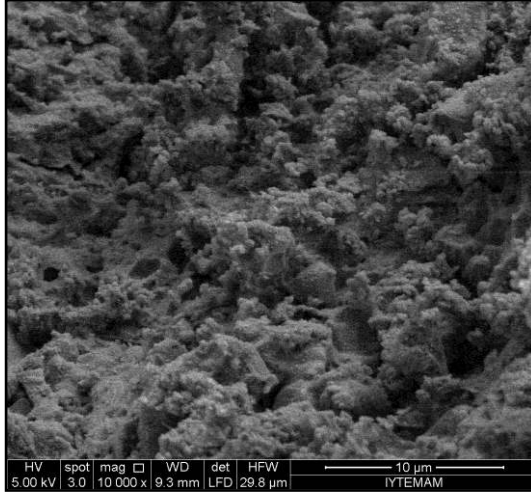


Şekil Ek.2.13. HT5 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

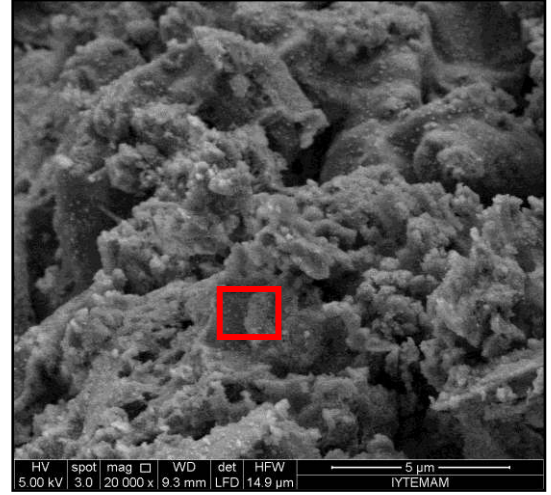
Çizelge Ek.2.13. HT5 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	9.51	33.84	1.24	2.28	8.01	19.7	2.62	13.99	8.81

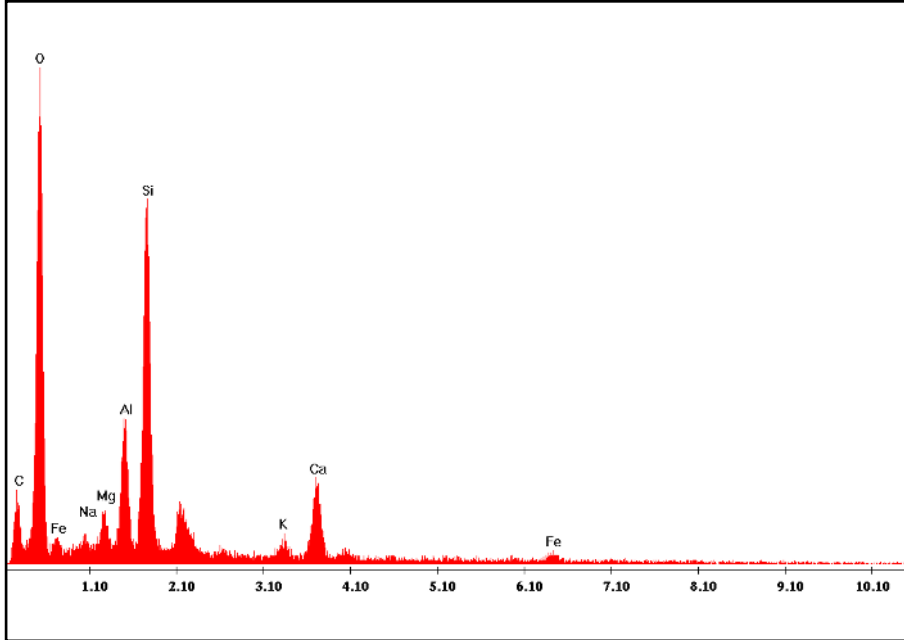
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.74	3.9	15.52	43.06	3.2	19.84	12.74



(10.000 x)



(20.000 x)



Şekil Ek.2.14. HT6 tuğla SEM/ EDX görüntüleri

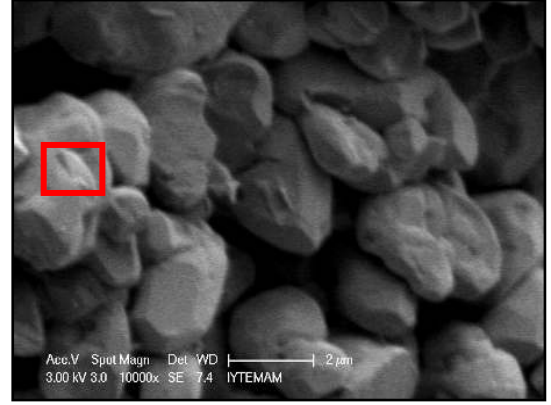
Çizelge Ek.2.14. HT6 tuğla EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	13.06	37.77	1.43	2.43	7.56	19.34	2	10.27	6.13

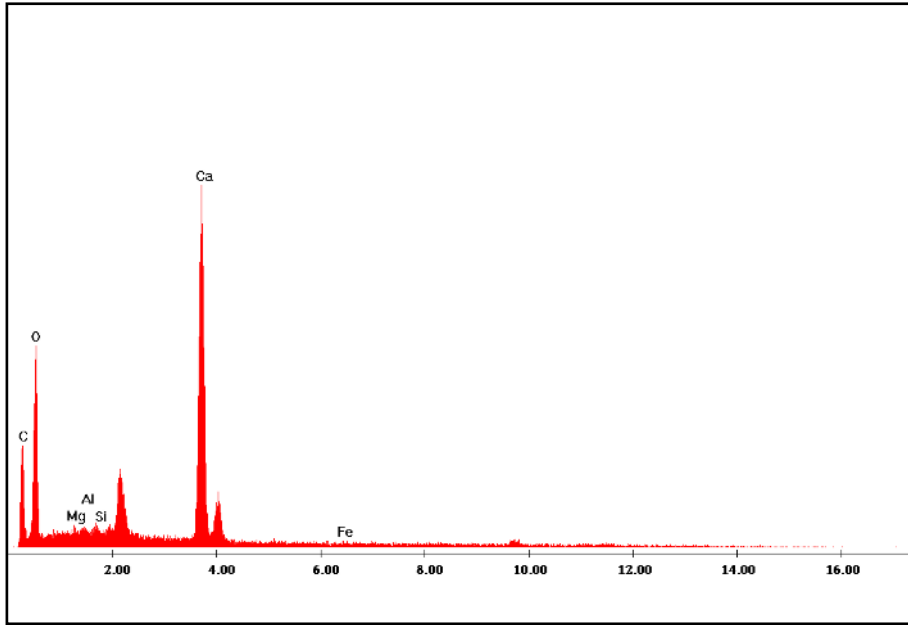
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	2.25	4.66	16.43	47.63	2.74	16.35	9.93



(1.000 x)



(10.000 x)

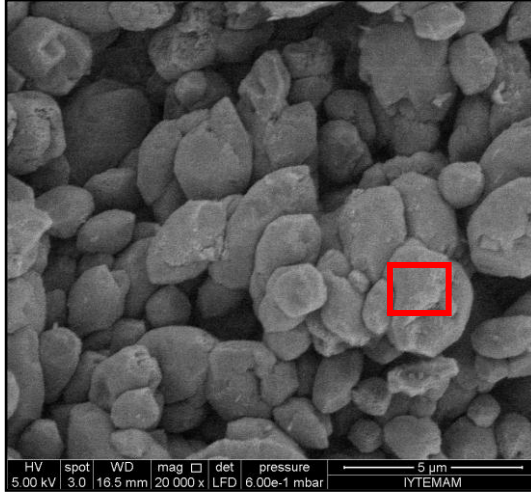


Şekil Ek.2.15. PS1 taş numune SEM/ EDX görüntüleri

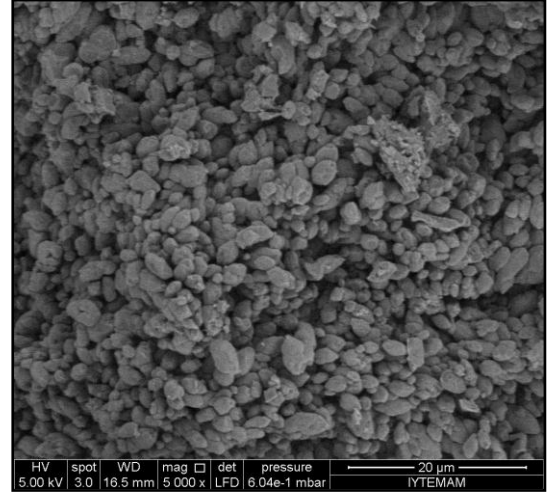
Çizelge Ek.2.15. PS1 taş numune EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	16.10	40.87	0.97	0.86	0.63	39.92	0.66

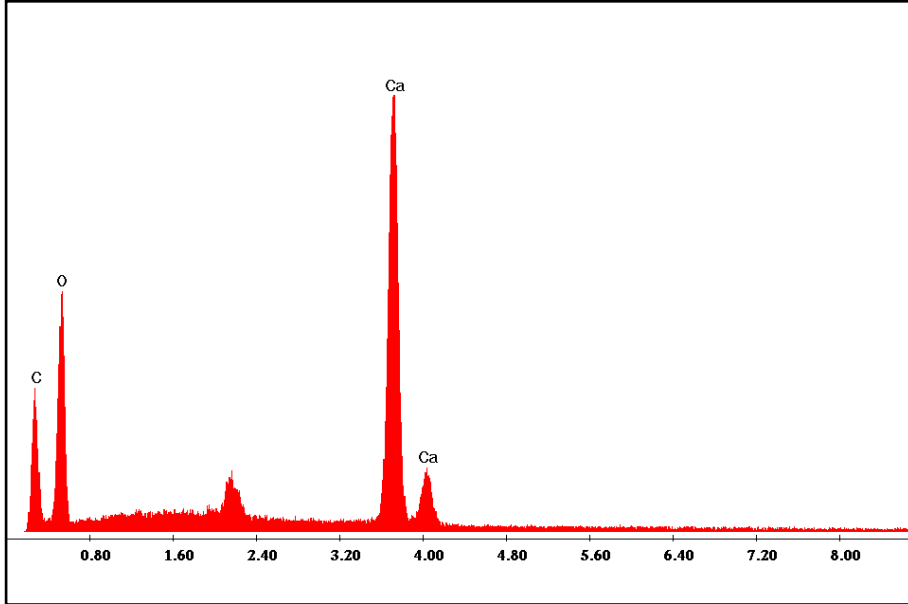
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	2.75	2.74	2.24	90.73	1.54



(20.000 x)



(5.000 x)

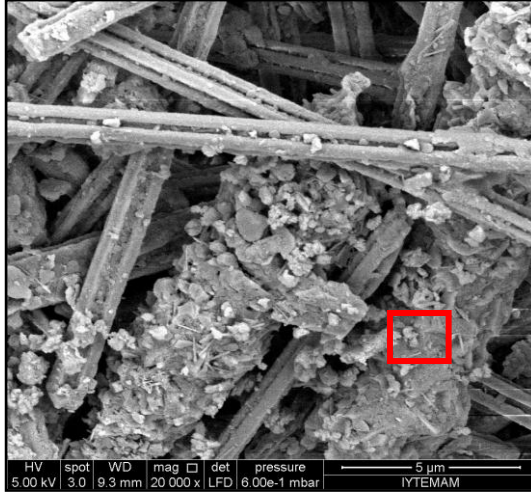


Şekil Ek.2.16. TS1 taş numune SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.16. TS1 taş numune EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Ca
Wt %	15.51	37.46	47.03

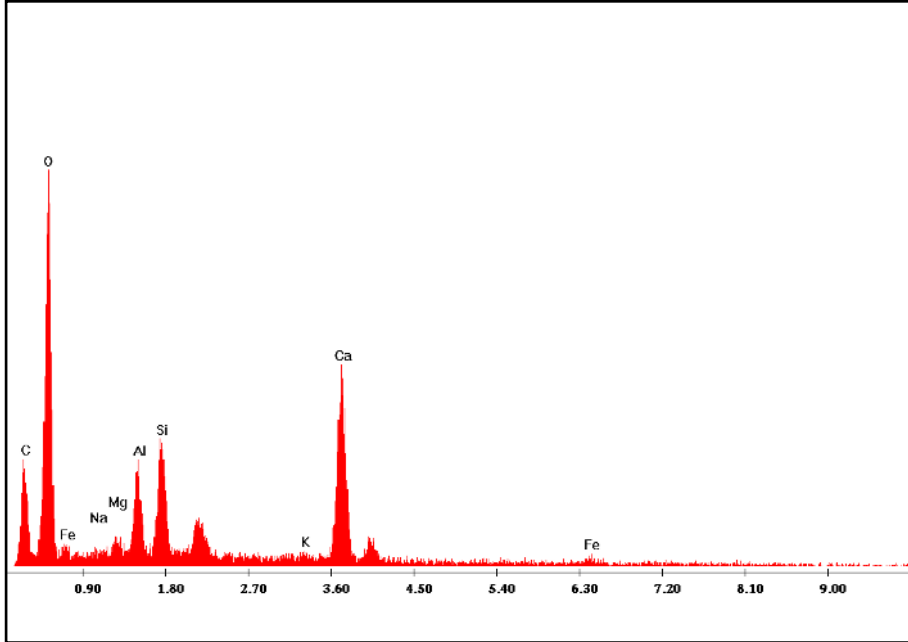
Element	CaO
Wt %	100



(20.000 x)



(5.000 x)

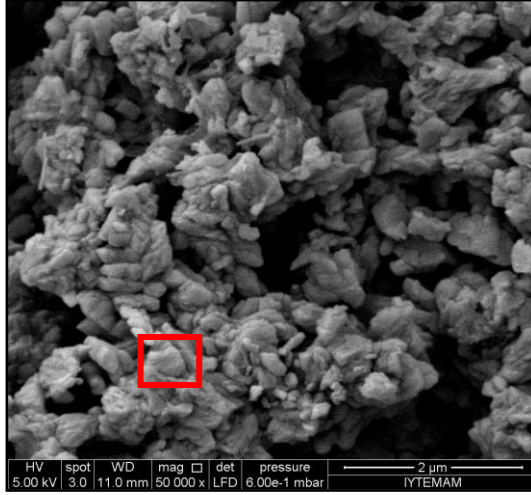


Şekil Ek.2.17. PP3 sıva harcı SEM/ EDX görüntüleri

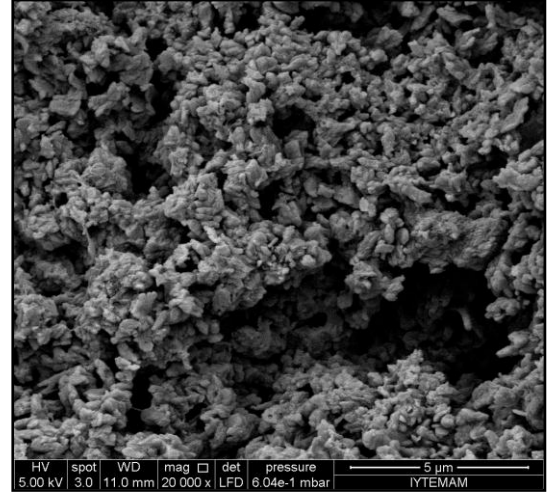
Çizelge Ek.2.17. PP3 sıva harcı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.56	40.23	0.55	1.02	4.95	6.51	0.96	26.72	4.49

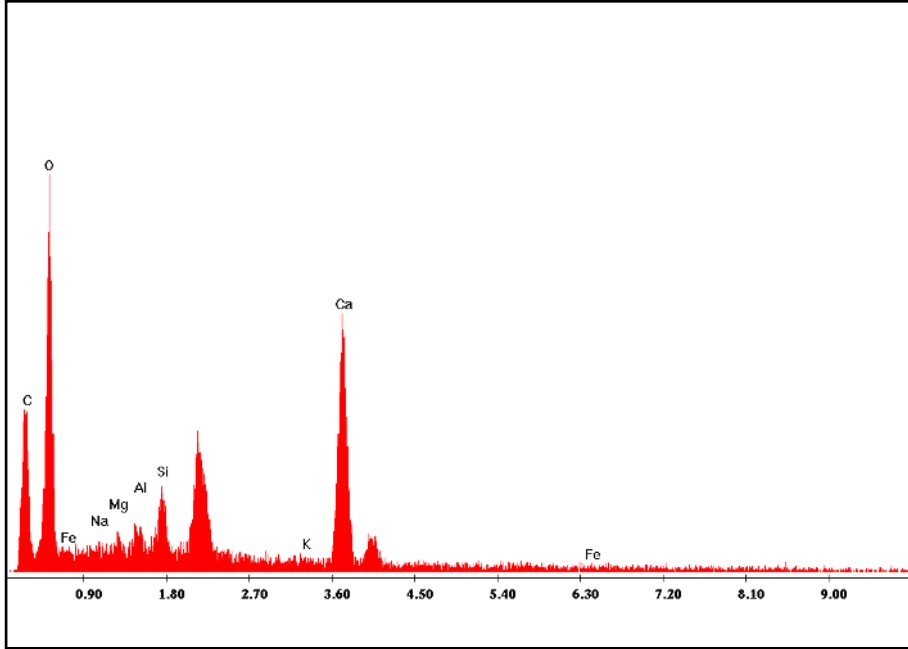
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.09	2.44	13.34	19.94	1.62	52.58	9



(50.000 x)



(20.000 x)



Şekil Ek.2.18. PH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

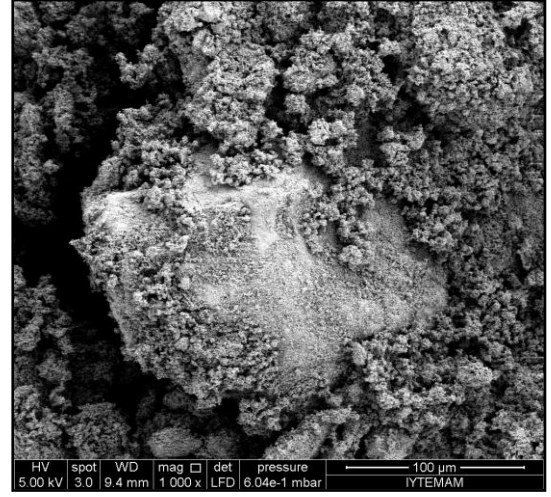
Çizelge Ek.2.18. PH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	18.24	38.49	0.97	1.12	1.82	3.35	0.76	32.81	2.43

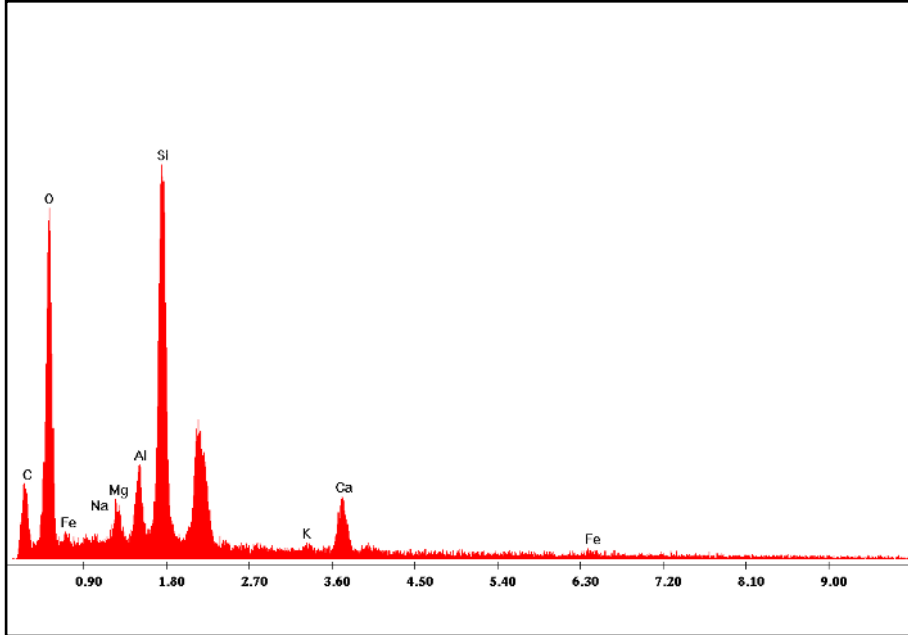
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	2.13	2.99	5.47	11.36	1.4	71.26	5.39



(5.000 x)



(1.000 x)

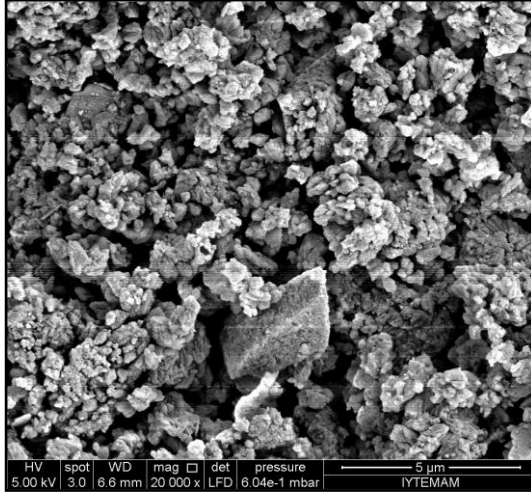


Şekil Ek.2.19. PH2 harcı agregası kısmı SEM/ EDX görüntüleri

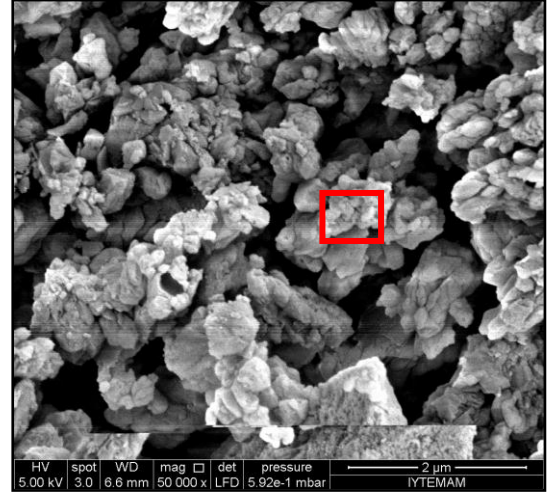
Çizelge Ek.2.19. PH2 harcı agregası kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	18.03	32.6	1.29	2.87	5.36	24.59	0.85	8.62	5.8

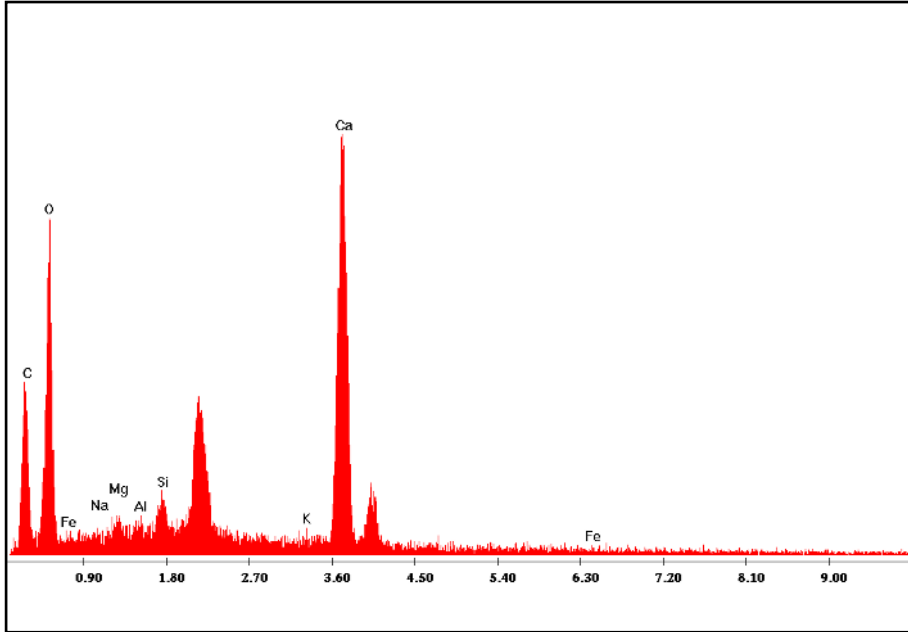
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.98	5.34	11.26	58.18	1.12	13.14	8.99



(20.000 x)



(50.000 x)



Şekil Ek.2.20. SH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

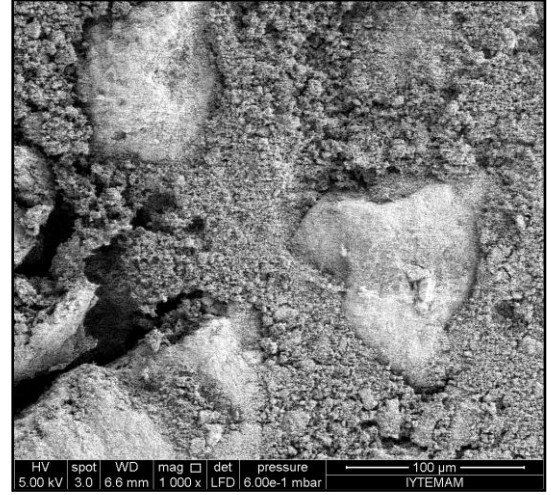
Çizelge Ek.2.20. SH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	13.64	33.07	0.77	1.19	1.05	2	0.38	46.24	1.67

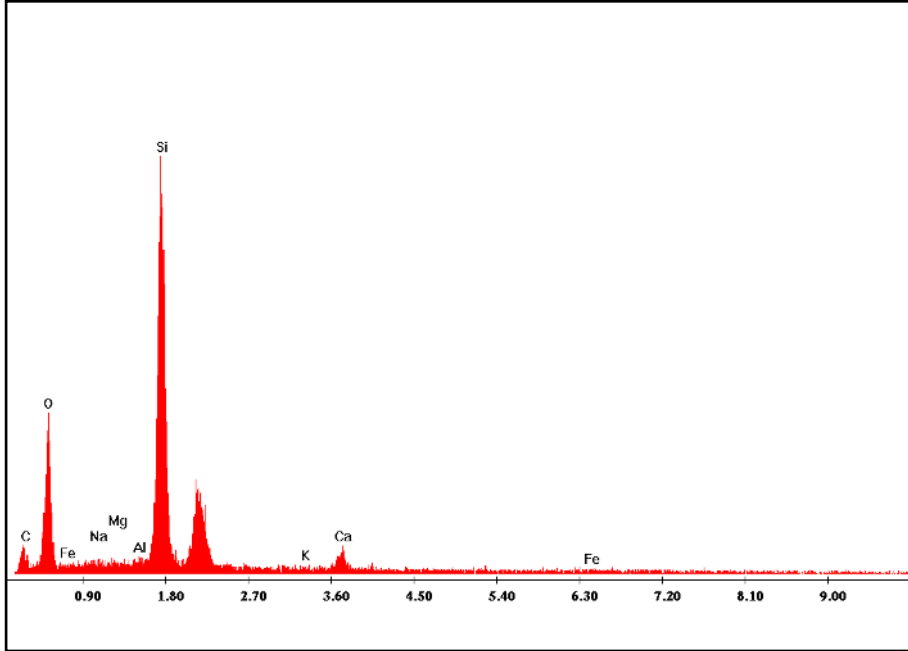
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.4	2.63	2.62	5.64	0.59	84.02	3.09



(5.000 x)



(1.000 x)

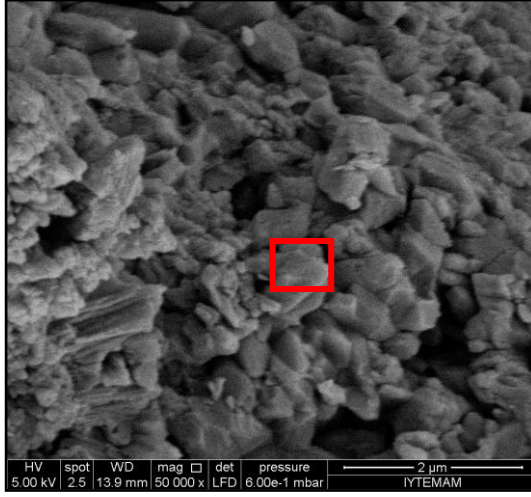


Şekil Ek.2.21. SH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

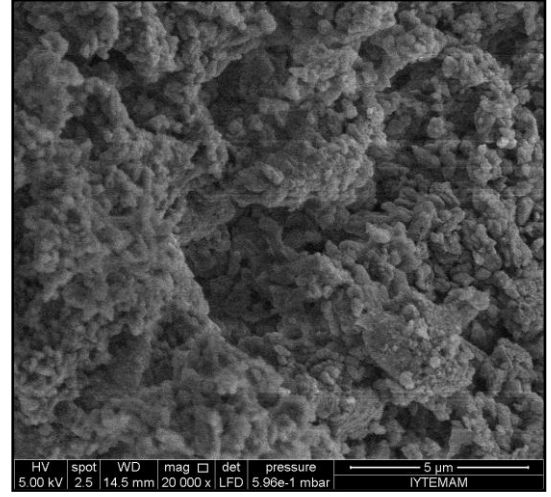
Çizelge Ek.2.21. SH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	15.14	25.34	1.24	0.91	1.41	44.2	0.44	5.67	5.66

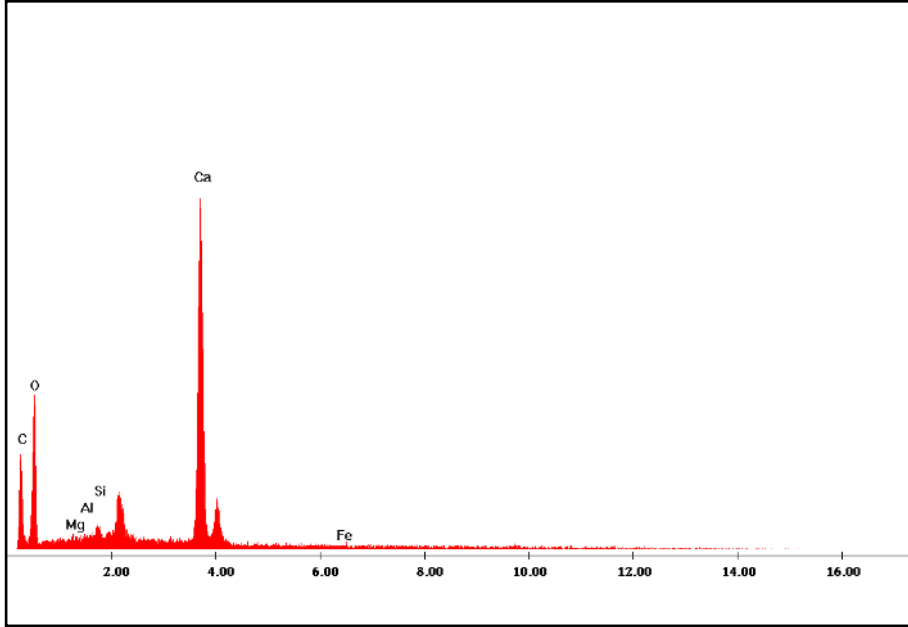
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.5	1.33	2.31	80.97	0.44	6.65	6.79



(50.000 x)



(20.000 x)

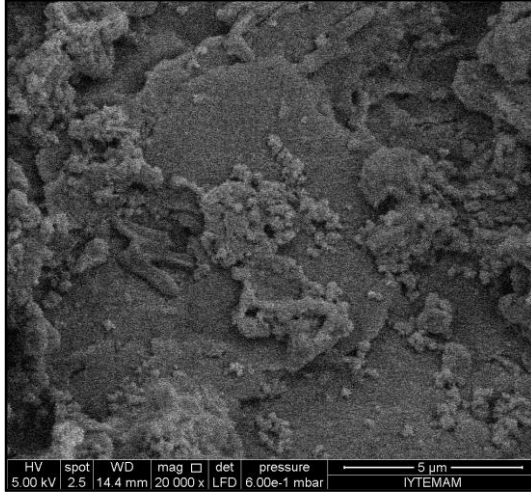


Şekil Ek.2.22. SH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.22. SH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	17.14	36.24	0.7	0.66	1.2	43.27	0.79

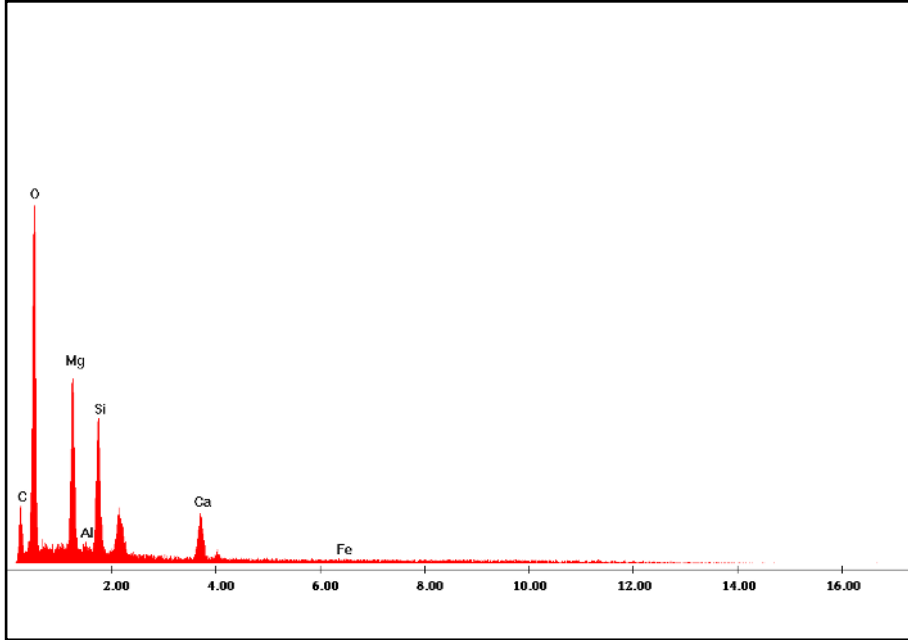
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.83	1.95	3.95	90.57	1.7



(20.000 x)



(5.000 x)

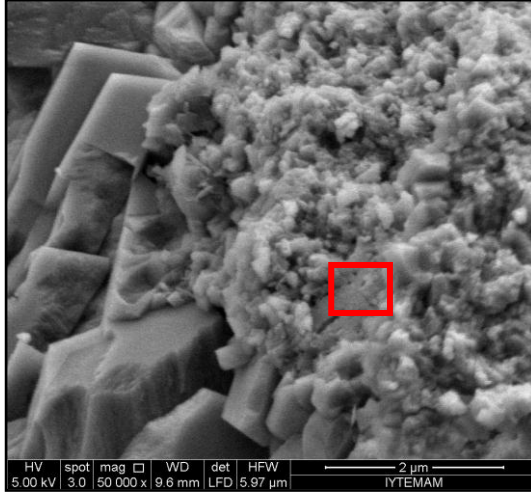


Şekil Ek.2.23. SH2 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

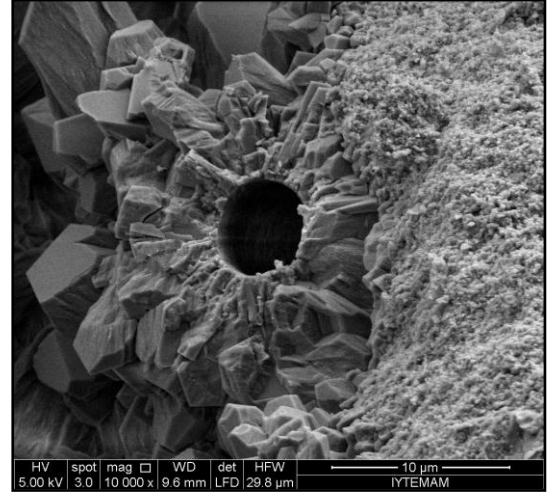
Çizelge Ek.2.23. SH2 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	23.03	47.62	12.37	1.55	11.21	3.78	0.44

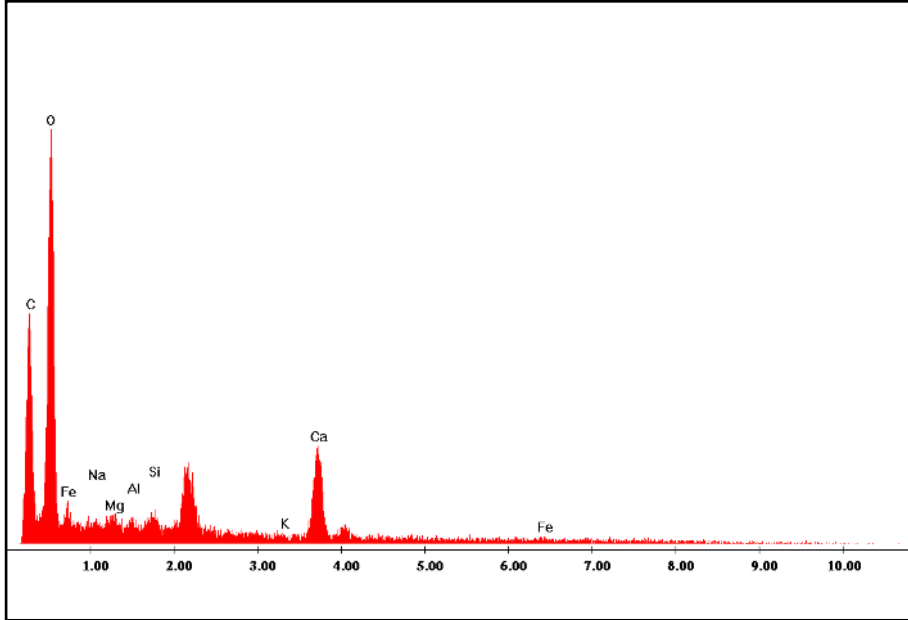
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	36.63	5.88	45.69	9.97	1.83



(50.000 x)



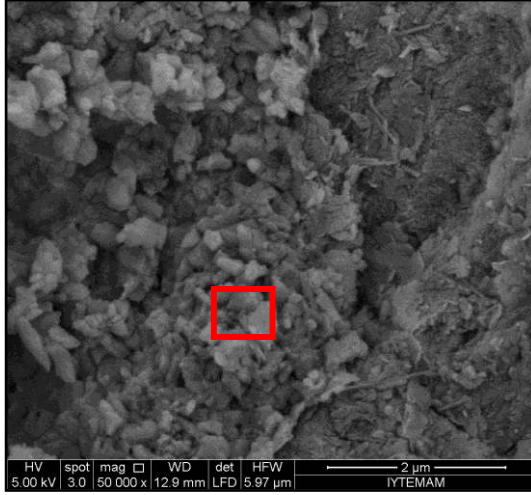
(10.000 x)



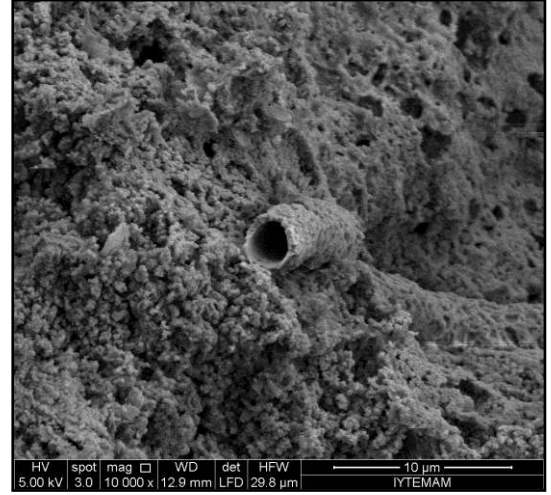
Şekil Ek.2.24. SH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.24. SH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

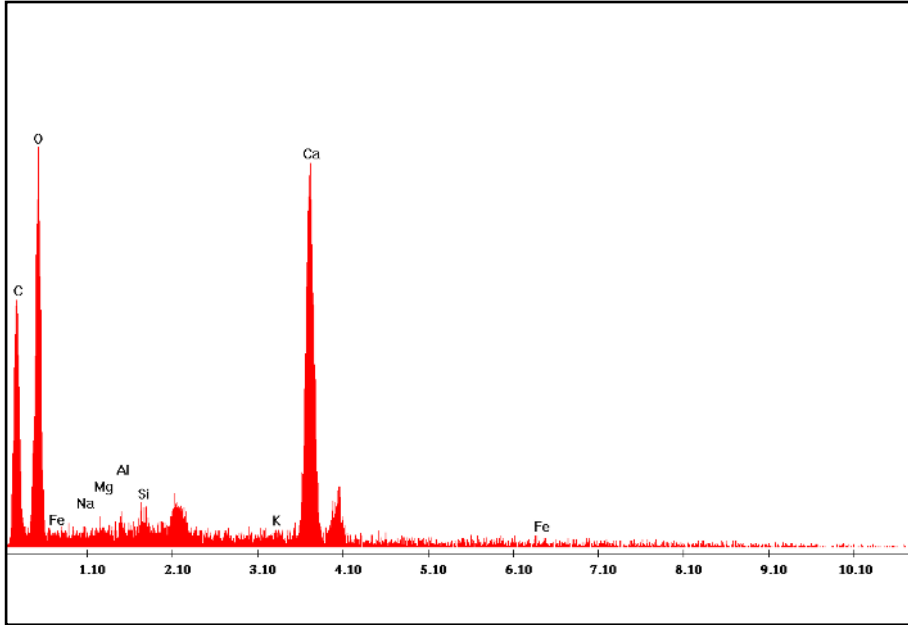
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	28.92	47.45	0.52	0.83	0.69	1.16	0.22	16.65	3.56



(50.000 x)



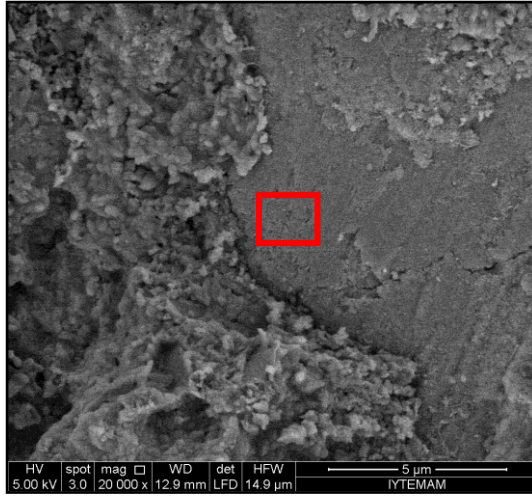
(10.000 x)



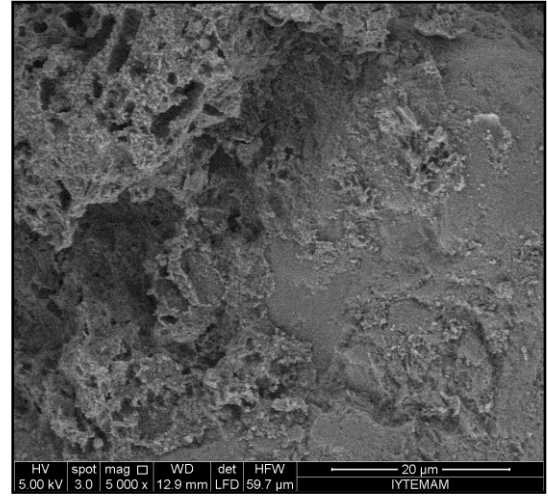
Şekil Ek.2.25. SH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.25. SH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

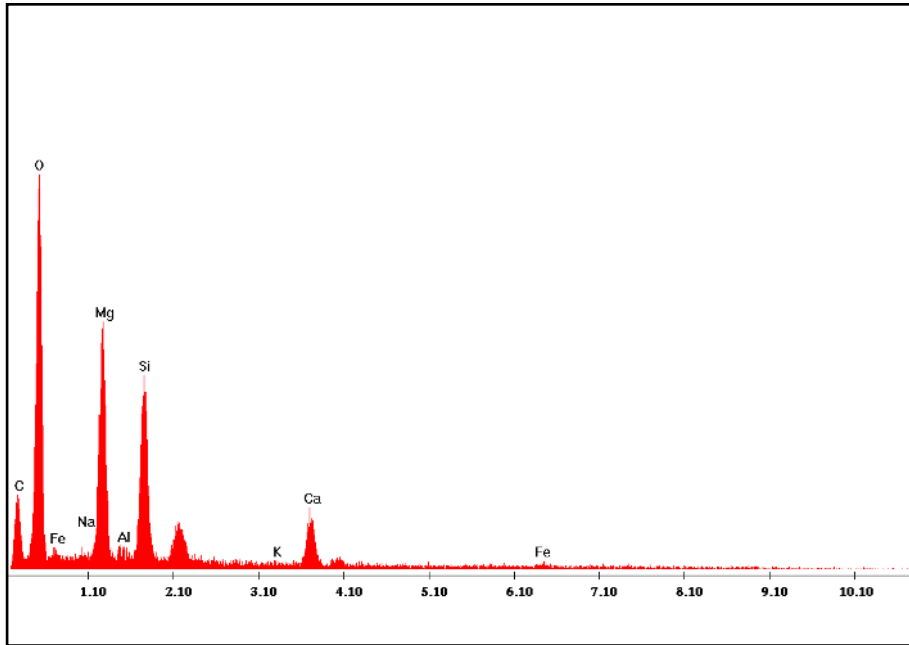
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	19.12	34.72	0.57	0.58	0.74	1.13	0.56	39.18	3.39



(20.000 x)



(5.000 x)

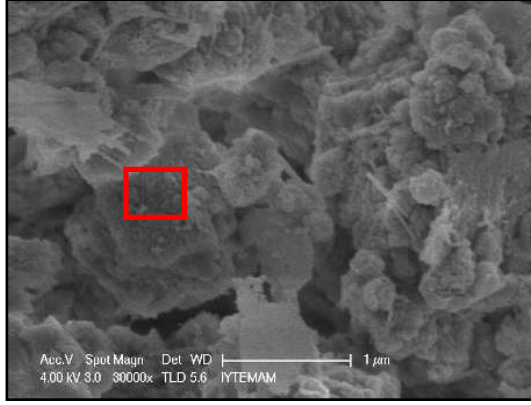


Şekil Ek.2.26. SH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

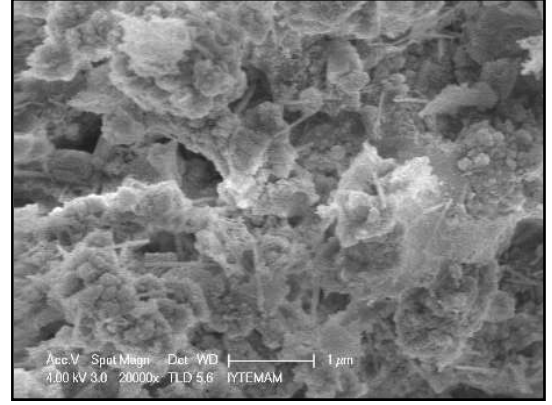
Çizelge Ek.2.26. SH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	17.63	38.36	0.92	15.1	1.14	12.9	0.21	9.16	4.59

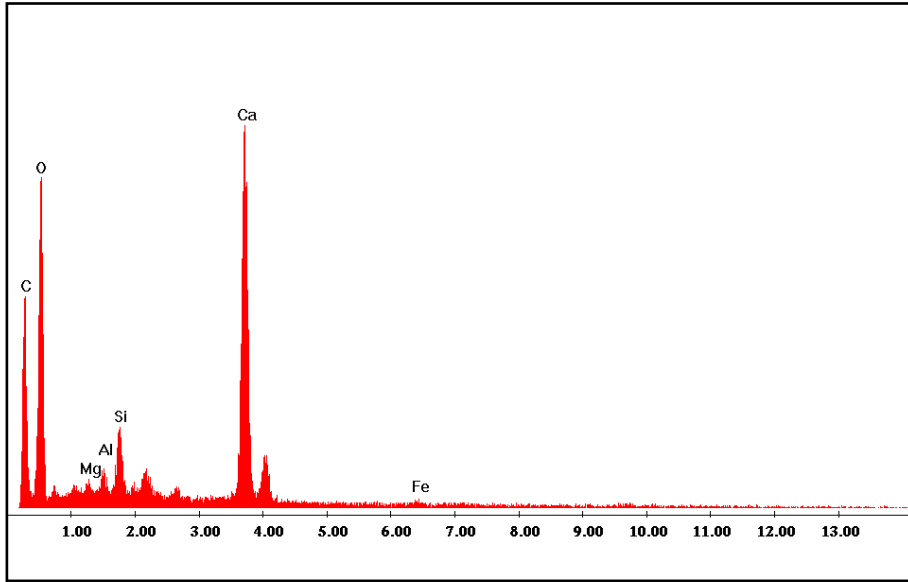
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.64	33.04	2.89	36.88	0.33	16.72	8.51



(30.000 x)



(20.000 x)



Şekil Ek.2.27. GH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

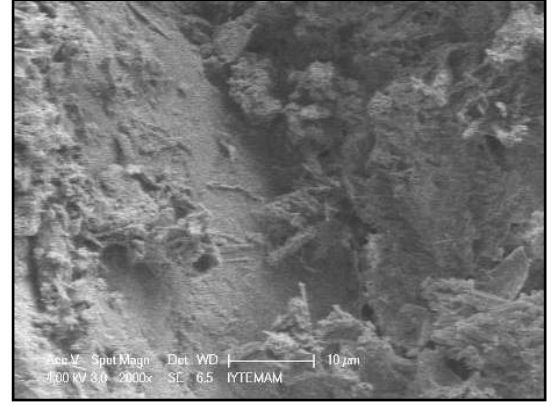
Çizelge Ek.2.27. GH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	25.05	43.66	0.48	0.80	2.41	26.64	0.97

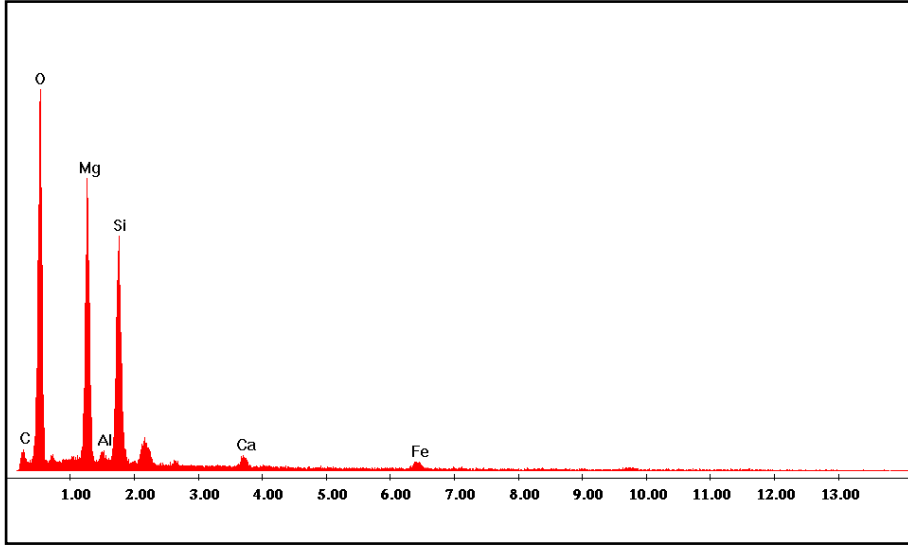
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.86	3.42	11.54	80.18	3.00



(1.000 x)



(2.000 x)

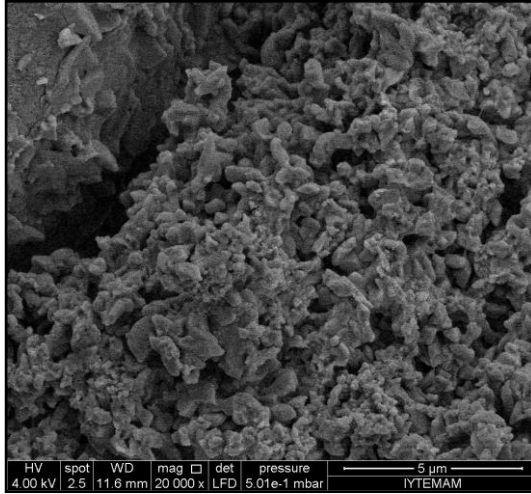


Şekil Ek.2.28. GH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.28. GH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	10.93	46.06	19.4	1.6	17.04	1.7	3.26

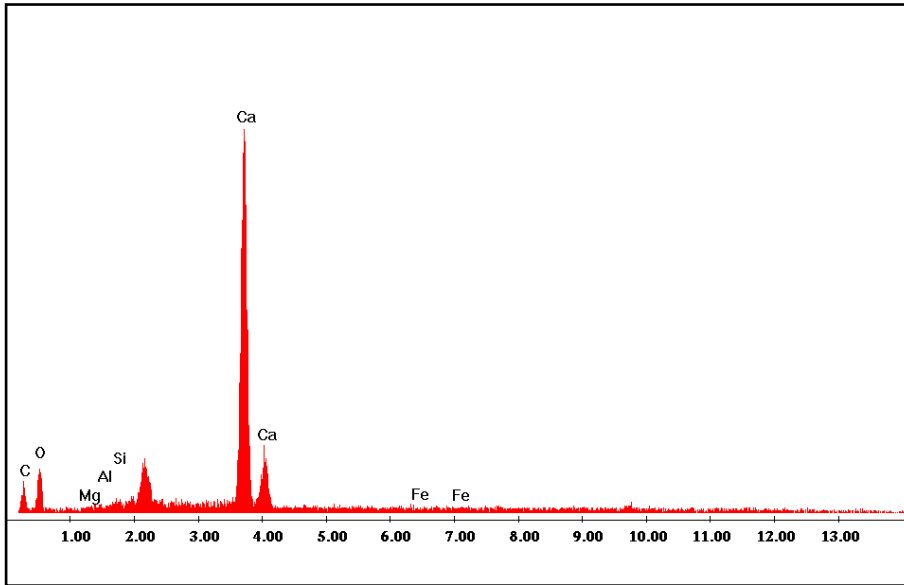
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	39.97	3.95	47.24	3.01	5.83



(20.000 x)



(50.000 x)

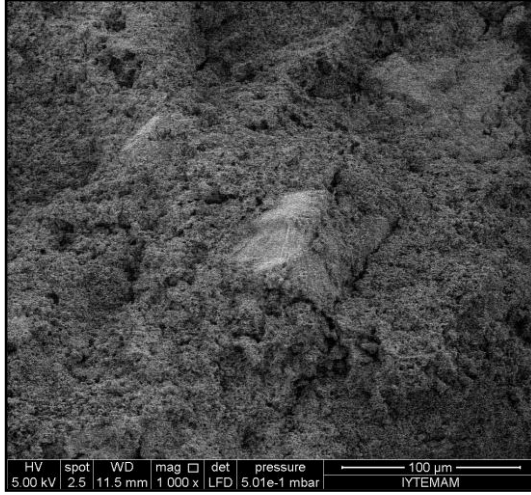


Şekil Ek.2.29. GH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

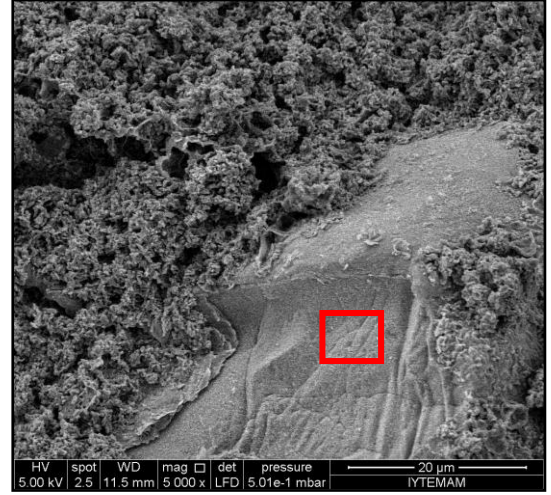
Çizelge Ek.2.29. GH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	7.57	23.1	0	0	0.24	68.23	0.85

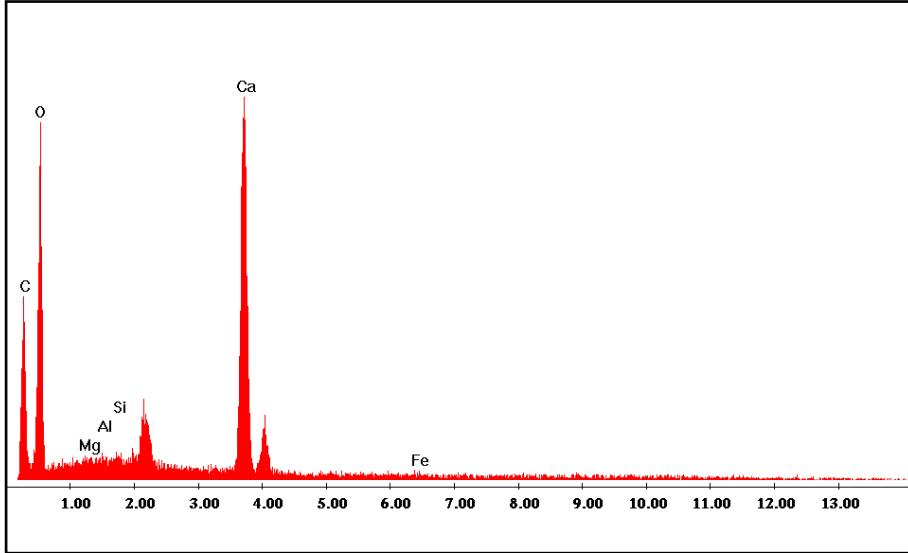
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	0	0	0.54	98.2	1.26



(1.000 x)



(5.000 x)

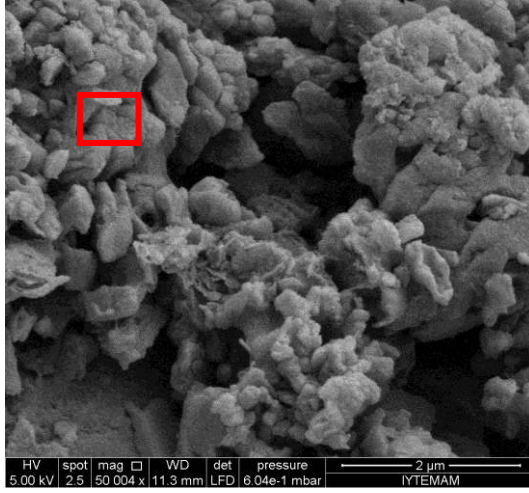


Şekil Ek.2.30. GH2 harcı kireç kısmı SEM/ EDX görüntüleri

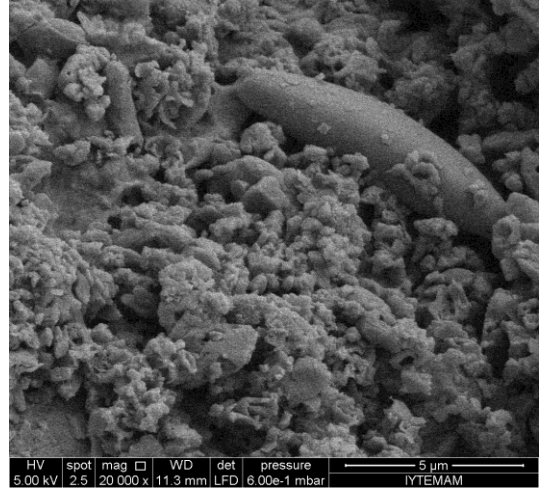
Çizelge Ek.2.30. GH2 harcı kireç kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	21.65	45.67	0.82	0.78	0.76	29.81	0.51

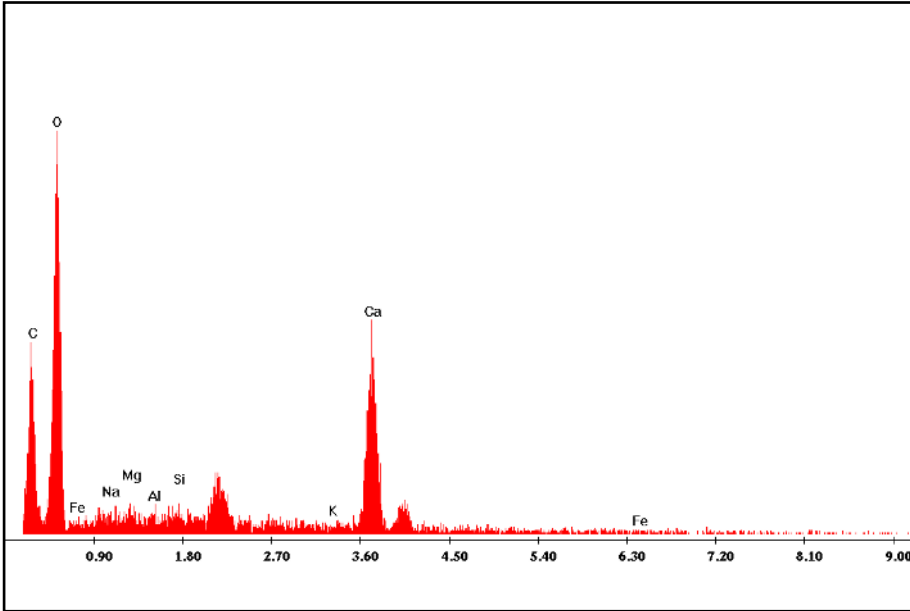
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	3.08	3.29	3.6	88.45	1.57



(50.000 x)



(20.000 x)



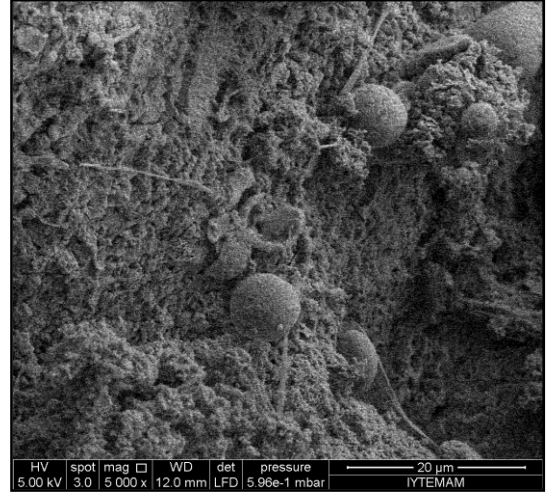
Şekil Ek.2.31. GH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.31. GH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

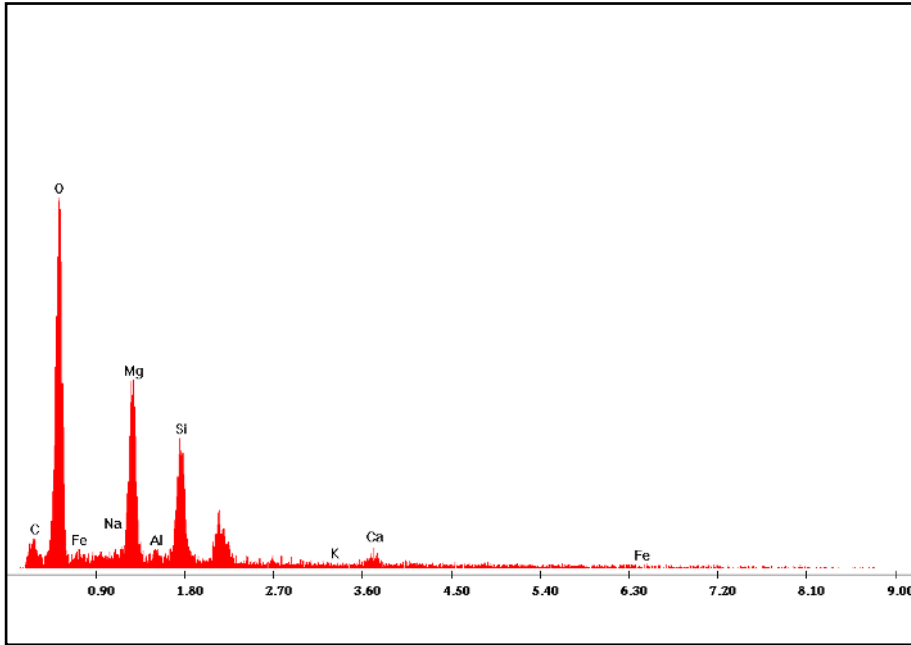
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	16.5	39.53	0.94	1.2	0.91	0.99	0.4	37.7	1.83



(10.000 x)



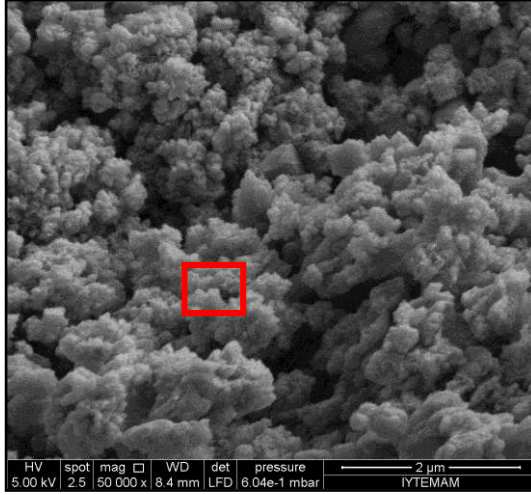
(5.000 x)



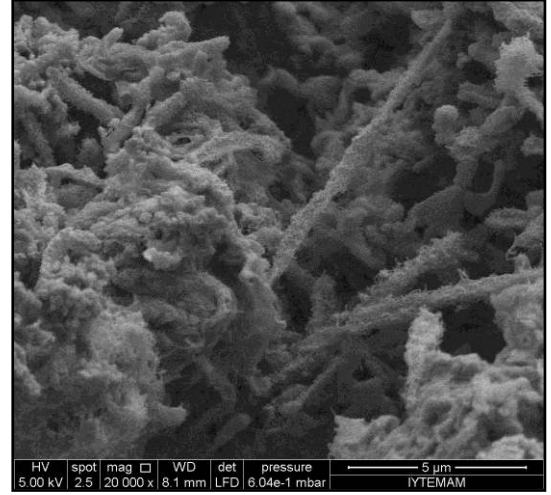
Şekil Ek.2.32. GH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.32. GH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

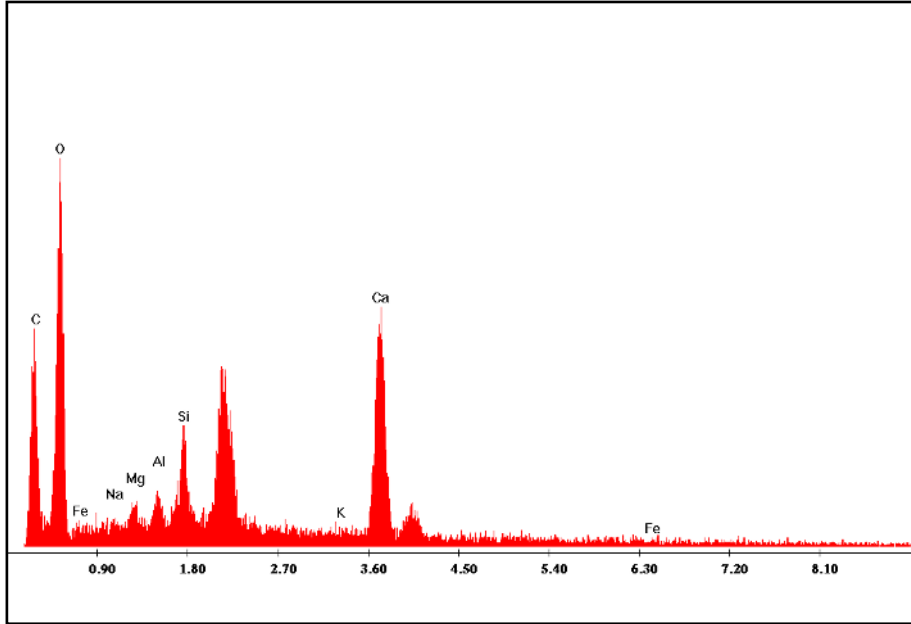
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	9.33	43.84	1.29	18.99	1.66	15.41	0.38	4.97	4.13



(50.000 x)



(20.000 x)



Şekil Ek.2.33. GH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.33. GH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

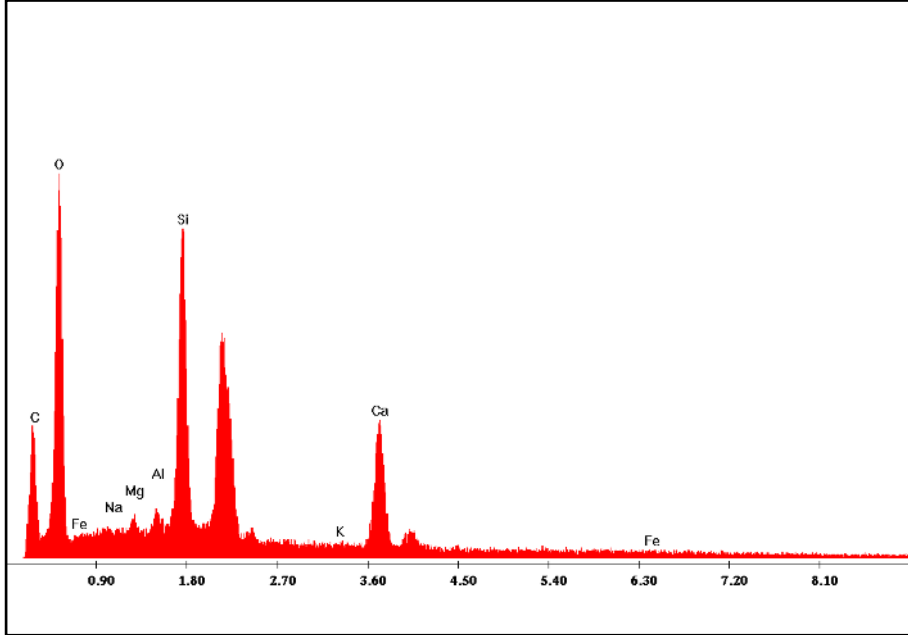
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	22.08	36.71	1.09	1.83	2.19	4.67	0.67	28.78	1.99



(5.000 x)



(5.000 x)



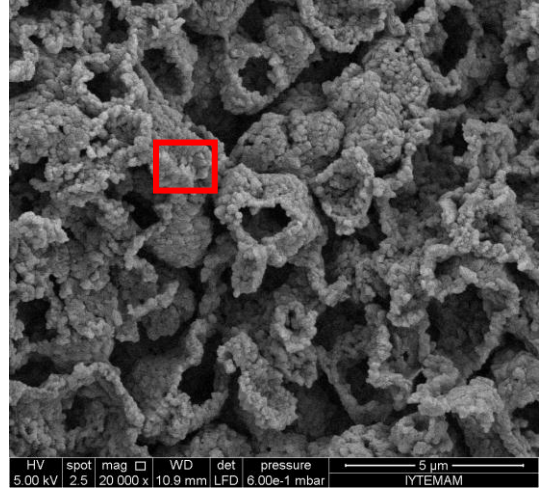
Şekil Ek.2.34. GH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.34. GH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

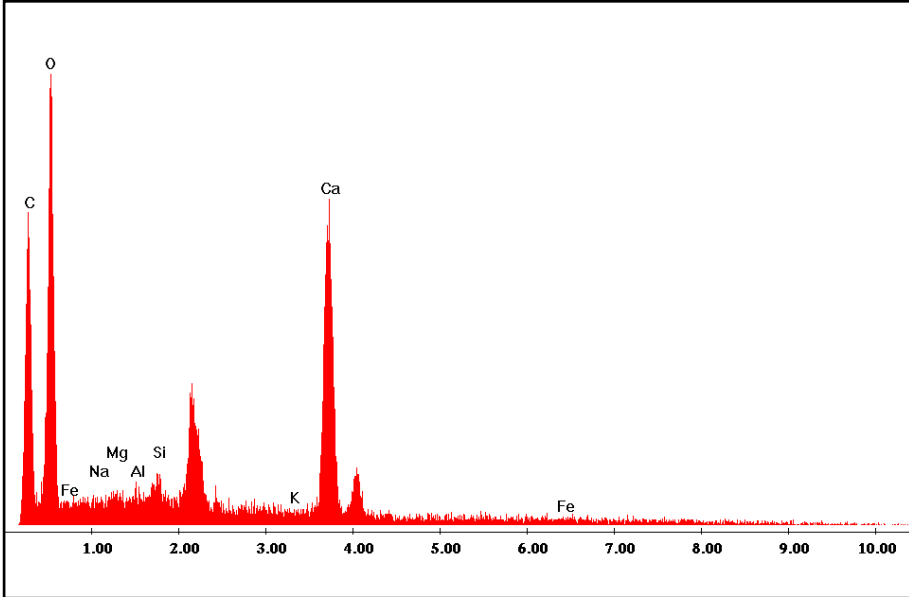
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	20.73	37.43	0.27	0.81	1.39	17.13	0.61	18.95	2.69



(10.000 x)



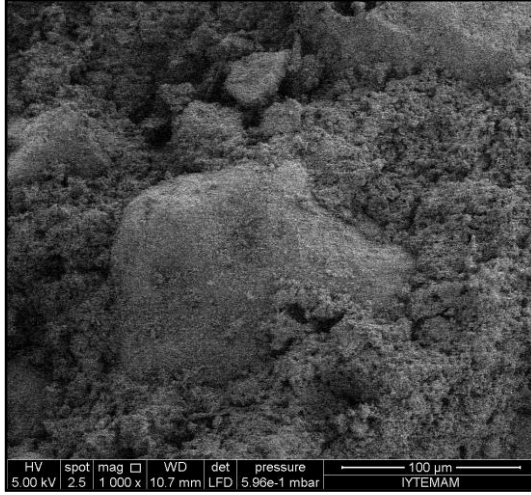
(20.000 x)



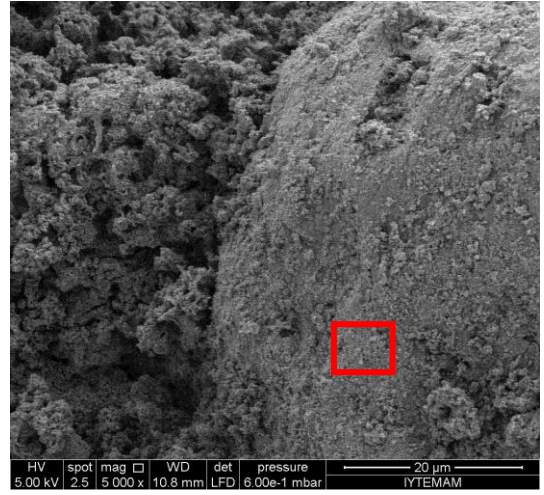
Şekil Ek.2.35. GH6 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.35. GH6 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

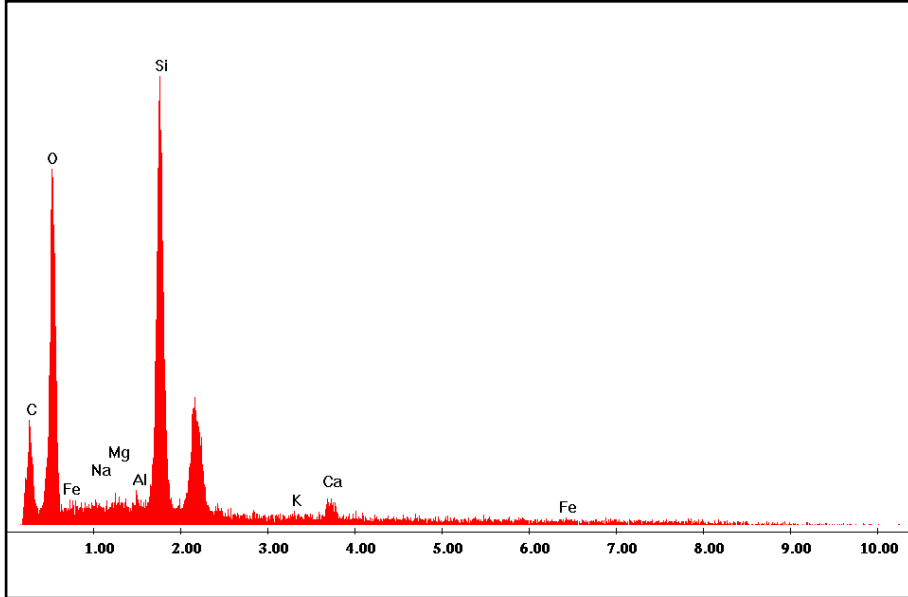
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	23.17	36.46	1.03	1.09	1.13	1.68	0.45	32.92	2.07



(1.000 x)



(5.000 x)



Şekil Ek.2.36. GH6 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.36. GH6 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

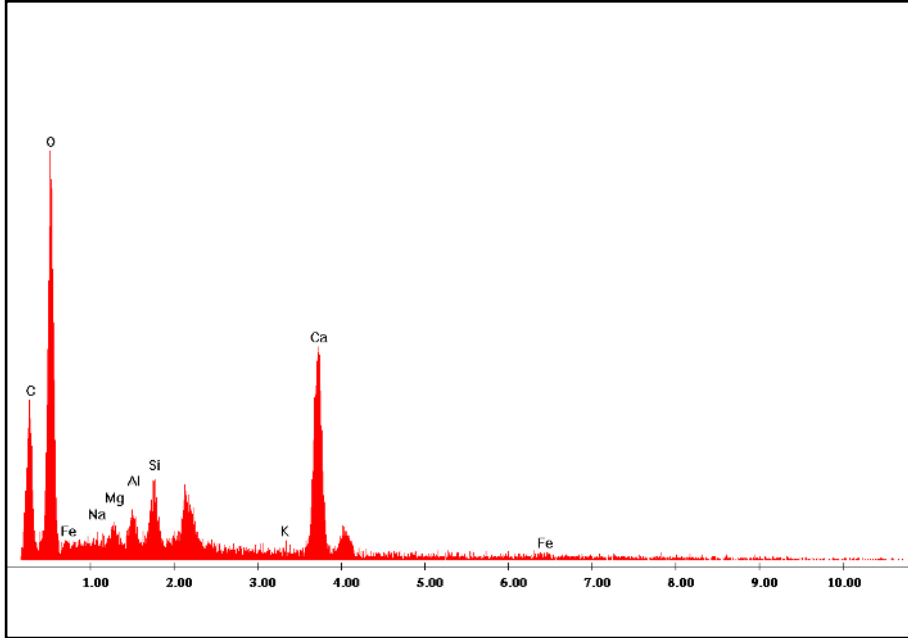
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	25.45	34.58	1.34	1.35	1.53	28.54	0.52	3.26	3.42



(20.000 x)



(50.000 x)



Şekil Ek.2.37. GH7 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.37. GH7 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

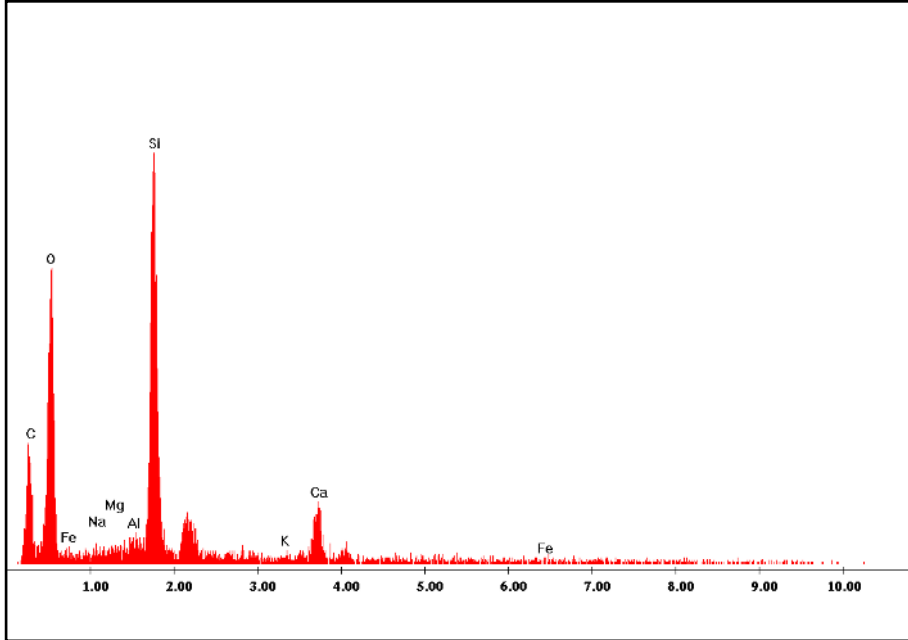
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	18.02	41.59	0.79	1.25	1.86	3.22	0.24	29.14	3.88



(5.000 x)



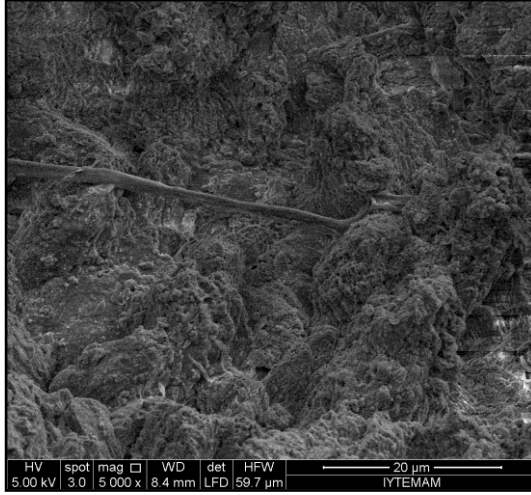
(1.000 x)



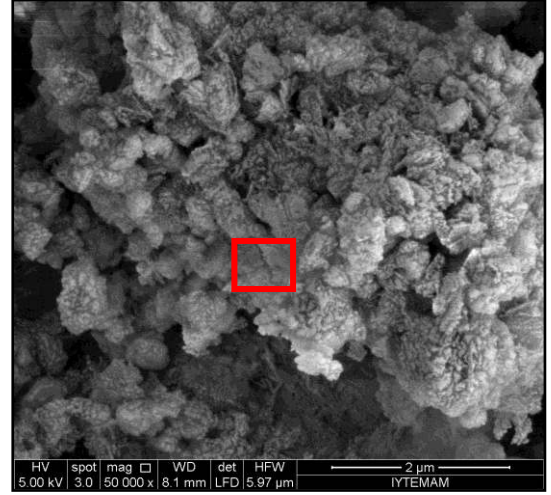
Şekil Ek.2.38. GH7 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.38. GH7 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

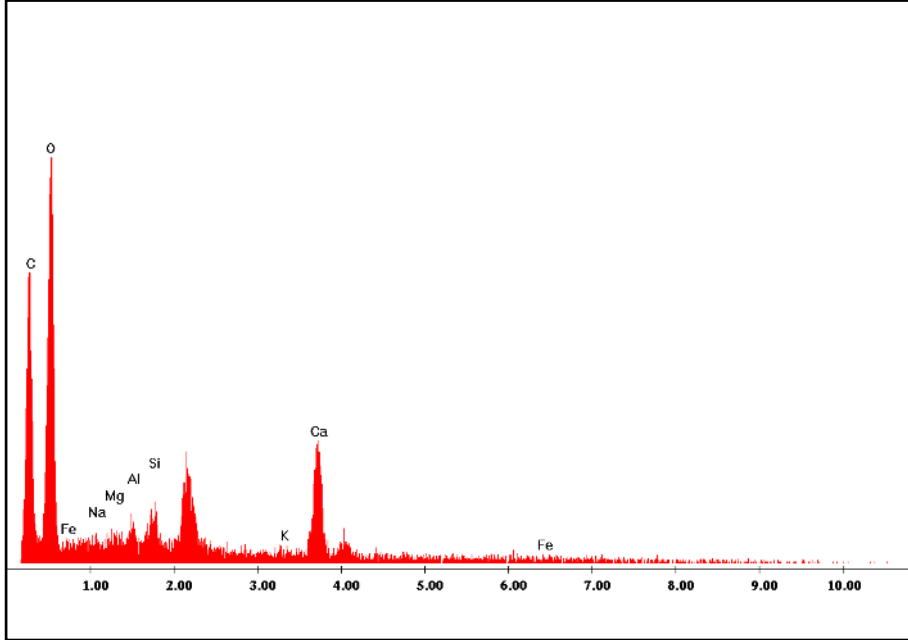
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	27.74	31.92	0.75	0.88	1.46	25.07	0.52	9.7	1.95



(5.000 x)



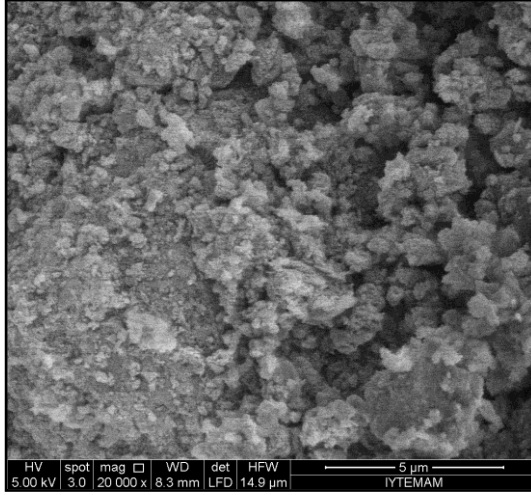
(50.000 x)



Şekil Ek.2.39. GH8 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.39. GH8 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

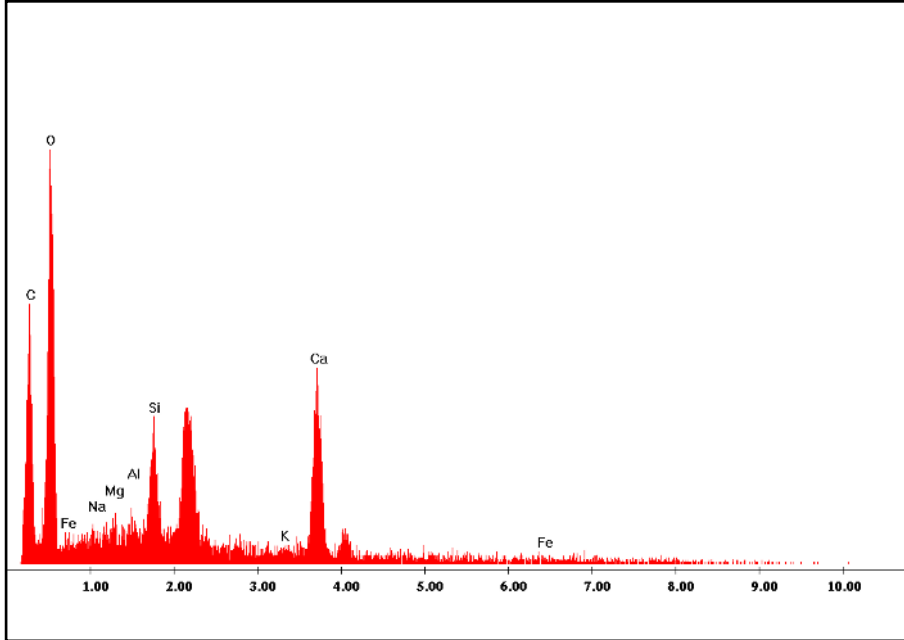
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	31.77	42.38	0.79	0.62	1.11	1.79	0.7	17.74	3.11



(20.000 x)



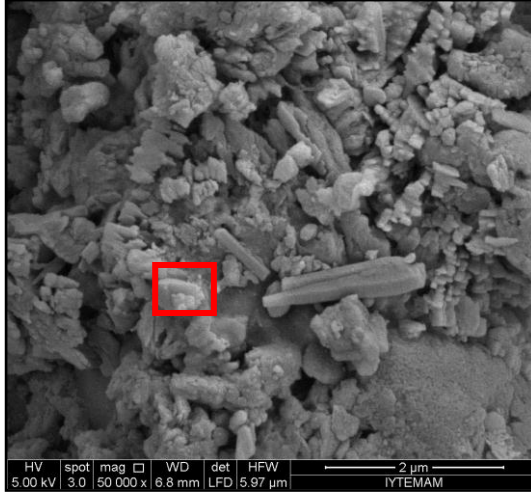
(5.000 x)



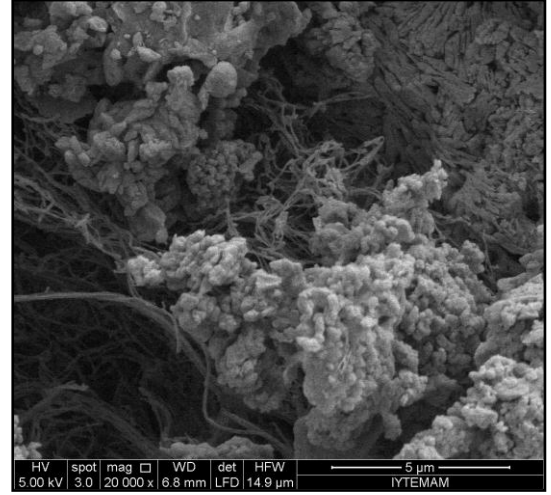
Şekil Ek.2.40. GH8 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.40. GH8 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

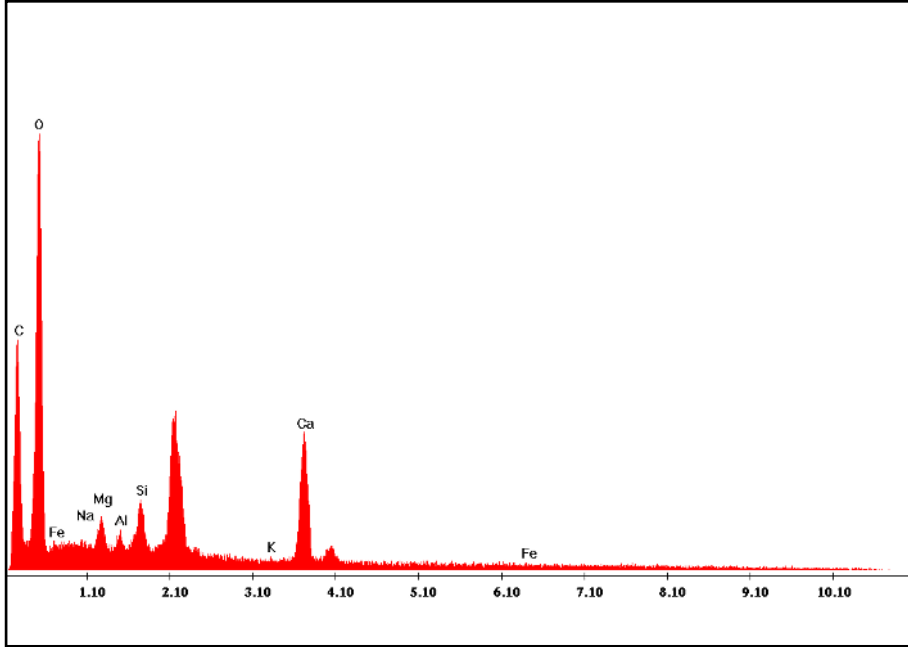
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	24.7	40.82	0.47	0.3	0.1	4.43	0.97	24.54	3.67



(50.000 x)



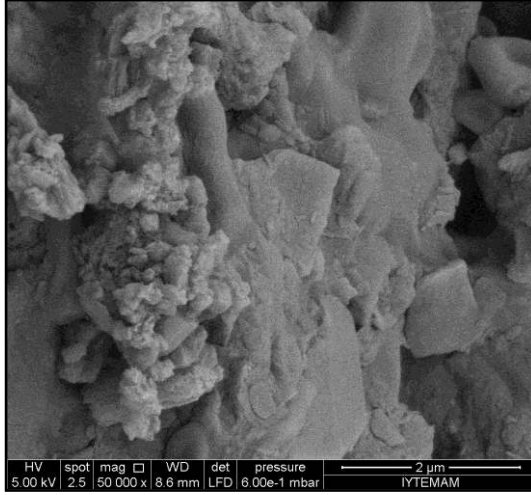
(20.000 x)



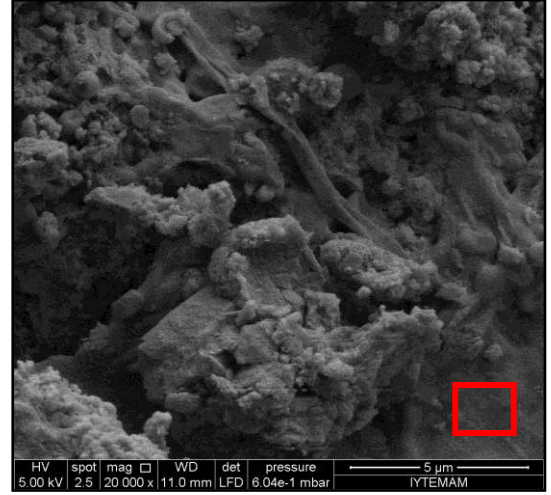
Şekil Ek.2.41. GH9 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.41. GH9 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

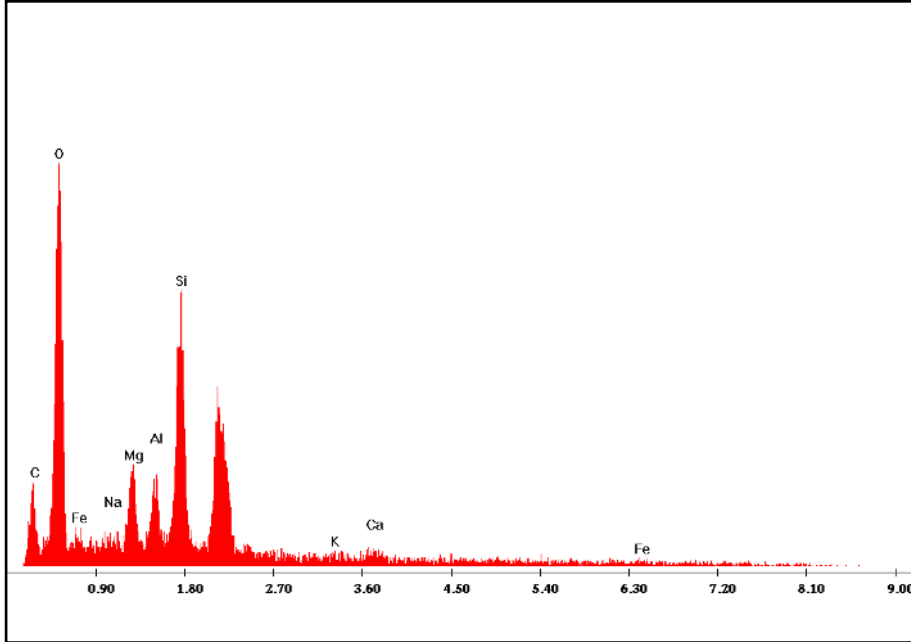
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	27.08	43.68	1.68	2.58	1.7	3.54	0	18.82	0.92



(50.000 x)



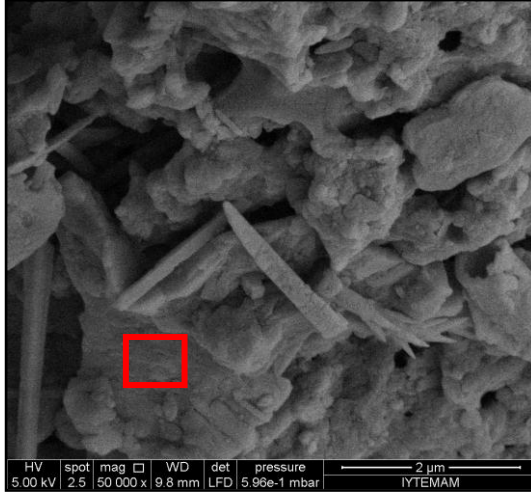
(20.000 x)



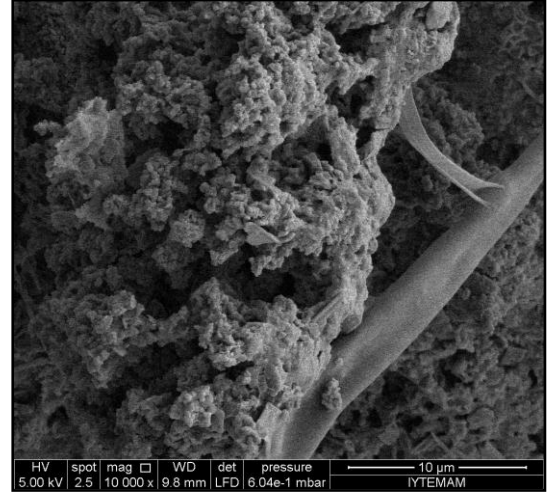
Şekil Ek.2.42. GH10 harcı agregası kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.42. GH10 harcı agregası kısmı EDX analiz sonuçları

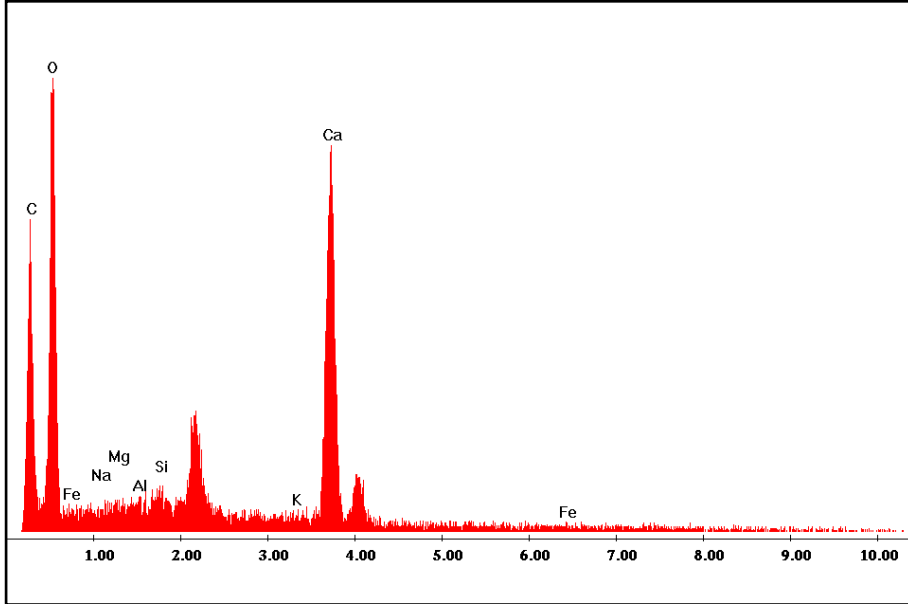
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	16.15	33.45	2.14	6.36	6.48	20.53	1.13	2.97	10.79



(50.000 x)



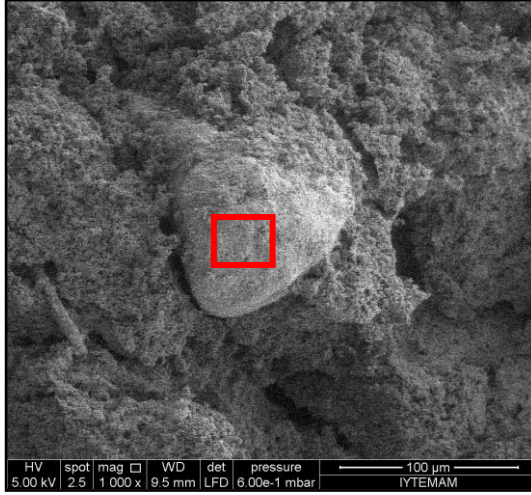
(10.000 x)



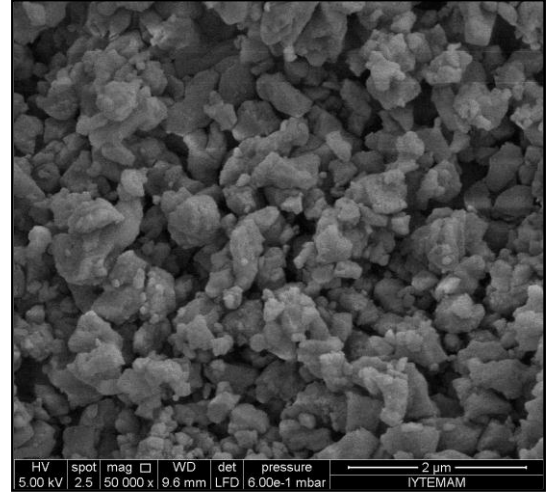
Şekil Ek.2.43. GH11 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.43. GH11 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

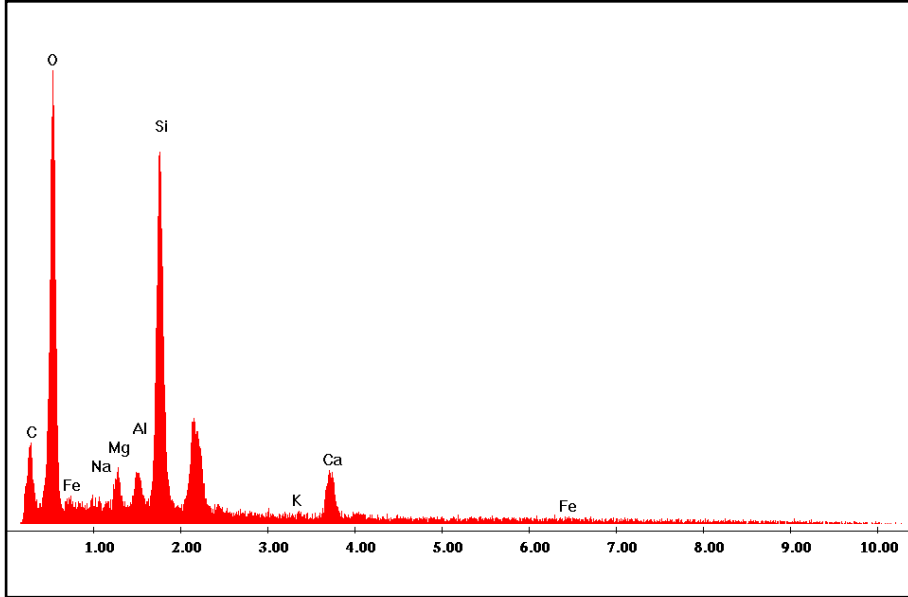
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	18.97	38.63	0.25	0.34	0.27	0.51	0.74	37.86	2.43



(1.000 x)



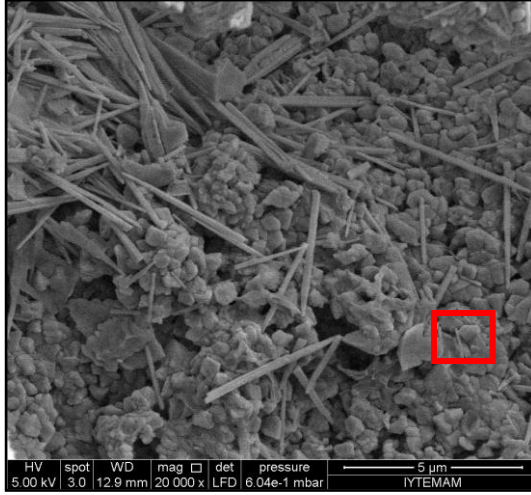
(50.000 x)



Şekil Ek.2.44. GH11 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.44. GH11 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

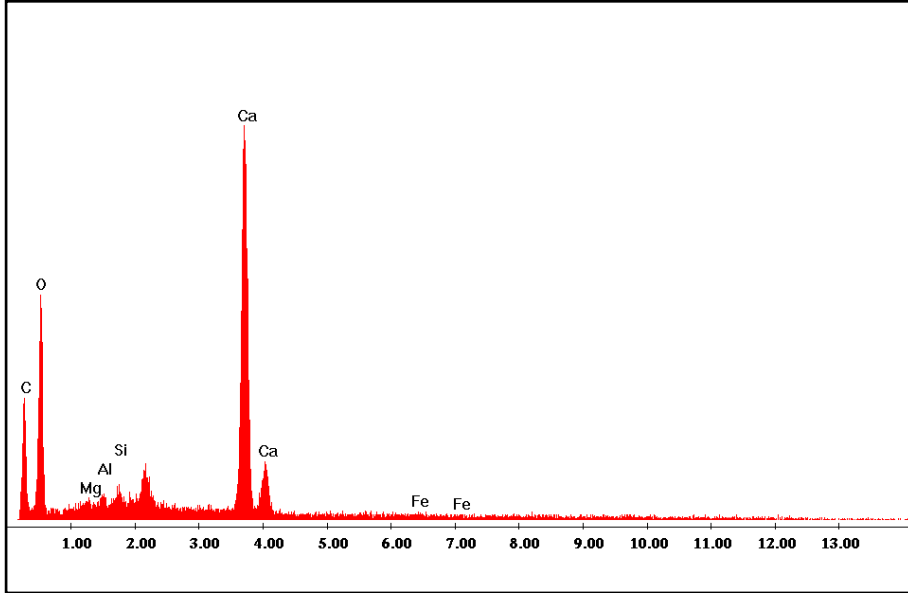
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	18.92	40.67	0.36	2.19	2.5	23.39	0.32	8.17	3.48



(20.000 x)



(5.000 x)

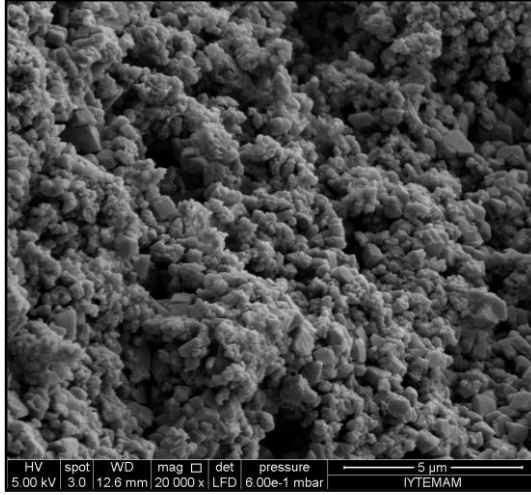


Şekil Ek.2.45. LH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.45. LH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	17.98	42.01	0.55	0.68	0.82	37.12	0.85

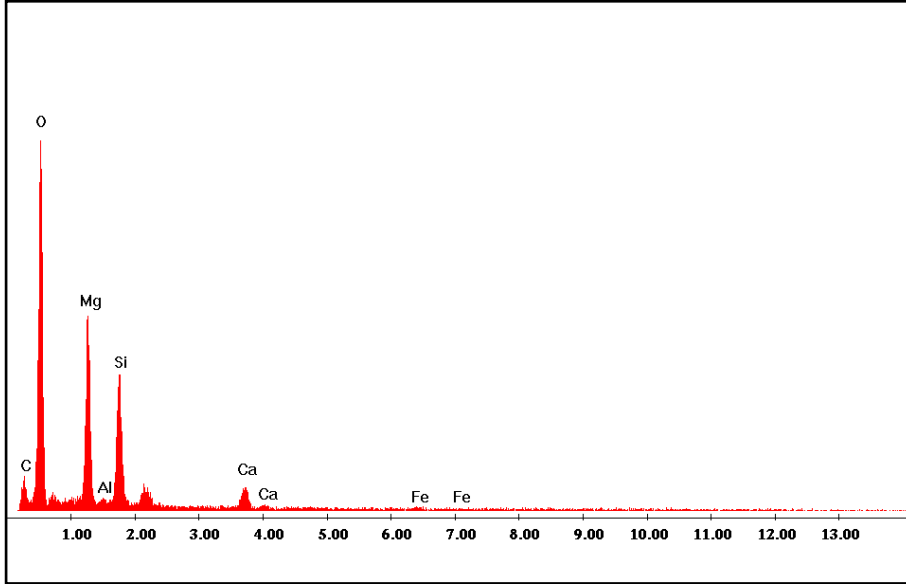
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.7	2.34	3.14	90.67	2.14



(20.000 x)



(5.000 x)

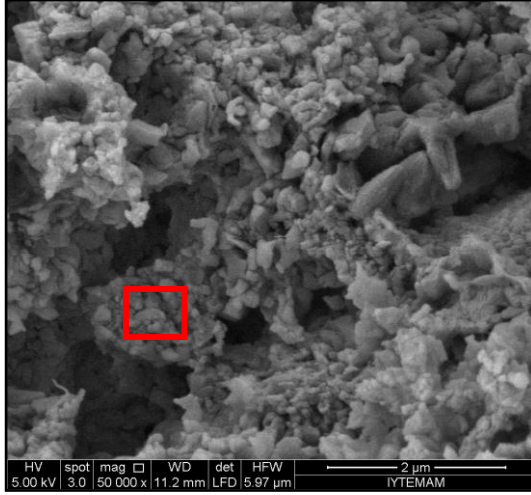


Şekil Ek.2.46. LH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

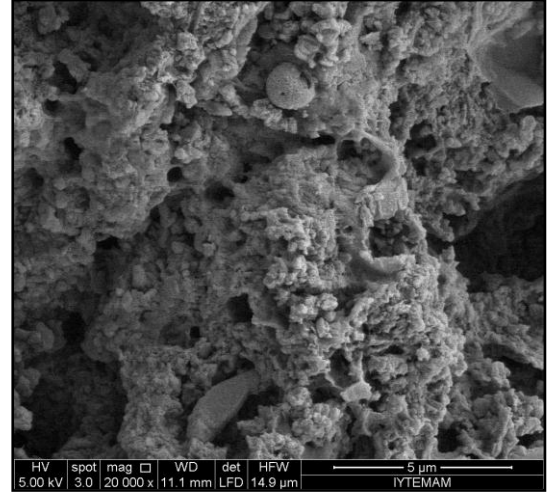
Çizelge Ek.2.46. LH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	14.62	53.04	15.33	0.48	10.97	3.96	1.6

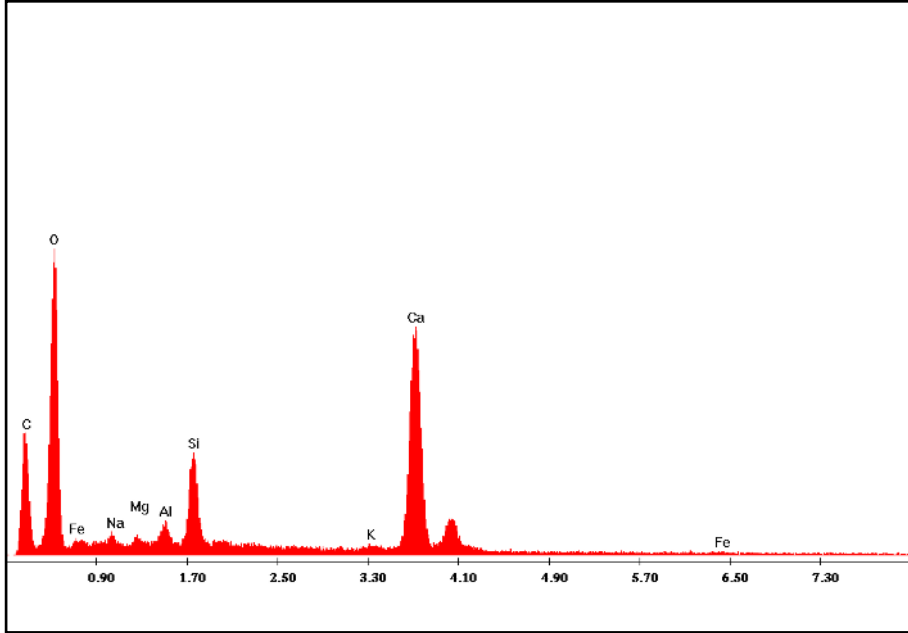
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	41.97	1.68	42.74	9.69	3.91



(50.000 x)



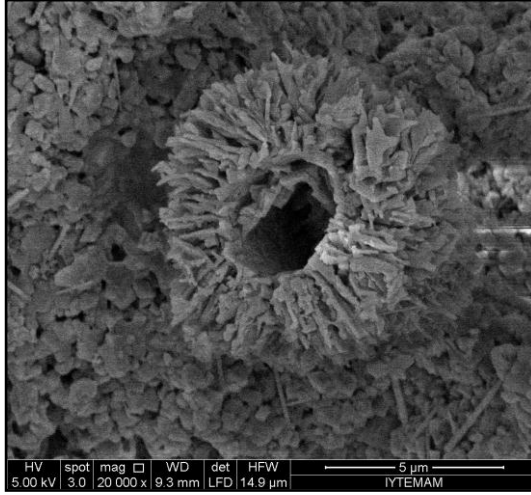
(20.000 x)



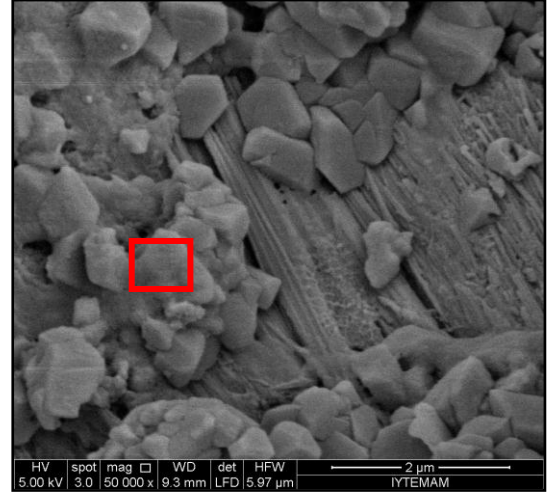
Şekil Ek.2.47. LH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.47. LH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

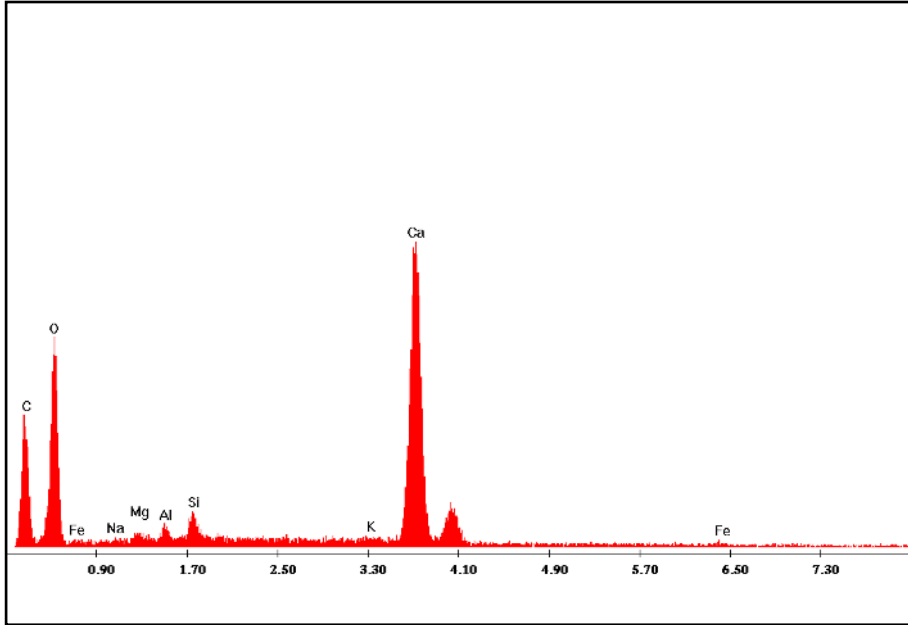
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	15.65	38.77	0.66	0.43	1.25	5.35	0.67	35.93	1.31



(20.000 x)



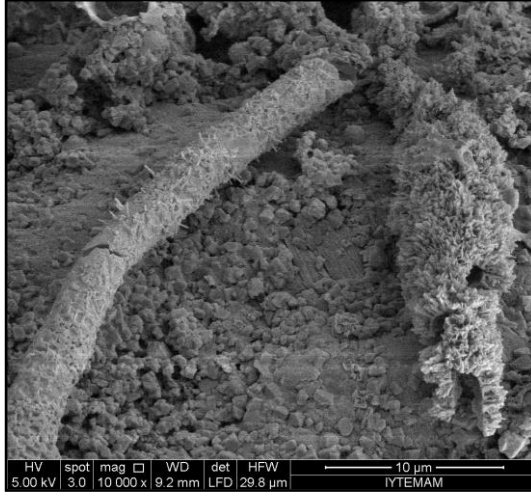
(50.000 x)



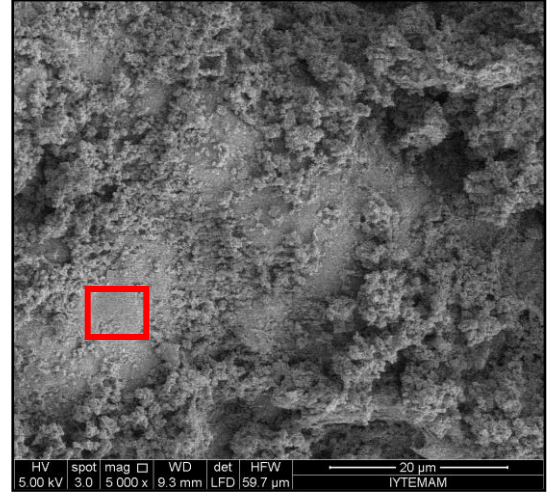
Şekil Ek.2.48. LH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.48. LH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

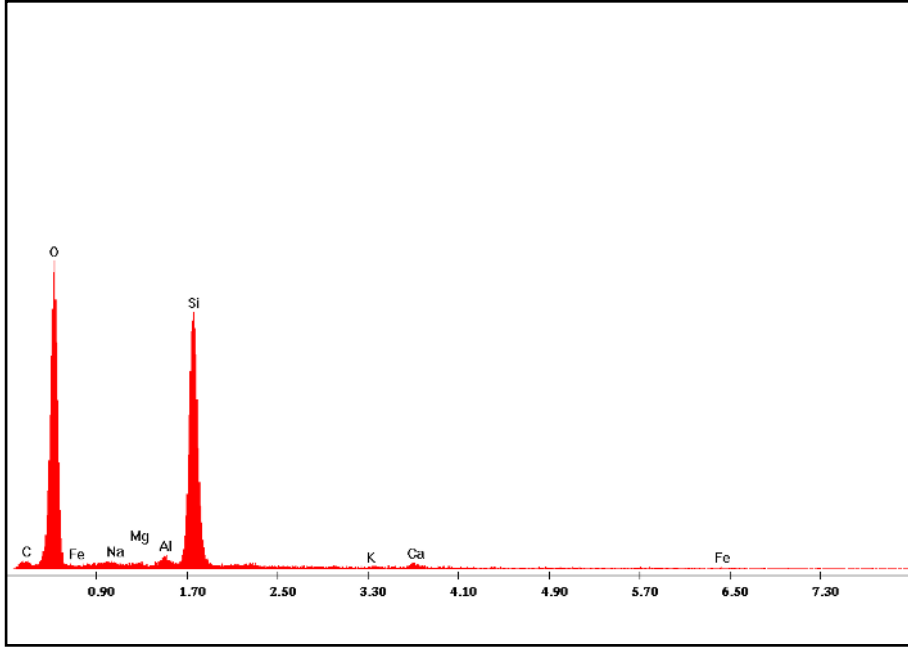
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.83	30.78	0.22	0.53	0.88	1.58	0.71	47.63	2.85



(10.000 x)



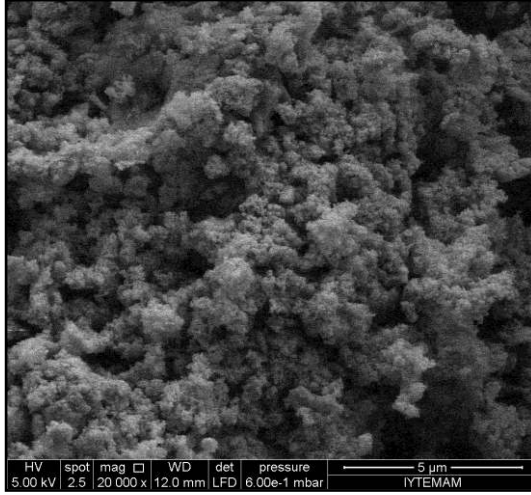
(5.000 x)



Şekil Ek.2.49. LH3 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.49. LH3 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

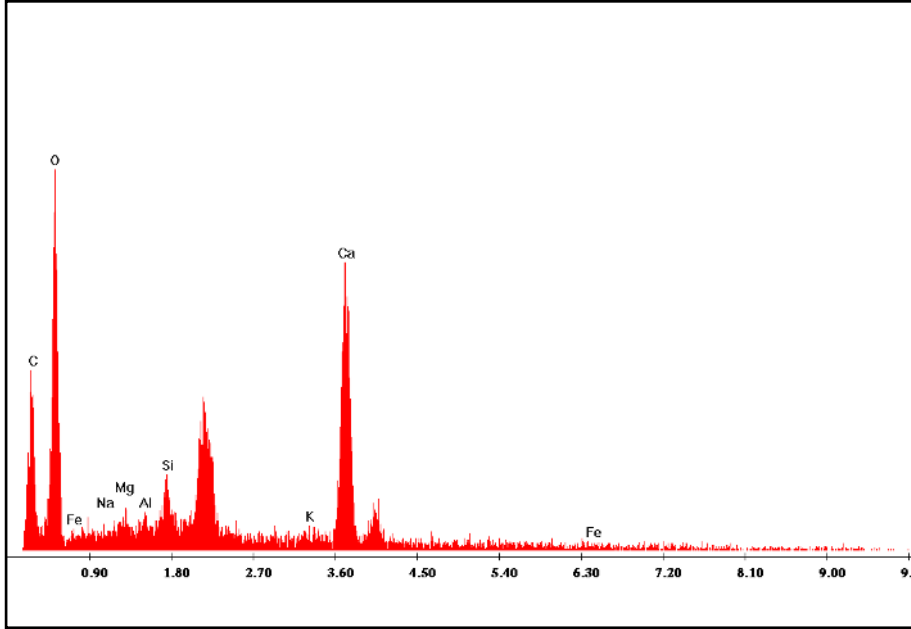
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	5.85	51.46	0.89	0.59	1.47	36.89	0.36	1.73	0.75



(20.000 x)



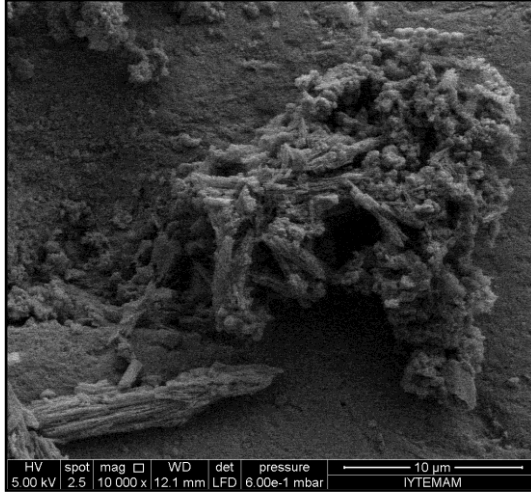
(50.000 x)



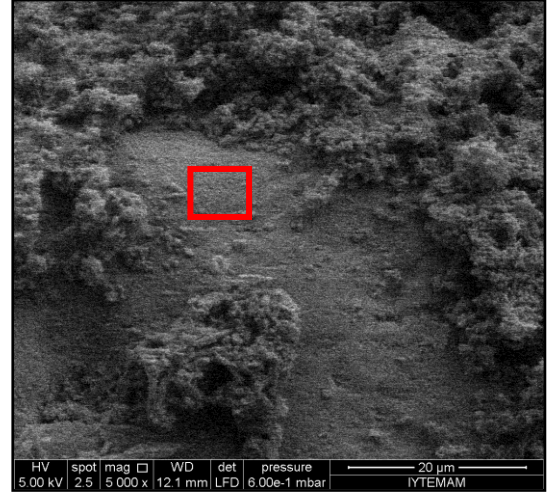
Şekil Ek.2.50. LH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.50. LH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

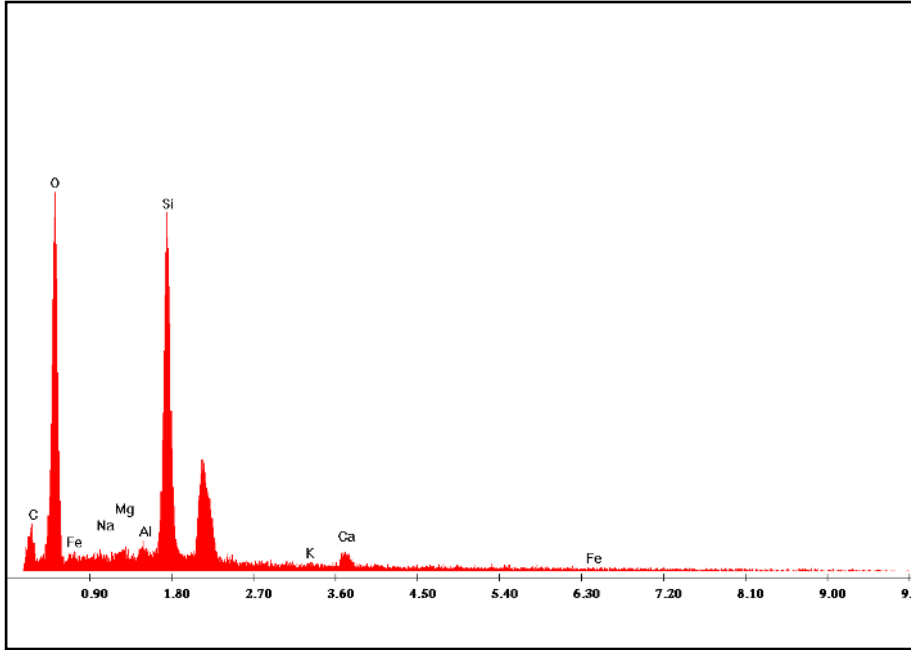
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	13.89	30.8	0.21	0.73	0.65	2.37	0.89	43.15	7.31



(10.000 x)



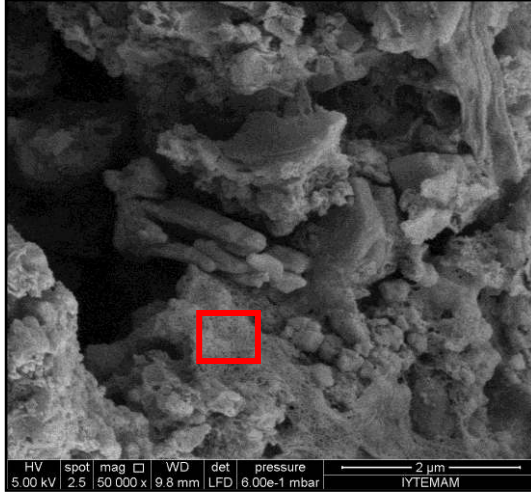
(5.000 x)



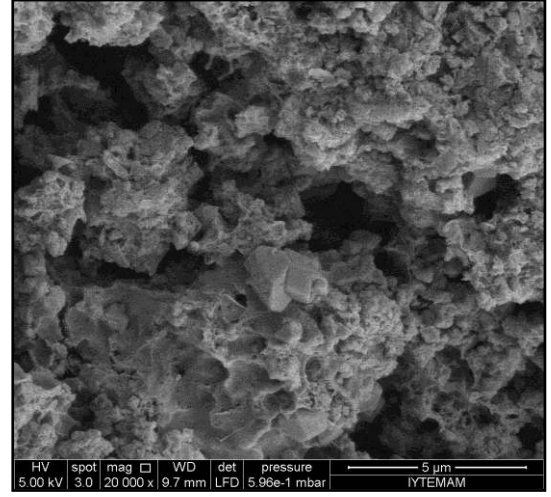
Şekil Ek.2.51. LH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.51. LH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

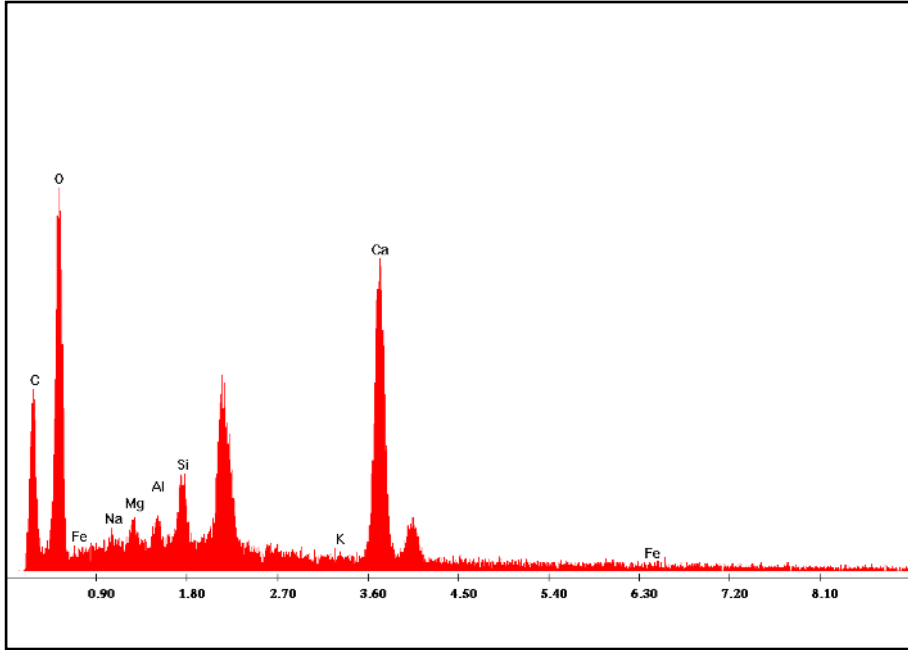
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	12.76	38.51	1.42	1.71	2.14	33.43	0.75	4.96	4.32



(50.000 x)



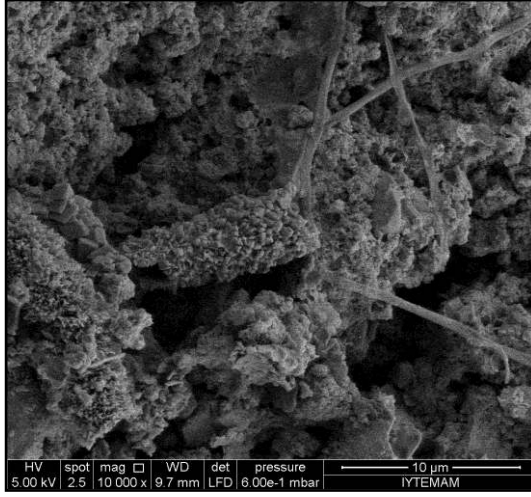
(20.000 x)



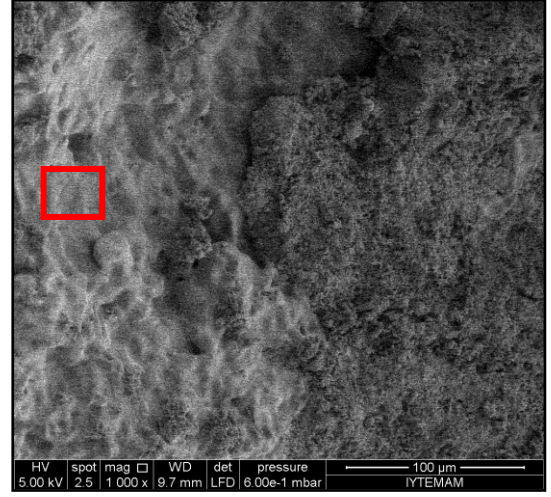
Şekil Ek.2.52. LH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.52. LH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

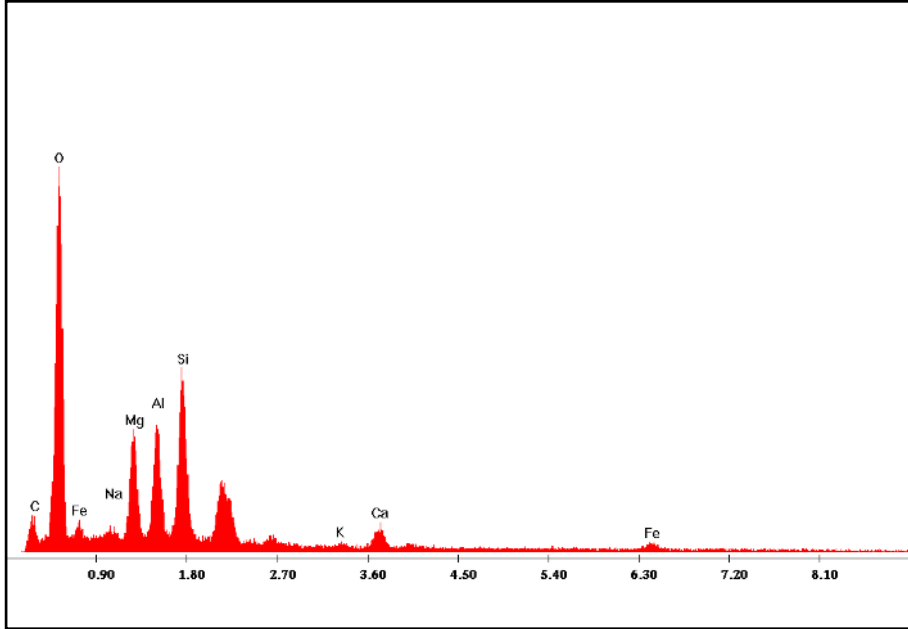
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	17.14	35.75	1.65	1.96	2.2	4.06	0.49	34.57	2.17



(10.000 x)



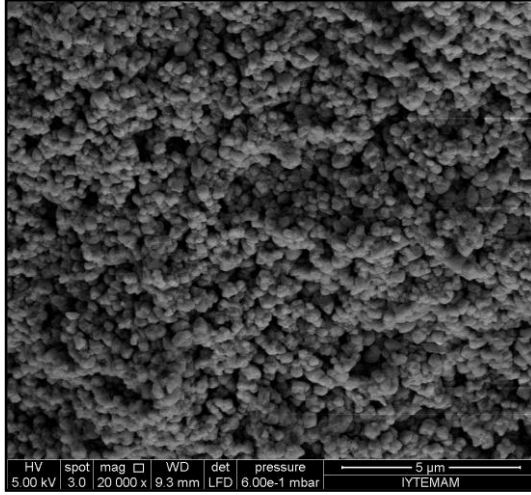
(1.000 x)



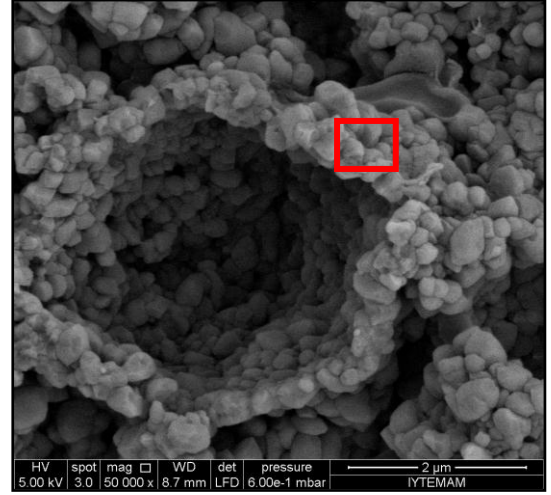
Şekil Ek.2.53. LH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.53. LH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

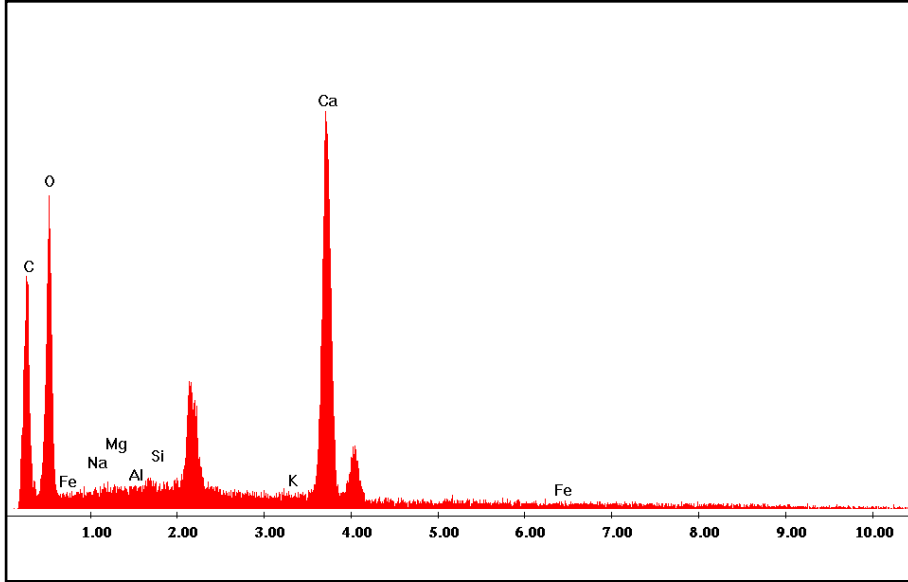
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	11.26	39.06	2.04	8.87	10.42	14.99	0.73	4.54	8.09



(20.000 x)



(50.000 x)



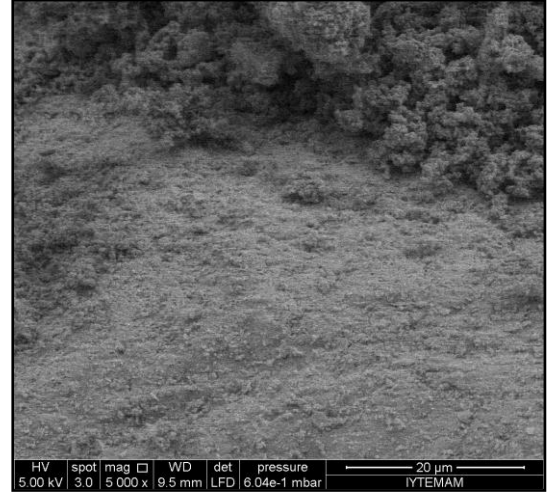
Şekil Ek.2.54. LH6 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.54. LH6 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

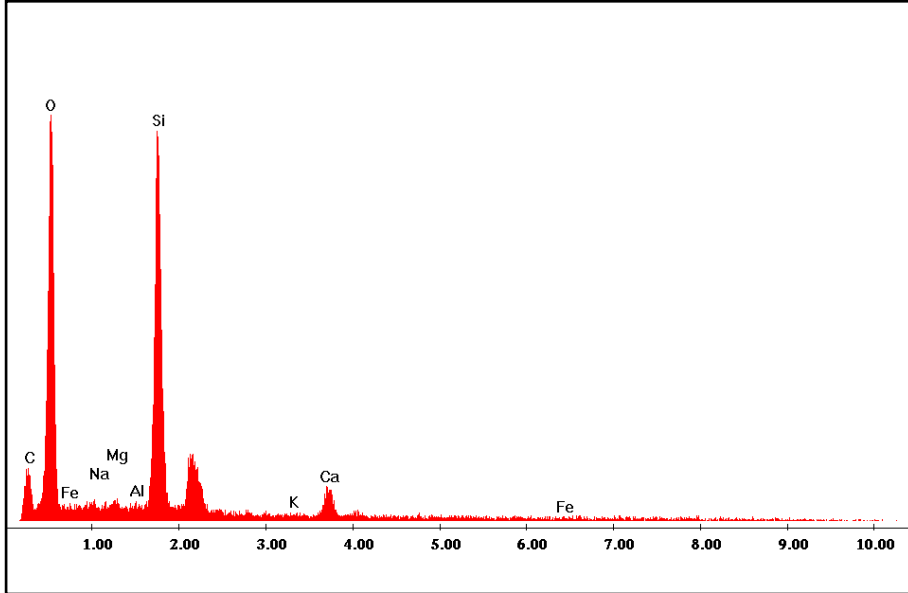
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	18.38	33.08	0.64	0.58	0.64	0.57	0.36	44.41	1.34



(10.000 x)



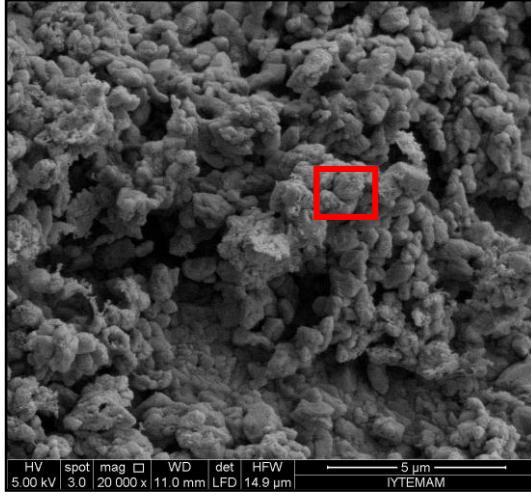
(5.000 x)



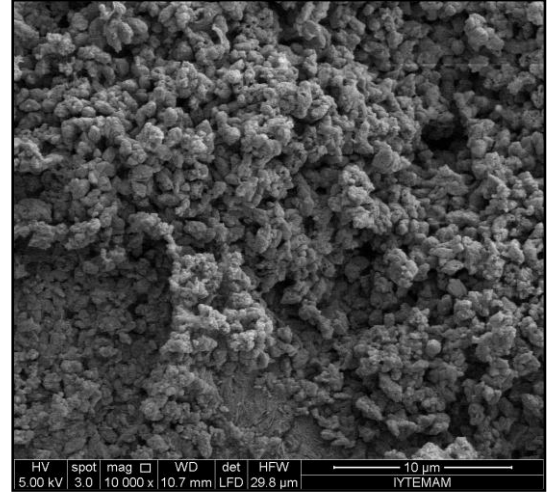
Şekil Ek.2.55. LH6 harcı agregası SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.55. LH6 harcı agregası EDX analiz sonuçları

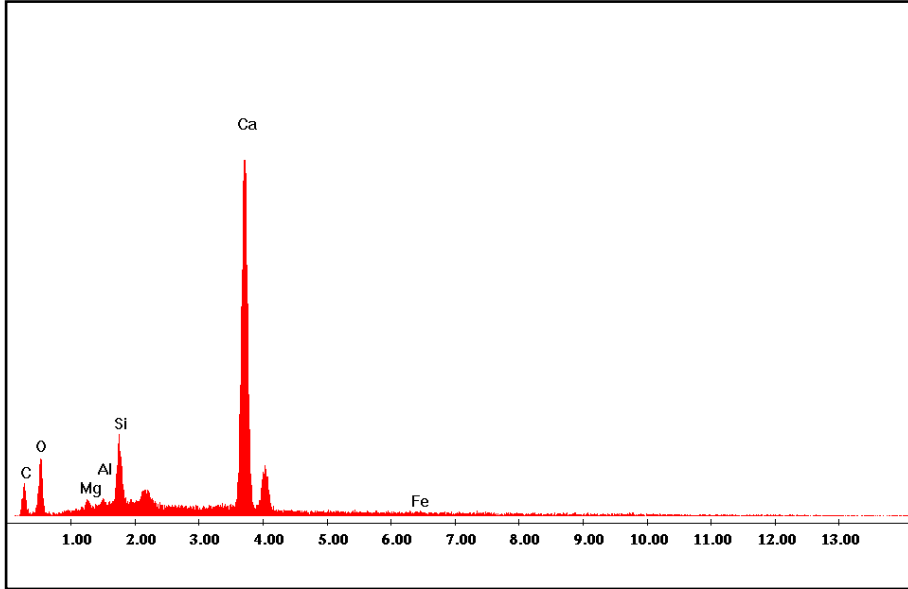
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	15.66	46.17	0.27	0.61	0.35	29.21	0.18	6.31	1.23



(20.000 x)



(10.000 x)

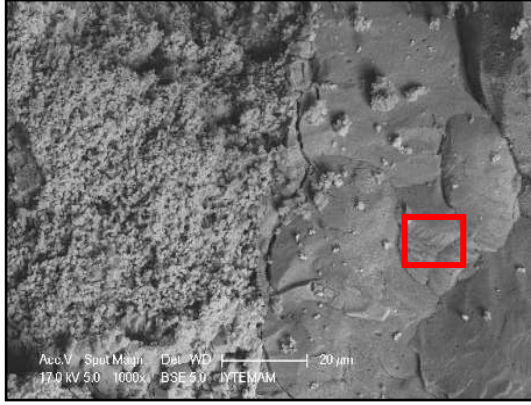


Şekil Ek.2.56. TDH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

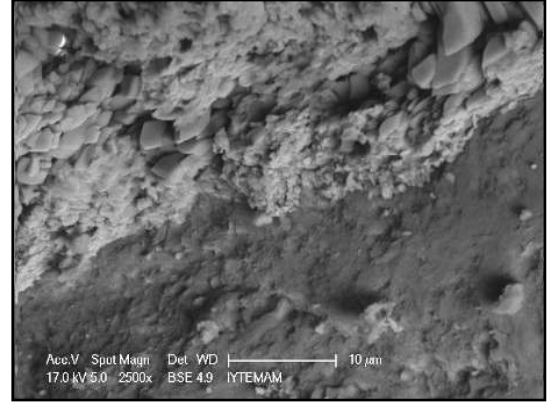
Çizelge Ek.2.56. TDH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	9.18	23.9	0.77	0.51	5.25	59.48	0.92

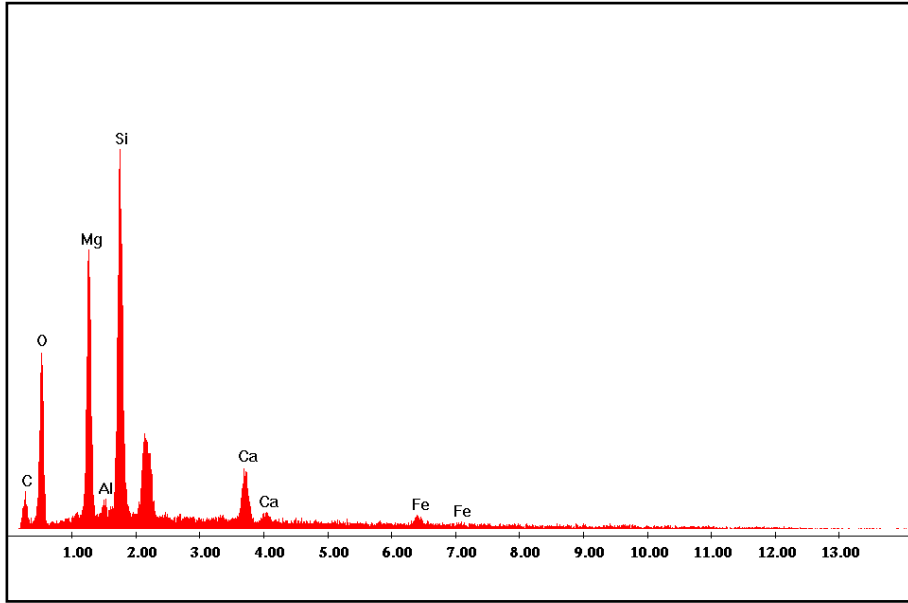
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.33	0.99	11.6	84.75	1.33



(1.000 x)



(2.500 x)

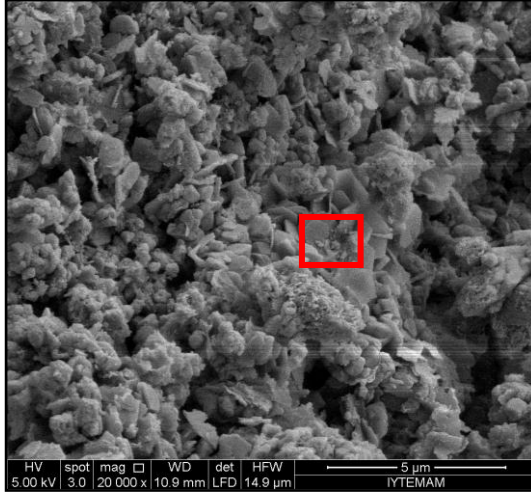


Şekil Ek.2.57. TDH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

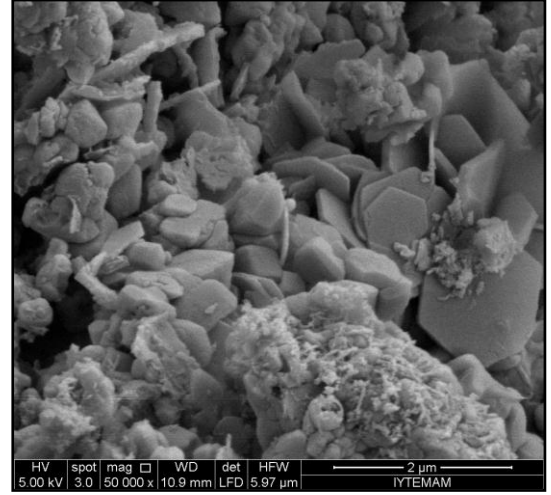
Çizelge Ek.2.57. TDH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	17.6	28.28	17.05	1.44	24.67	6.89	4.07

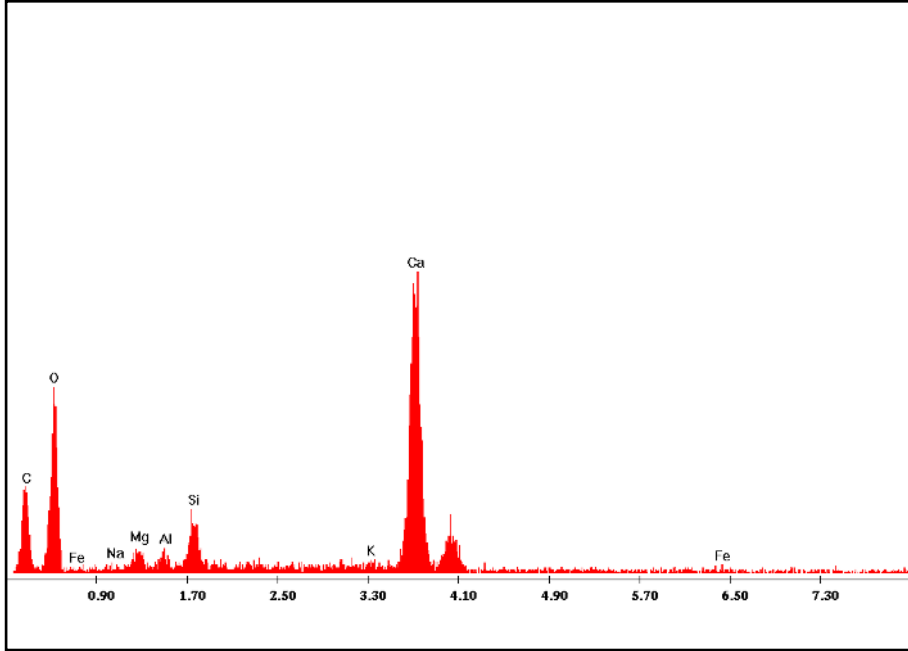
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	29.23	2.77	52.96	9.4	5.65



(20.000 x)



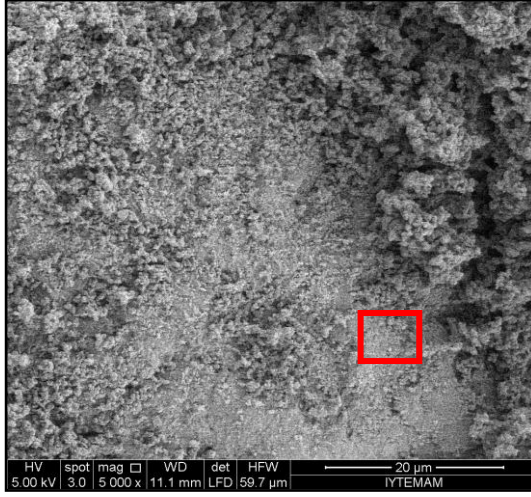
(50.000 x)



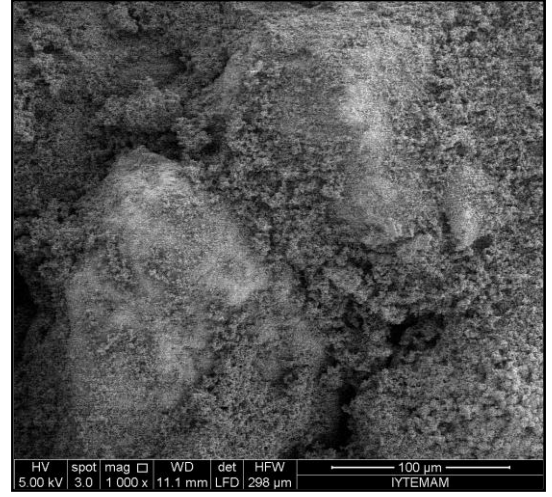
Şekil Ek.2.58. TDH2 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.58. TDH2 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

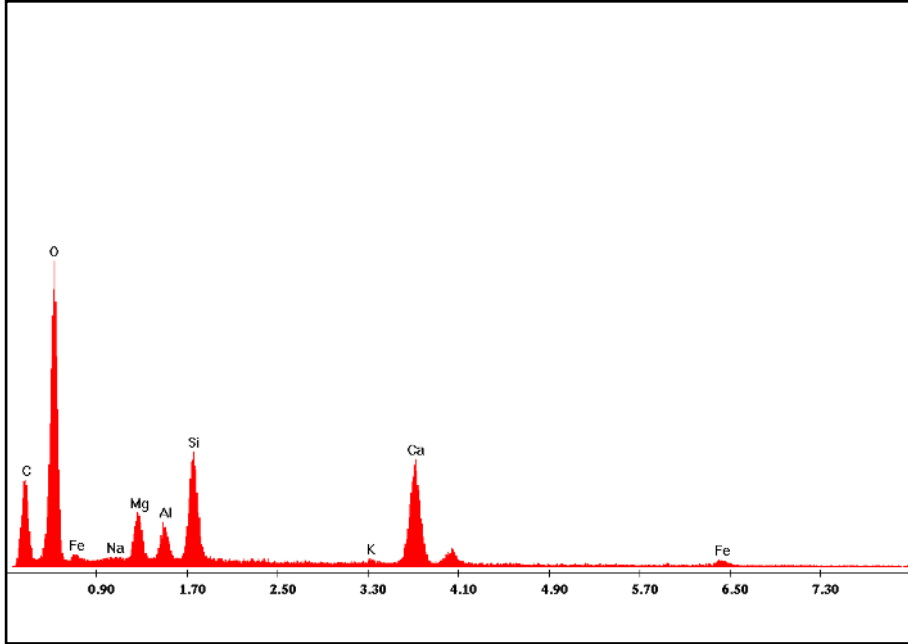
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	12.02	28.18	0.34	1.37	1.18	3.39	0.94	49.81	2.78



(5.000 x)



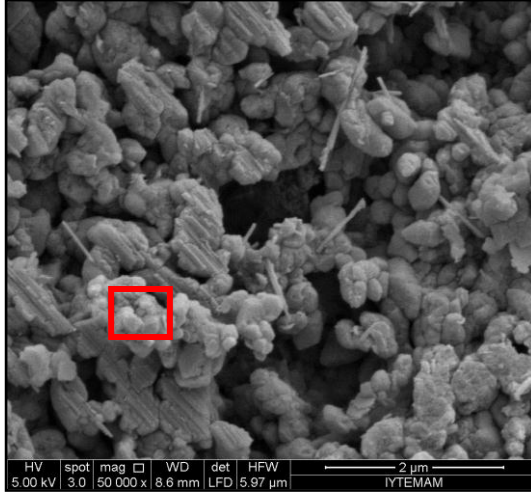
(1.000 x)



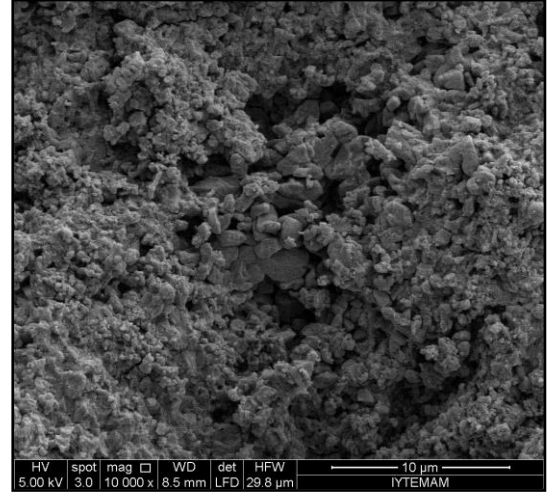
Şekil Ek.2.59. TDH2 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.59. TDH2 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

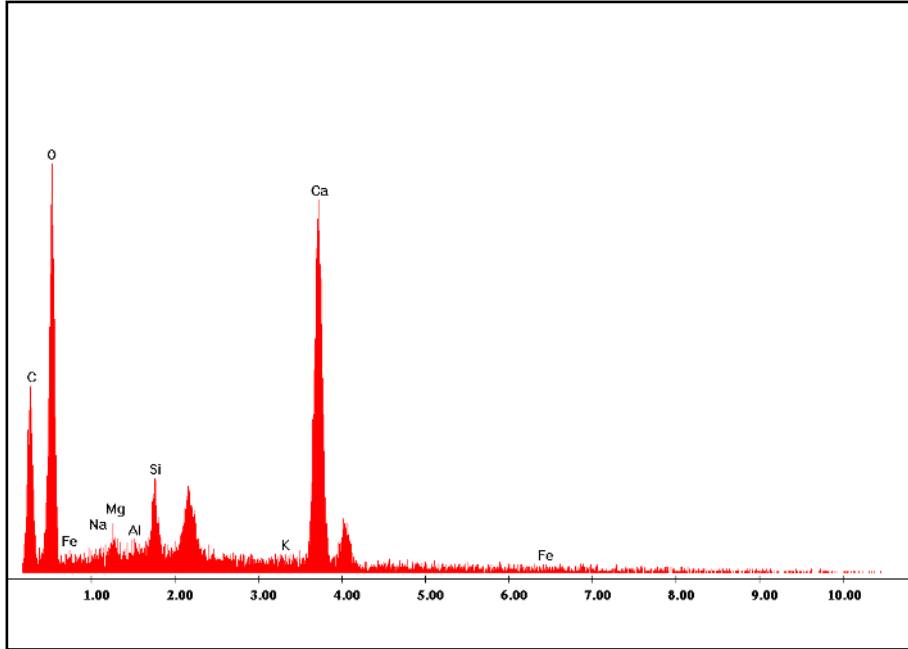
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	17.97	39.51	0.3	3.57	2.77	8.53	0.67	20.85	5.83



(50.000 x)



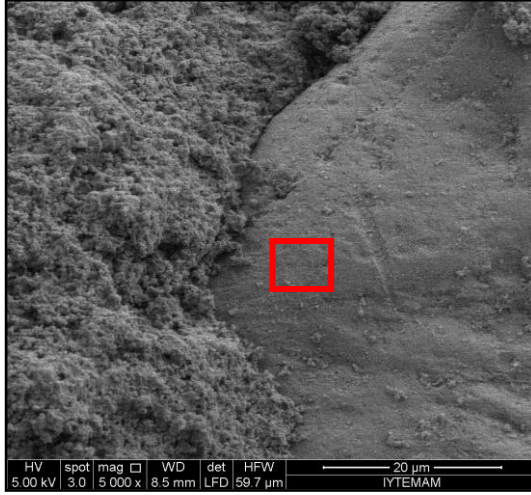
(10.000 x)



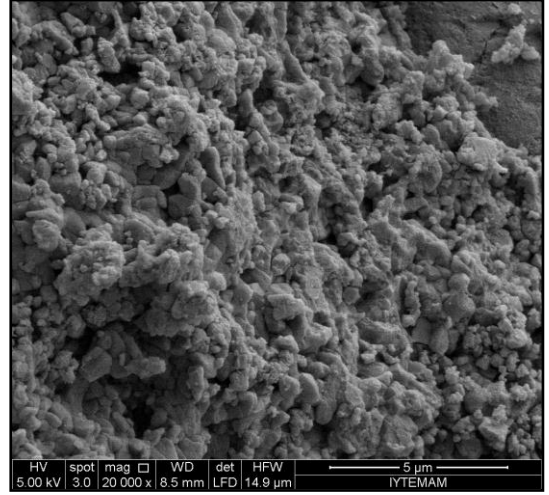
Şekil Ek.2.60. TDH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.60. TDH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

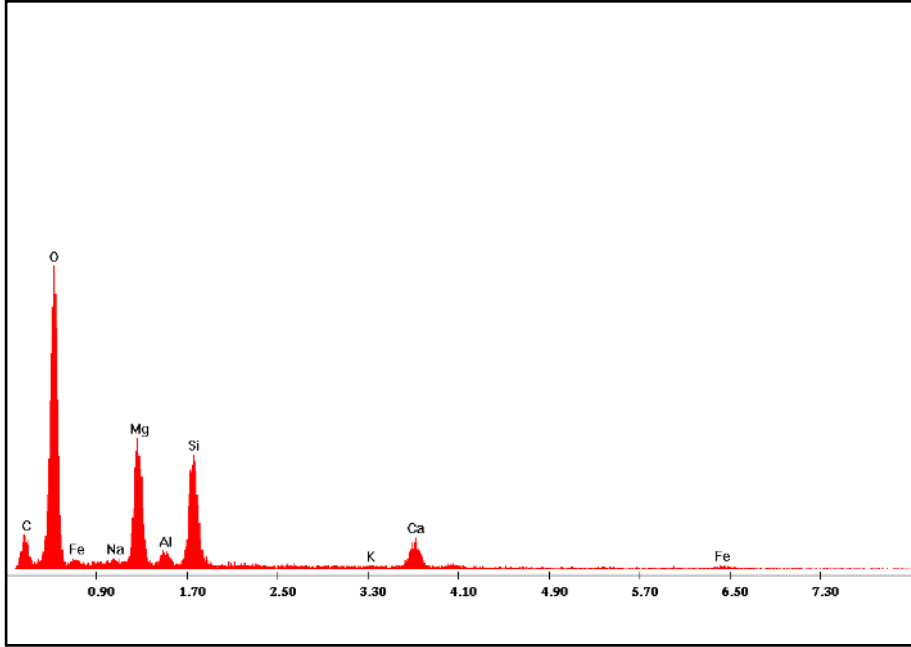
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	15.32	35.33	0.19	0.69	0.49	2.44	0.41	43.95	1.2



(5.000 x)



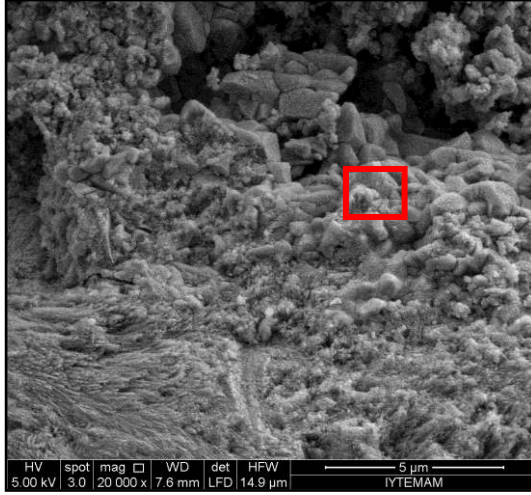
(20.000 x)



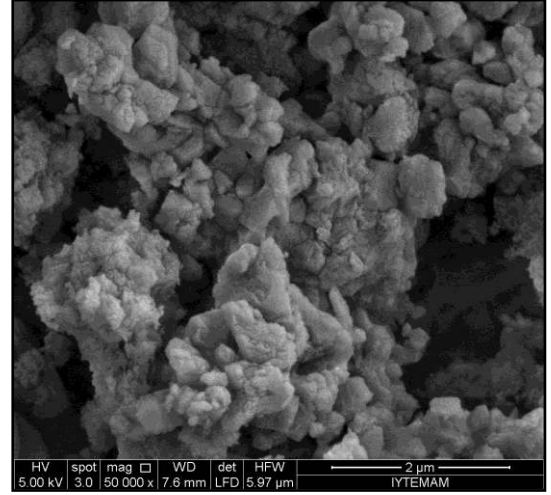
Şekil Ek.2.61. TDH3 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.61. TDH3 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

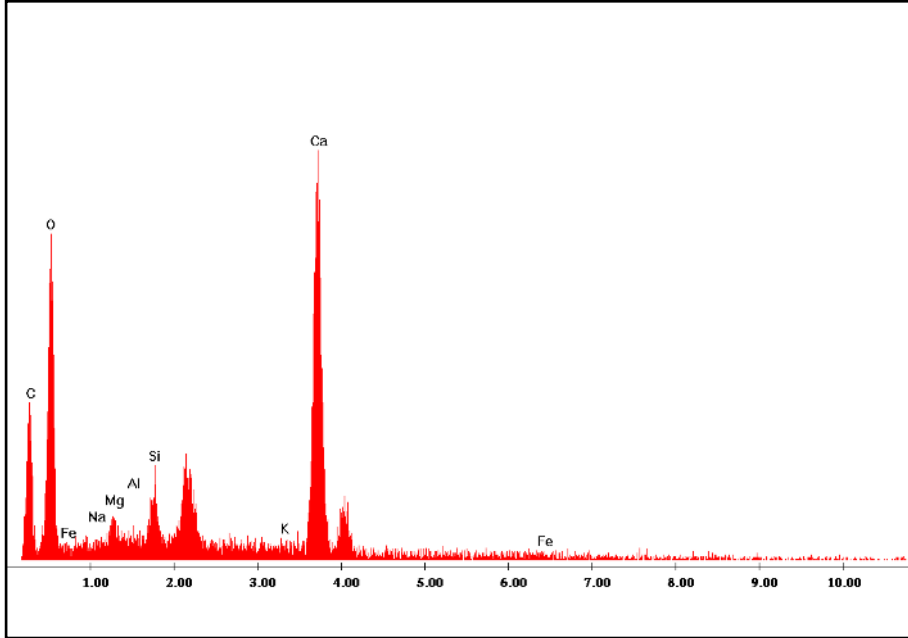
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	13.01	45.53	1.08	12.98	2.02	13.41	0.43	8.01	3.54



(20.000 x)



(50.000 x)



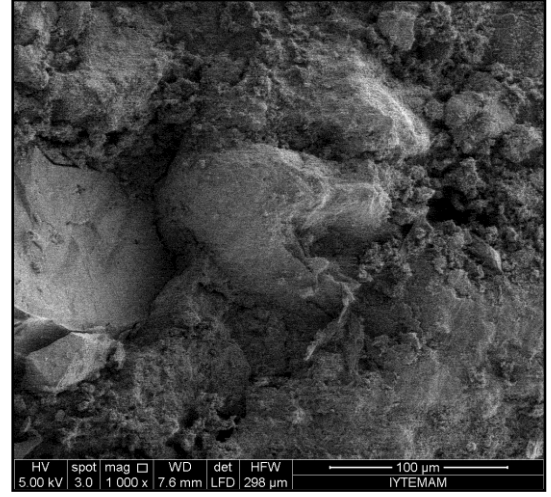
Şekil Ek.2.62. TDH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.62. TDH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

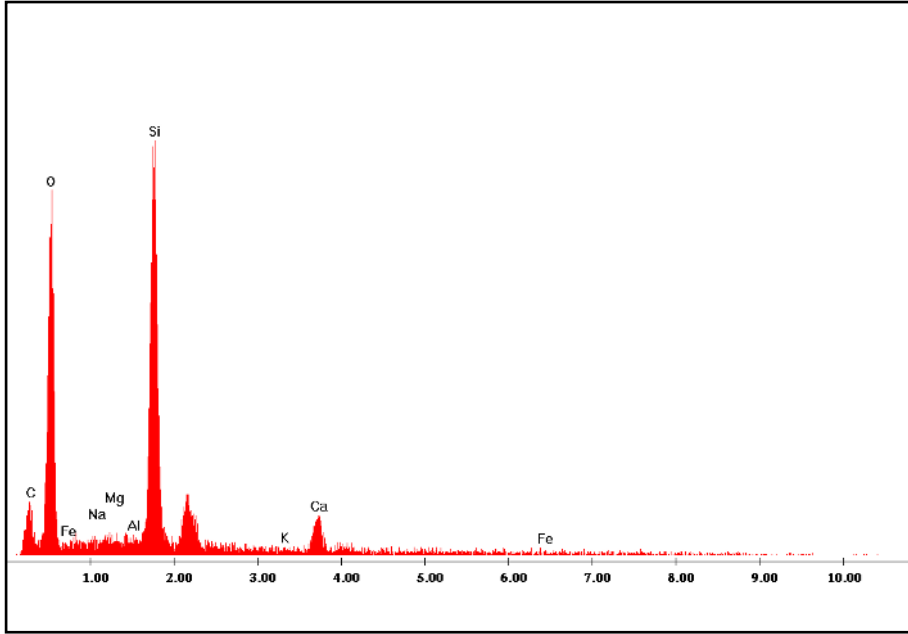
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.12	32.64	0.52	1.46	0.61	2.65	1.02	43.33	3.66



(5.000 x)



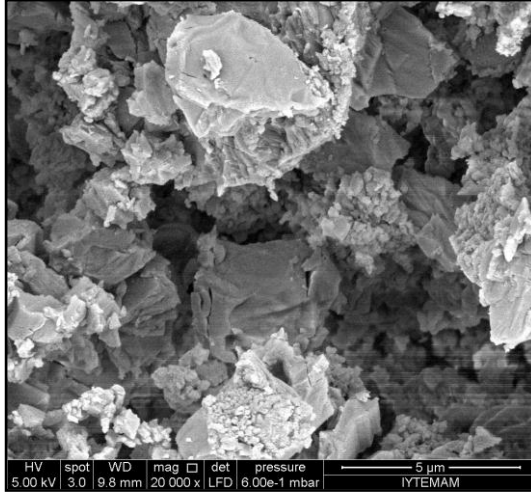
(1.000 x)



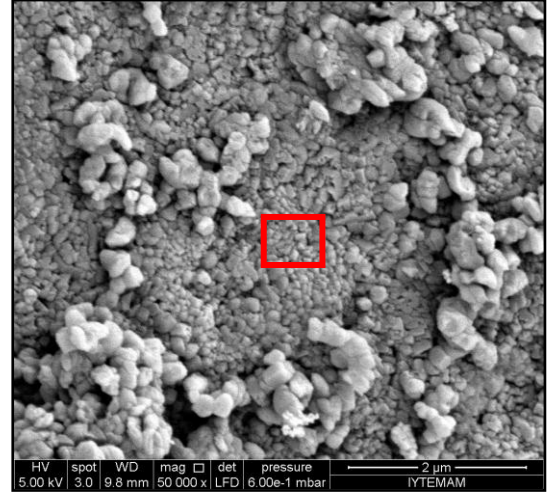
Şekil Ek.2.63. TDH4 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.63. TDH4 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

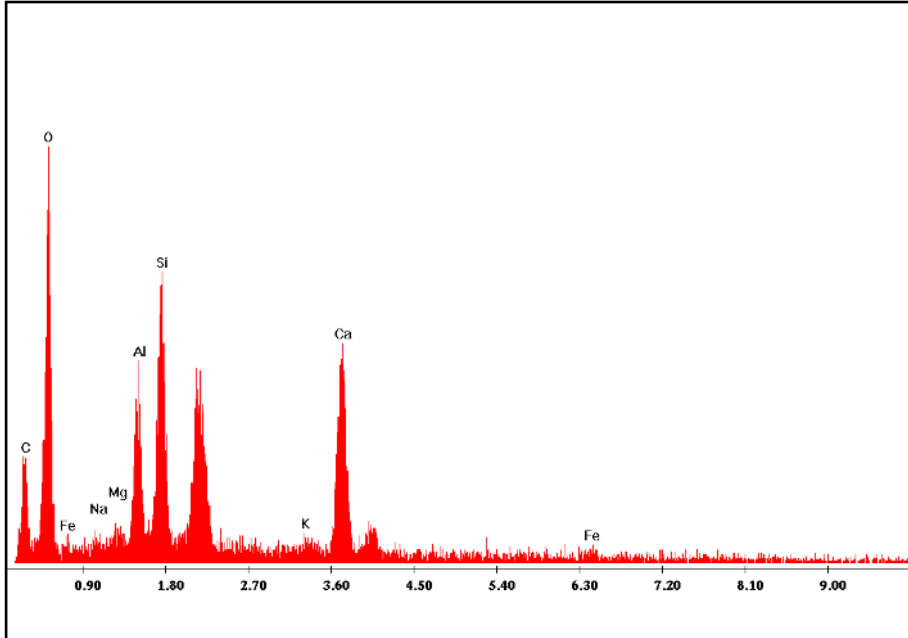
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	16.26	40.05	1.03	0.92	0.9	30.63	0.41	7.58	2.21



(20.000 x)



(50.000 x)

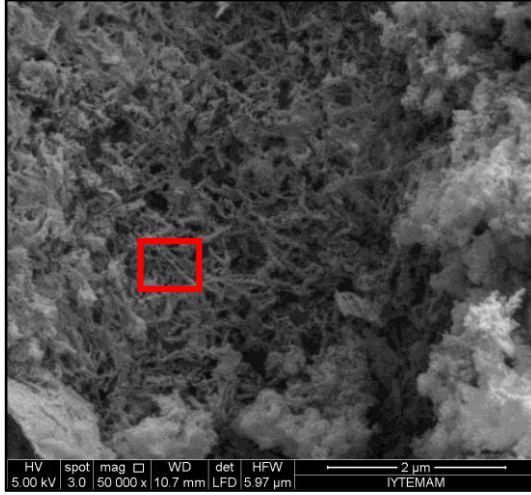


Şekil Ek.2.64. KH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

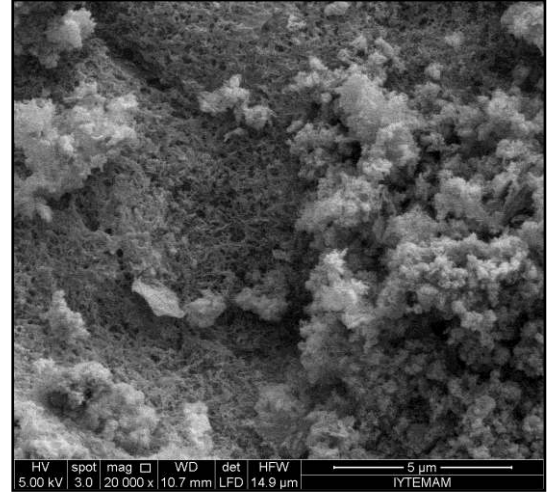
Çizelge Ek.2.64. KH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.49	31.4	1.08	1.11	7.29	12.26	1.37	24.86	6.15

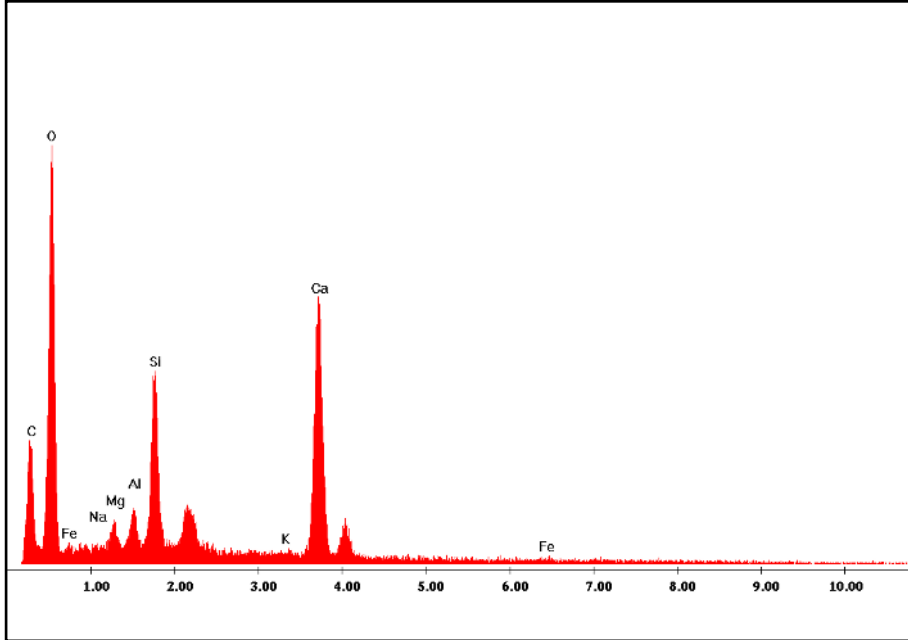
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.69	2.11	15.7	29.83	1.85	39	9.83



(50.000 x)



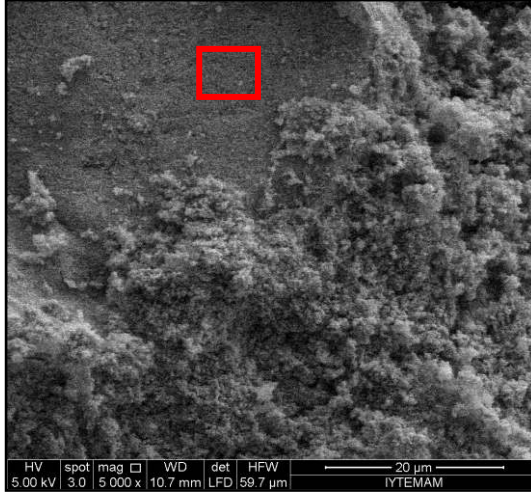
(20.000 x)



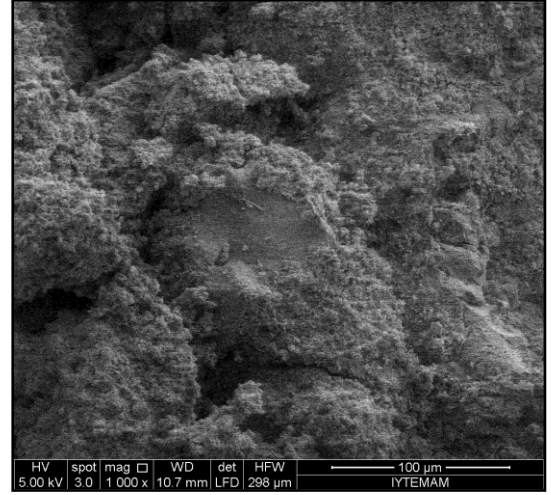
Şekil Ek.2.65. TH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.65. TH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

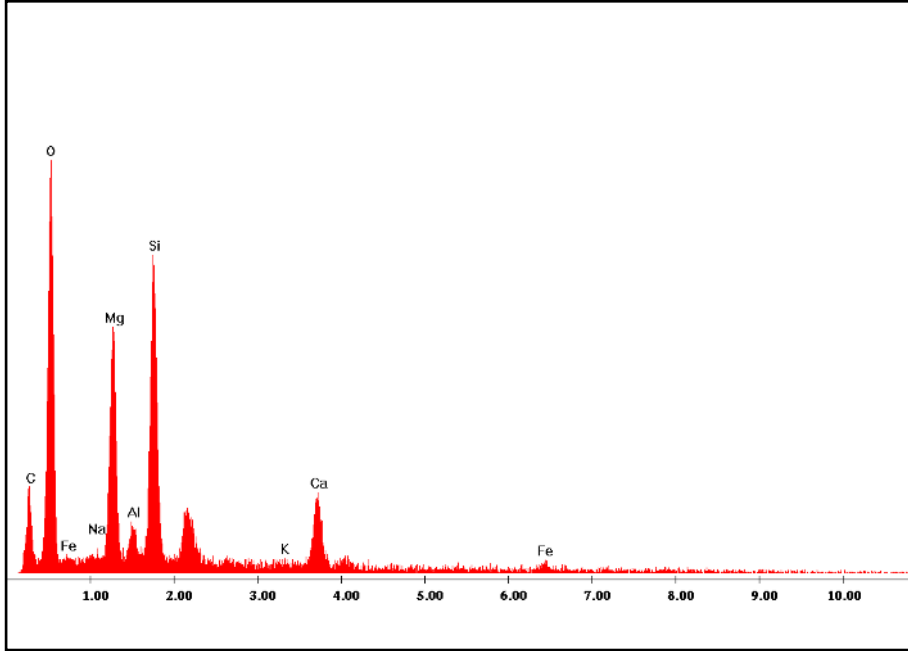
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.88	38.08	0.81	1.55	2.25	8.51	0.54	31.13	2.26



(5.000 x)



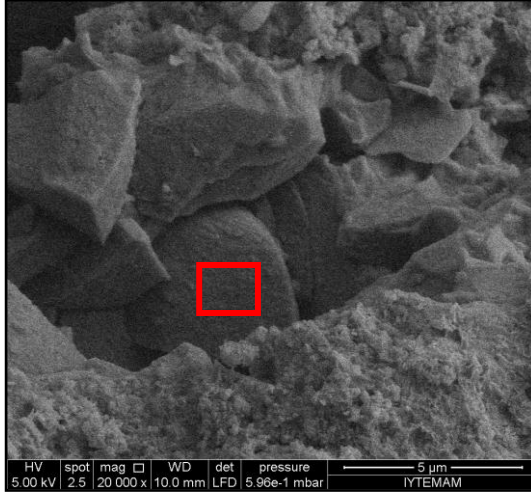
(1.000 x)



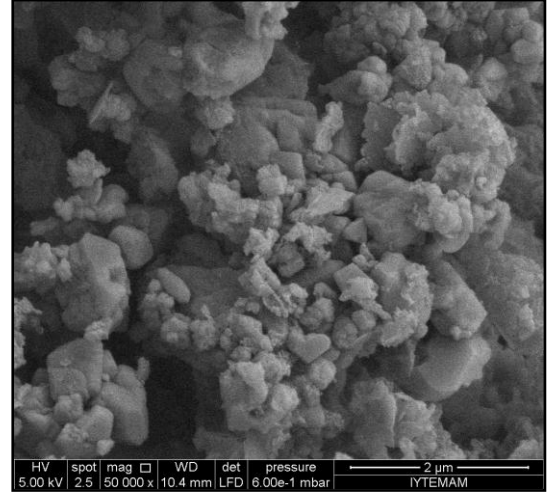
Şekil Ek.2.66. TH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.66. TH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

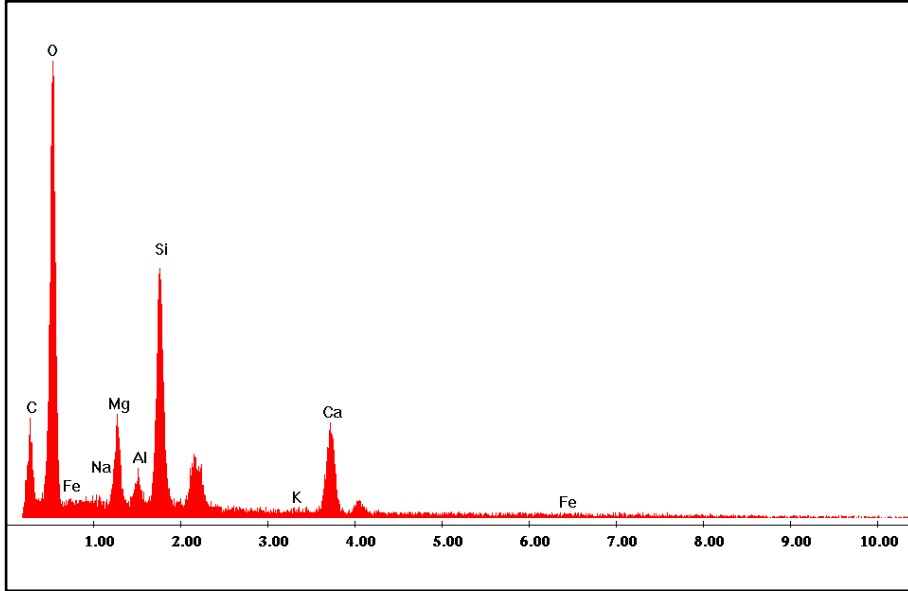
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	16.16	33.33	0.63	11.92	2.2	17.07	0.92	10.9	6.87



(20.000 x)



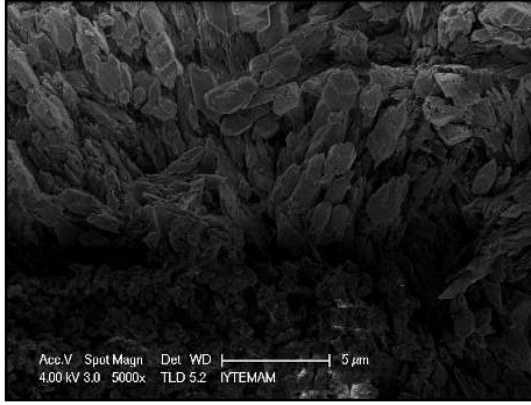
(50.000 x)



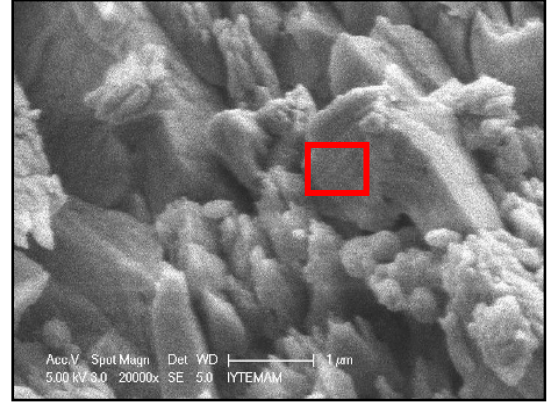
Şekil Ek.2.67. TH2 harcı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.67. TH2 harcı EDX analiz sonuçları

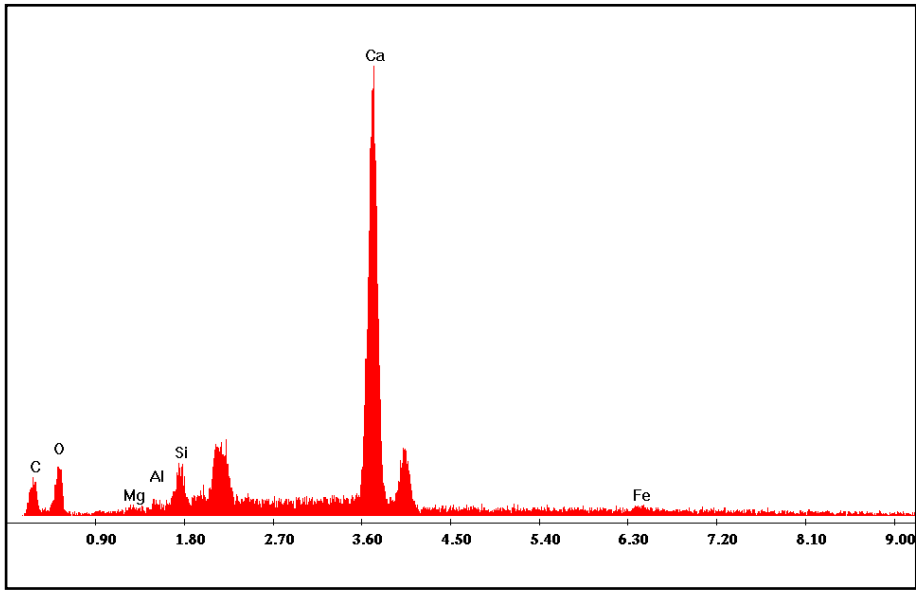
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	17.38	42.39	0.96	5.05	2.08	15.03	0.51	14.51	2.08



(5.000 x)



(20.000 x)

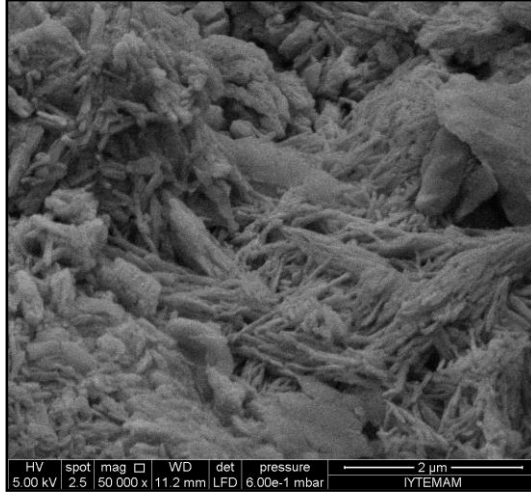


Şekil Ek.2.68. TH3 harcı SEM/ EDX görüntüleri

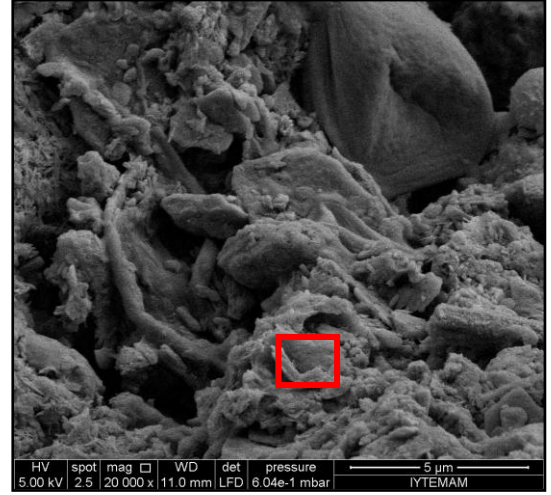
Çizelge Ek.2.68. TH3 harcı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	9.85	21.17	0	0	2.75	62.11	4.12

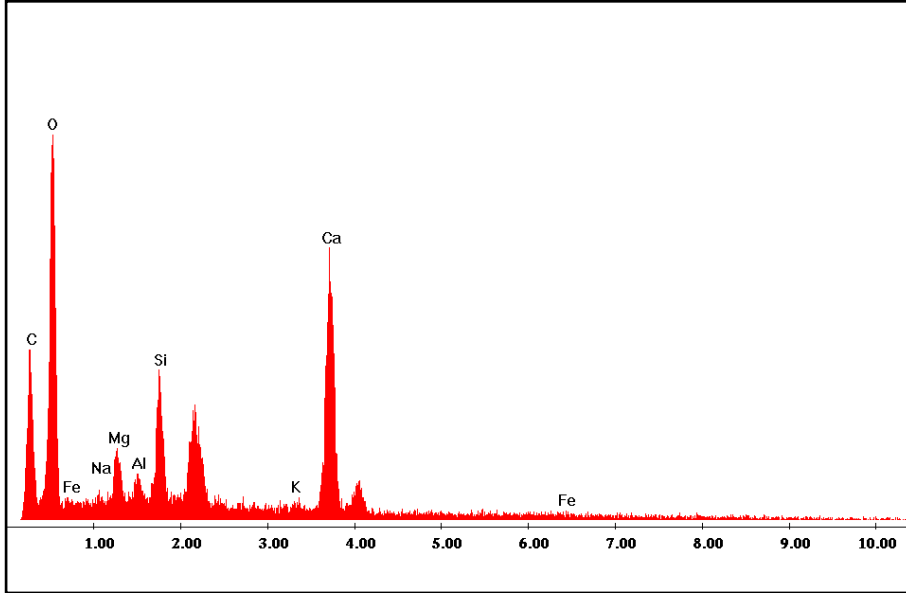
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	0	0	6.06	87.99	5.95



(50.000 x)



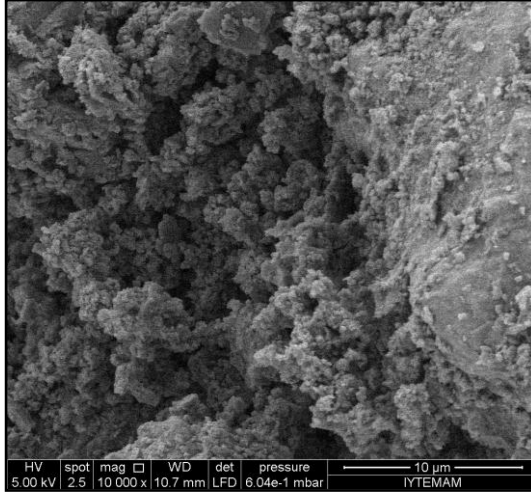
(20.000 x)



Şekil Ek.2.69. TH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.69. TH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

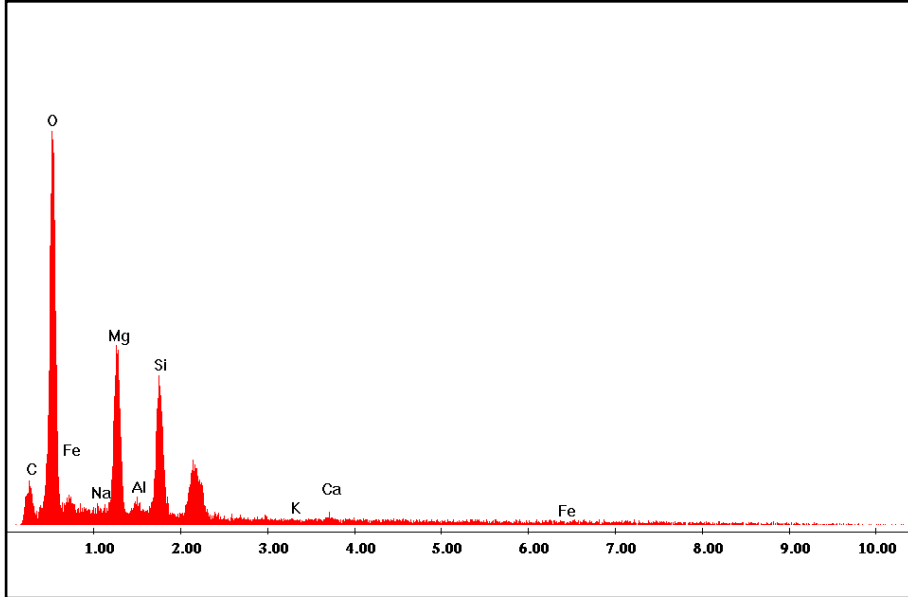
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	18.27	36.12	1.16	2.88	1.93	6.11	1.07	29.57	2.88



(10.000 x)



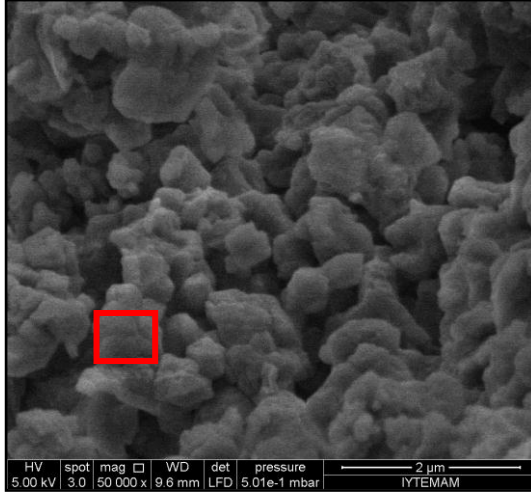
(5.000 x)



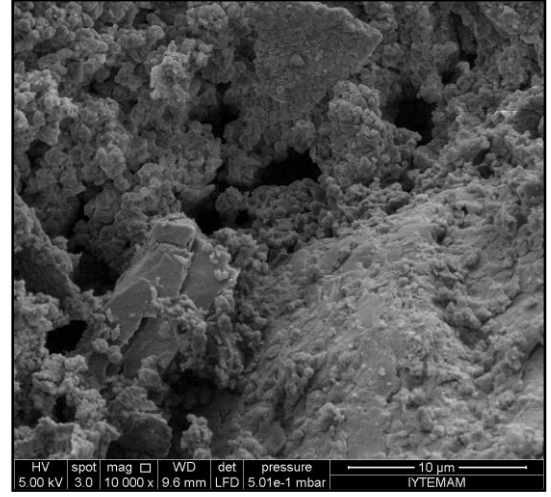
Şekil Ek.2.70. TH4 harcı agregası kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.70. TH4 harcı agregası kısmı EDX analiz sonuçları

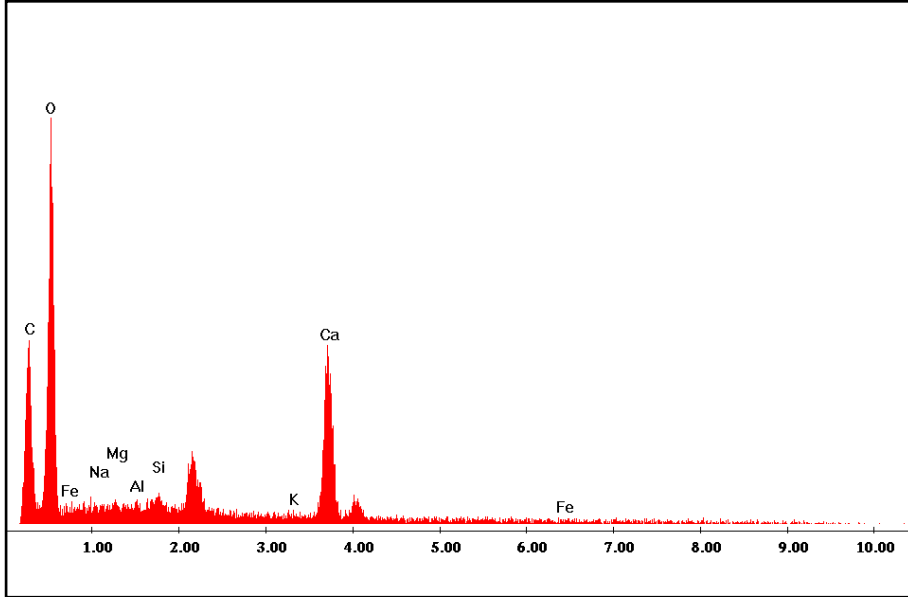
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	15.88	46.12	1.69	16.03	2.37	15.04	0	1.07	1.79



(50.000 x)



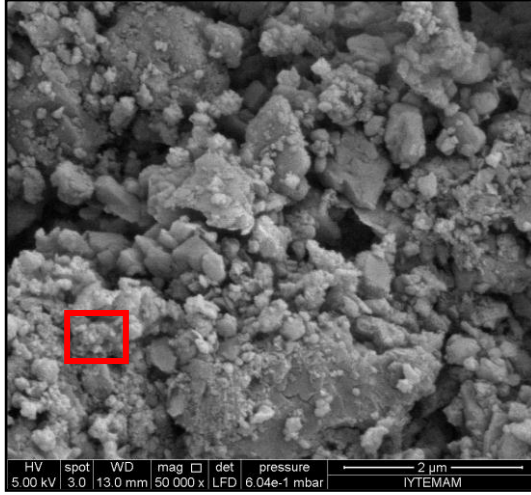
(10.000 x)



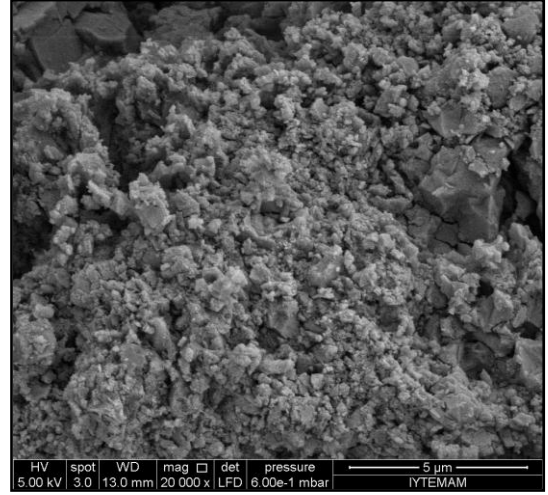
Şekil Ek.2.71. TH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.71. TH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

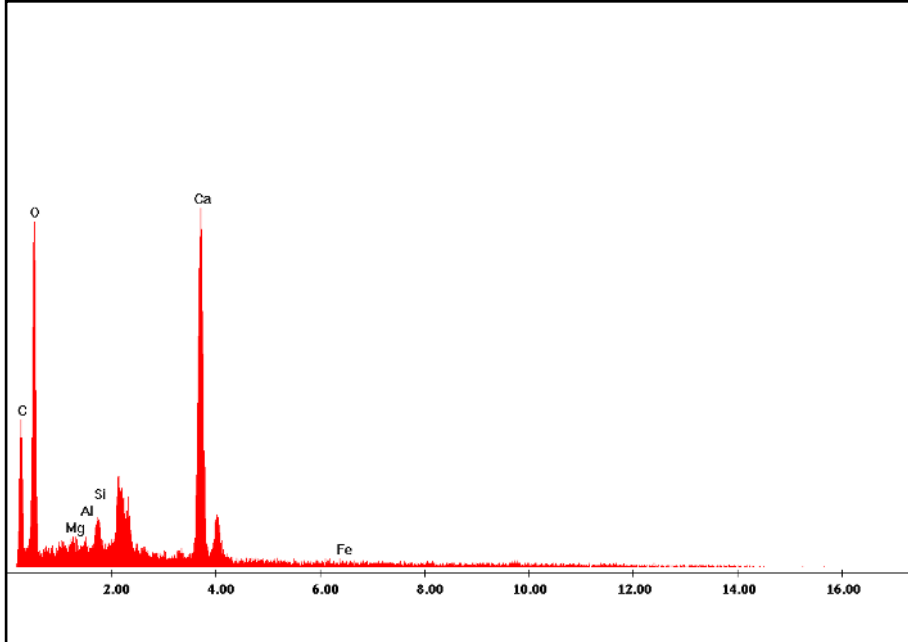
Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	22.17	45.04	0.88	0.87	0.77	1.04	0.39	26.89	1.97



(50.000 x)



(20.000 x)



Şekil Ek.2.72. HH1 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

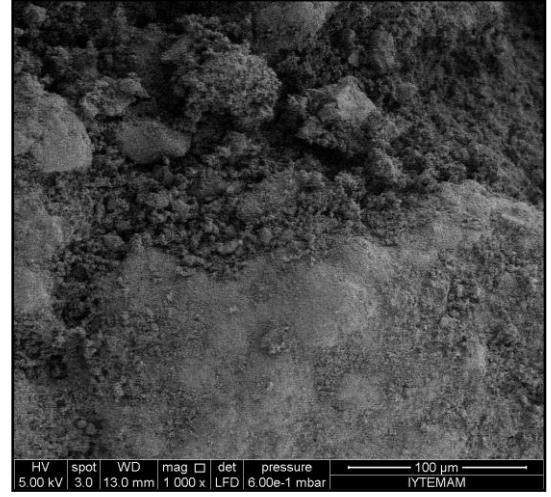
Çizelge Ek.2.72. HH1 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	18.43	47.25	0.72	0.3	1.38	31.08	0.85

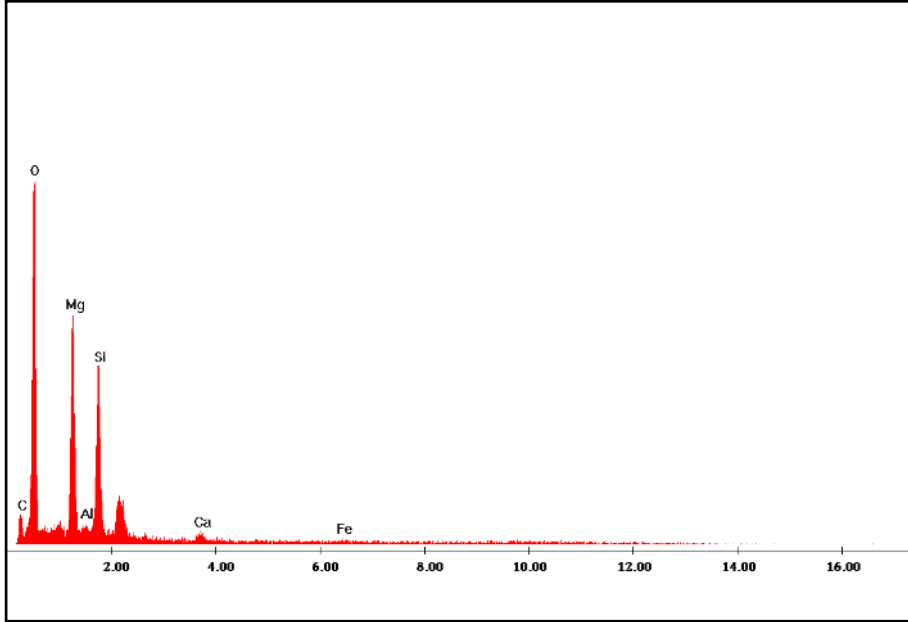
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	2.54	1.21	6.1	87.68	2.47



(5.000 x)



(1.000 x)

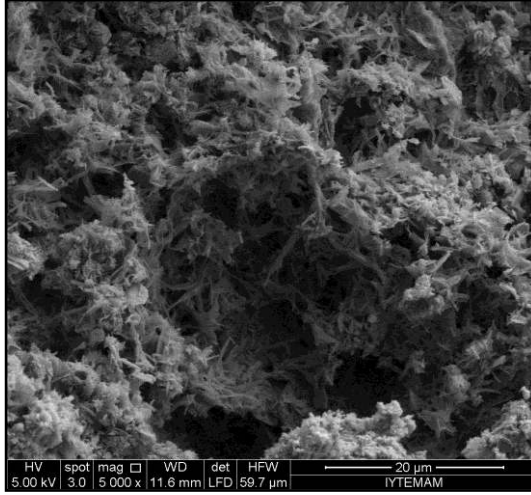


Şekil Ek.2.73. HH1 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.73. HH1 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	13.73	49.8	17.7	0.62	14.63	1.59	1.92

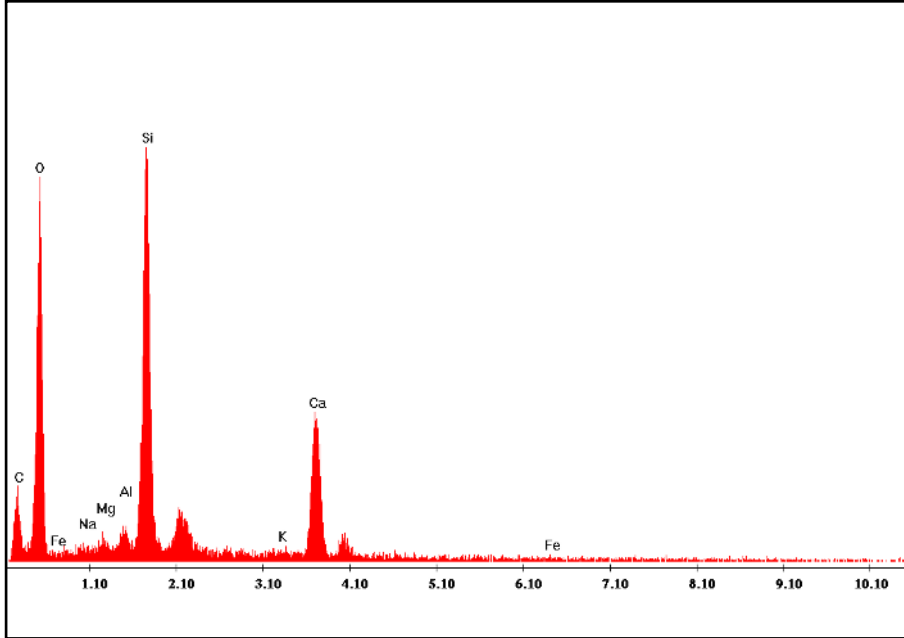
Element	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	42.34	1.85	48.42	3.34	4.06



(5.000 x)



(50.000 x)

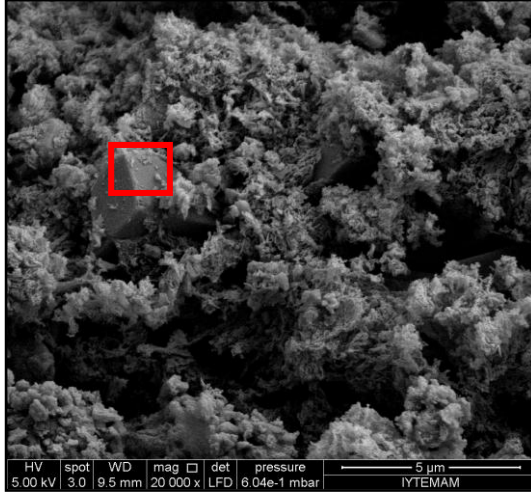


Şekil Ek.2.74. HH2 harcı SEM/ EDX görüntüleri

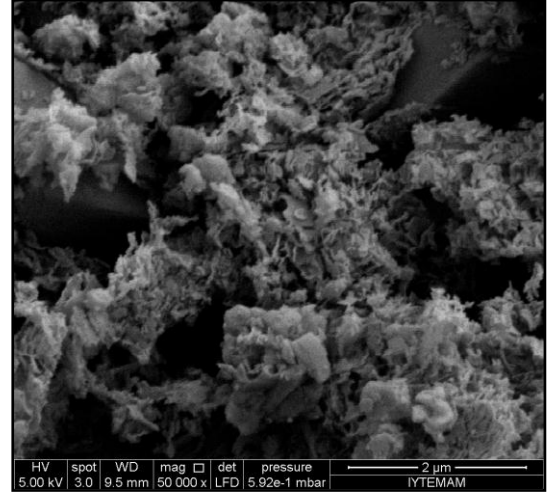
Çizelge Ek.2.74. HH2 harcı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	13.05	36.61	0.63	0.86	1.5	22.74	0.72	21.68	2.21

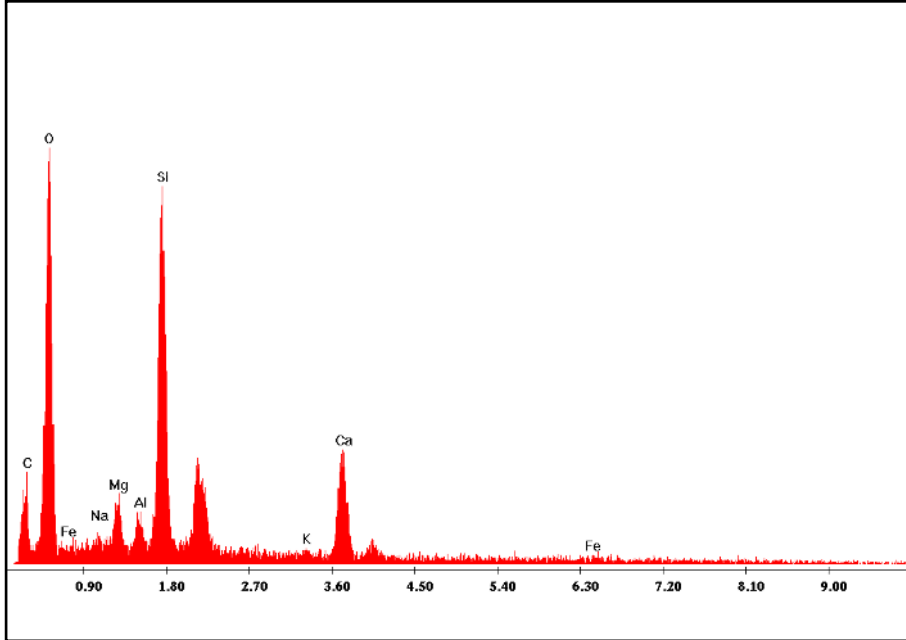
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	0.99	1.63	3.24	55.35	0.98	34.25	3.55



(20.000 x)



(50.000 x)

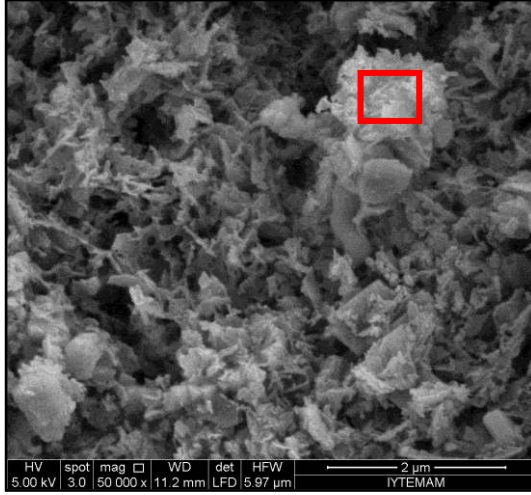


Şekil Ek.2.75. HH3 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

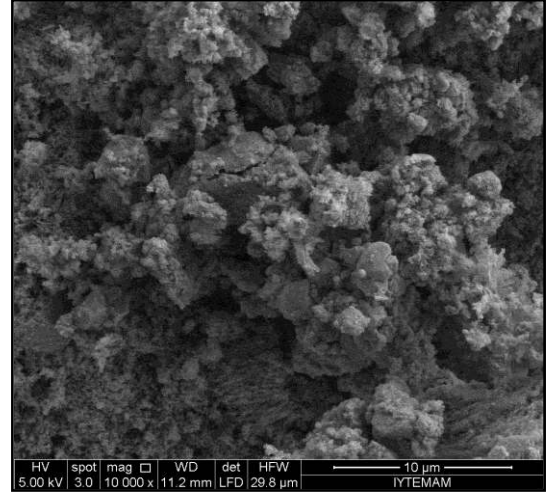
Çizelge Ek.2.75. HH3 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.5	39.07	1.06	2.65	1.75	20.09	0.79	16.24	3.86

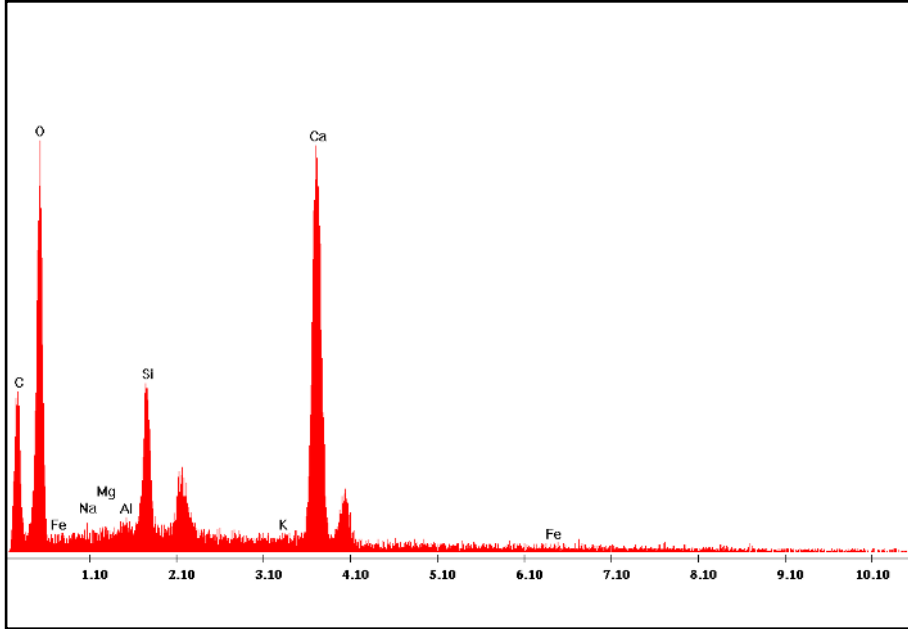
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.79	5.45	4.08	53.02	1.16	27.77	6.72



(50.000 x)



(10.000 x)

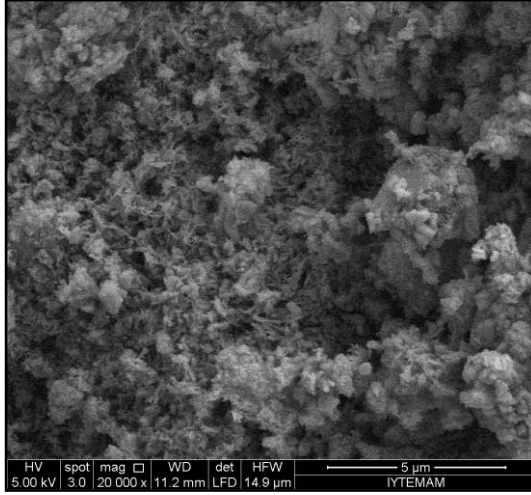


Şekil Ek.2.76. HH4 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

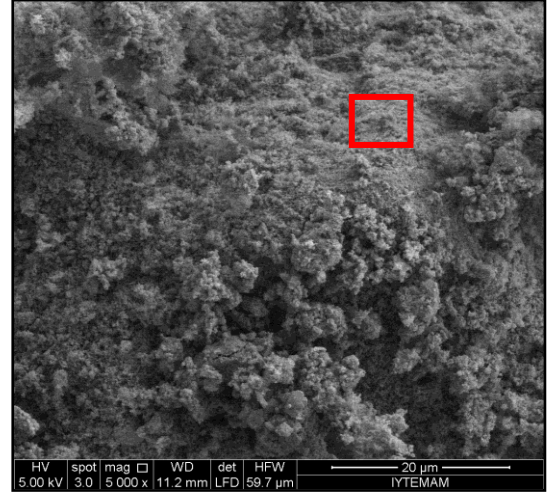
Çizelge Ek.2.76. HH4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	14.23	34.88	0.53	0.52	0.83	6.07	0.63	40.54	1.77

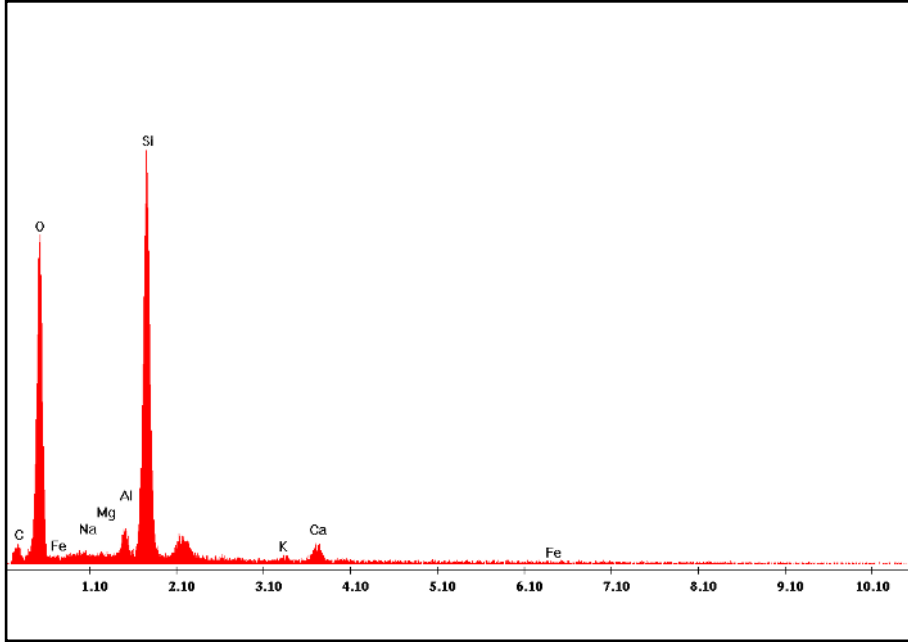
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	0.98	1.16	2.08	17.2	0.99	74.28	3.31



(20.000 x)



(5.000 x)

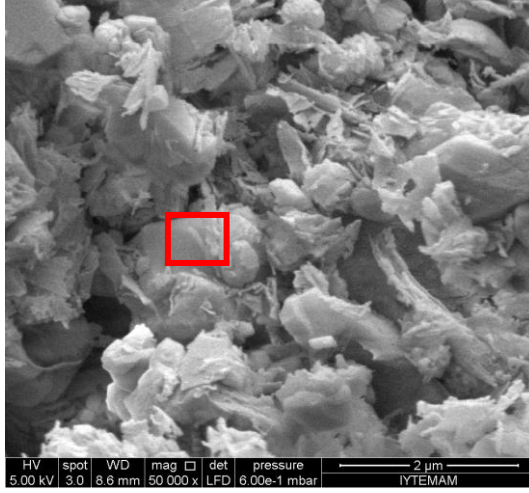


Şekil Ek.2.77. HH4 harcı agregası kısmı SEM/ EDX görüntüleri

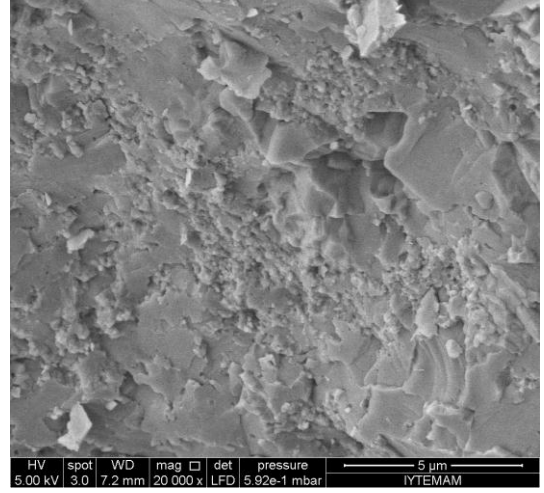
Çizelge Ek.2.77. HH4 harcı agregası kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	9.17	41.74	0.93	0.64	2.85	37.31	0.93	4.44	1.98

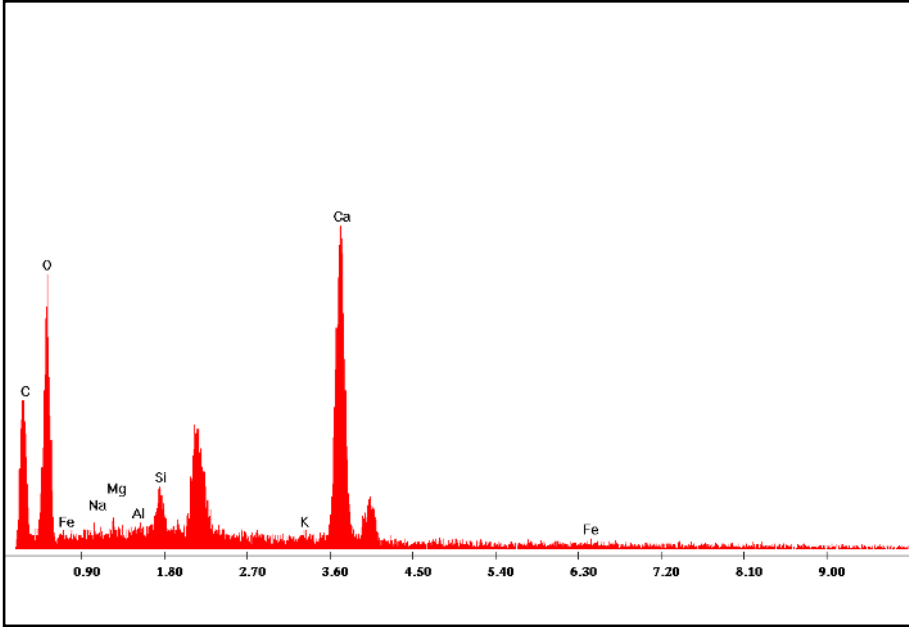
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.3	1.1	5.54	81.73	1.14	6.32	2.88



(50.000 x)



(20.000 x)

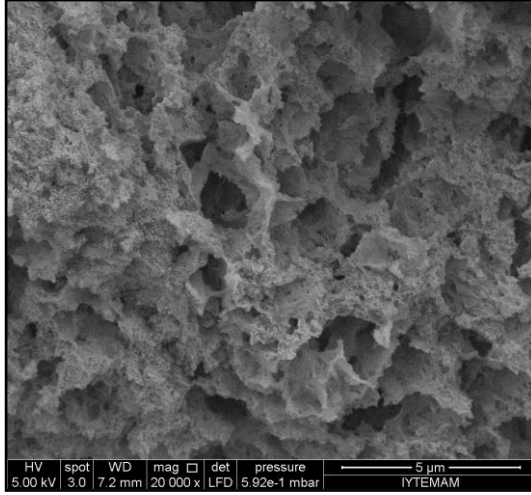


Şekil Ek.2.78. HH5 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

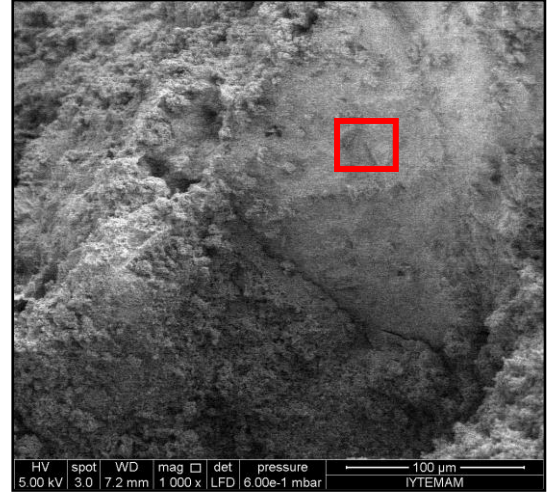
Çizelge Ek.2.78. HH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	15.47	32.45	0.54	0.61	0.48	2.21	0.78	44.68	2.78

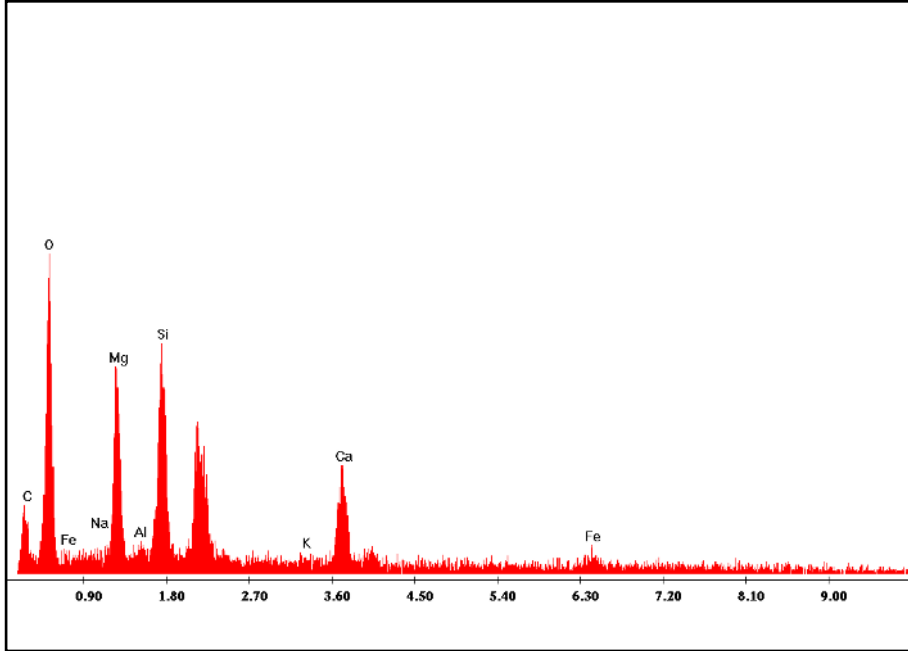
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.01	1.4	1.24	6.4	1.24	83.4	5.3



(20.000 x)



(1.000 x)

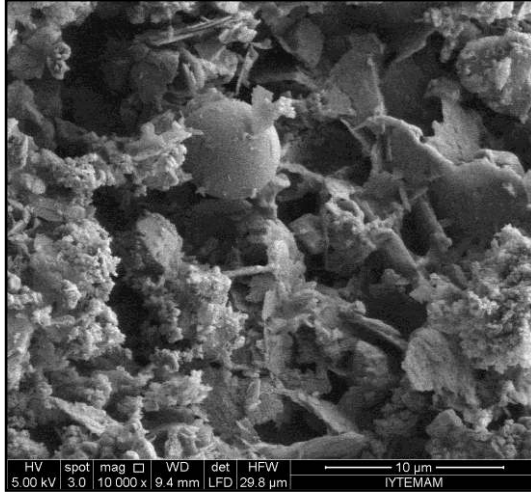


Şekil Ek.2.79. HH5 harcı agrega kısmı SEM/ EDX görüntüleri

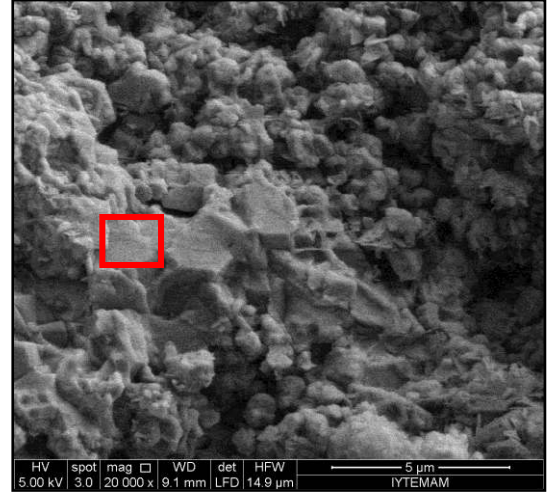
Çizelge Ek.2.79. HH5 harcı agrega kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	13.09	28.82	1.11	10.85	1.1	13.4	0.95	15.52	15.15

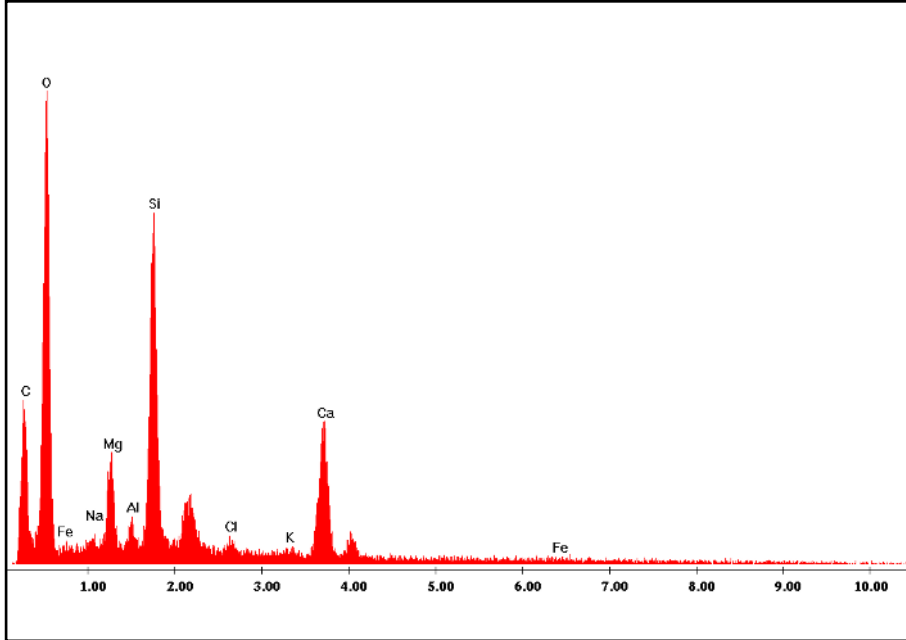
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.63	19.26	2.23	30.38	1.2	22.71	22.6



(10.000 x)



(20.000 x)

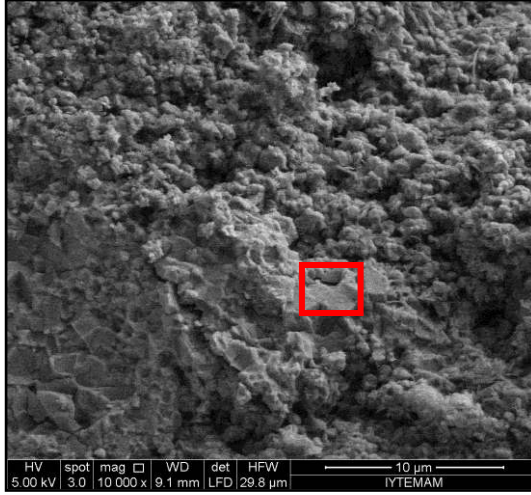


Şekil Ek.2.80. HH7 harcı bağlayıcı kısmı SEM/ EDX görüntüleri

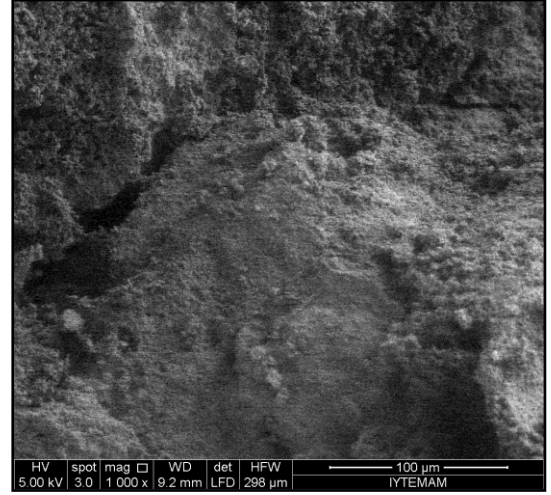
Çizelge Ek.2.80. HH7 harcı bağlayıcı kısmı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca
Wt %	22.74	36.78	0.58	4.04	1.08	14.78	0.51	0.44	16.35

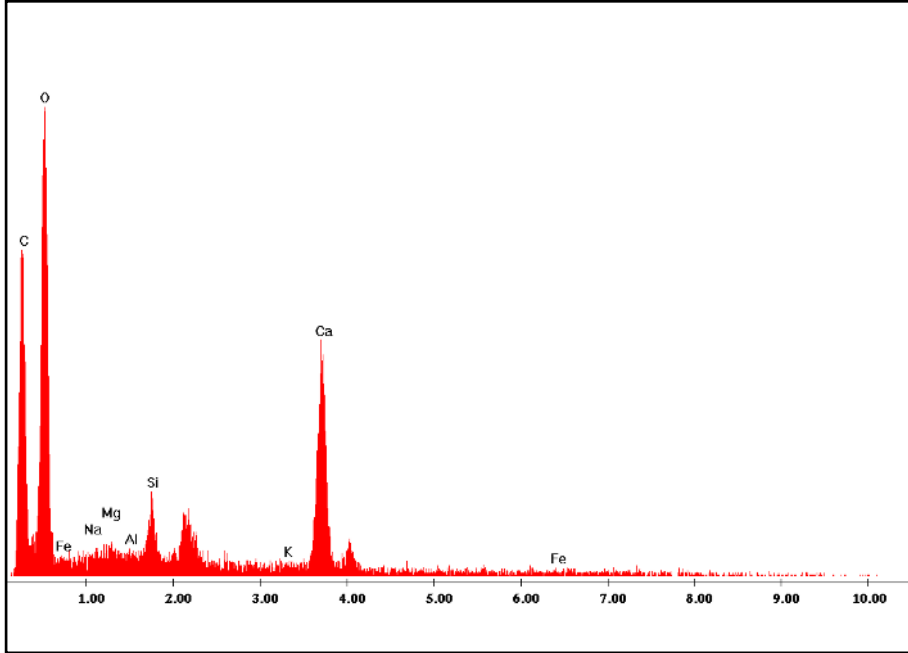
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl ₂ O	K ₂ O	CaO
Wt %	1.17	9.83	2.99	46.08	0.9	0.76	32.8



(10.000 x)



(1.000 x)



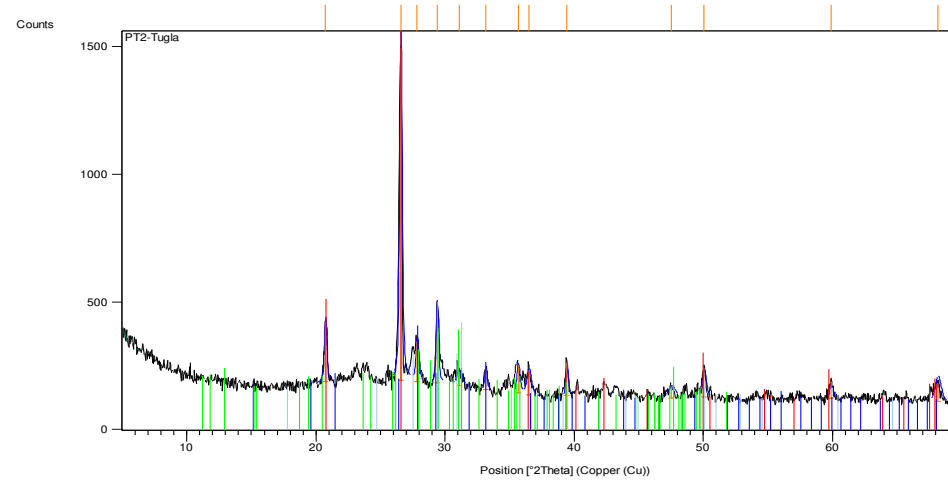
Şekil Ek.2.81. HH7 harcı SEM/ EDX görüntüleri

Çizelge Ek.2.81. HH7 harcı EDX analiz sonuçları

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Wt %	27.25	41.44	0.34	0.69	0.41	2.39	0.46	24.8	2.22

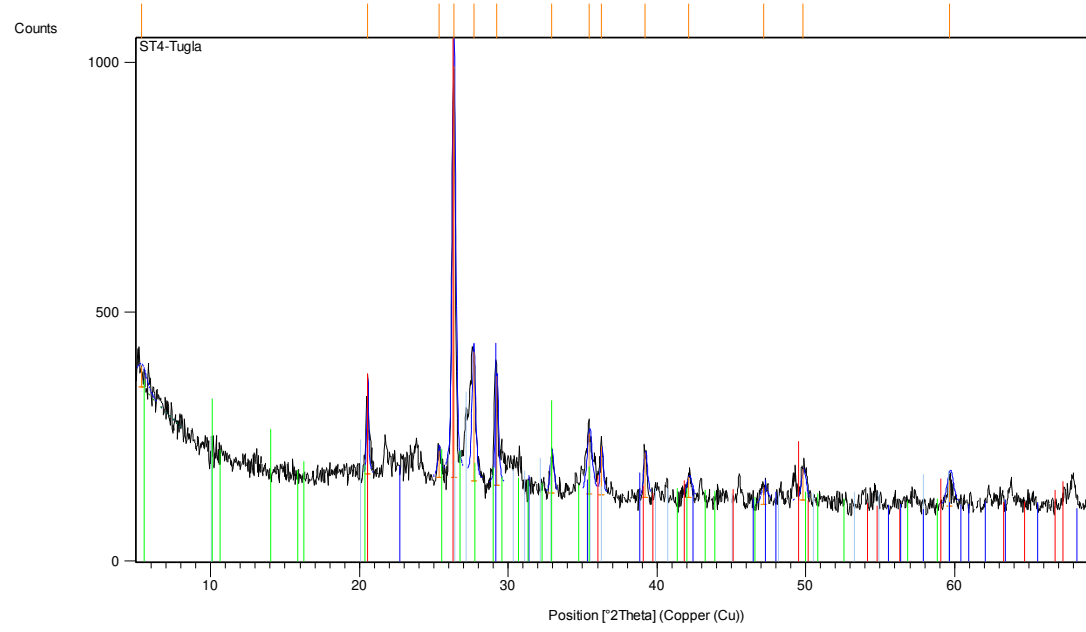
Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Wt %	1.09	2.61	1.75	11.4	1.16	75.13	6.85

Ek-3. XRD Analizi



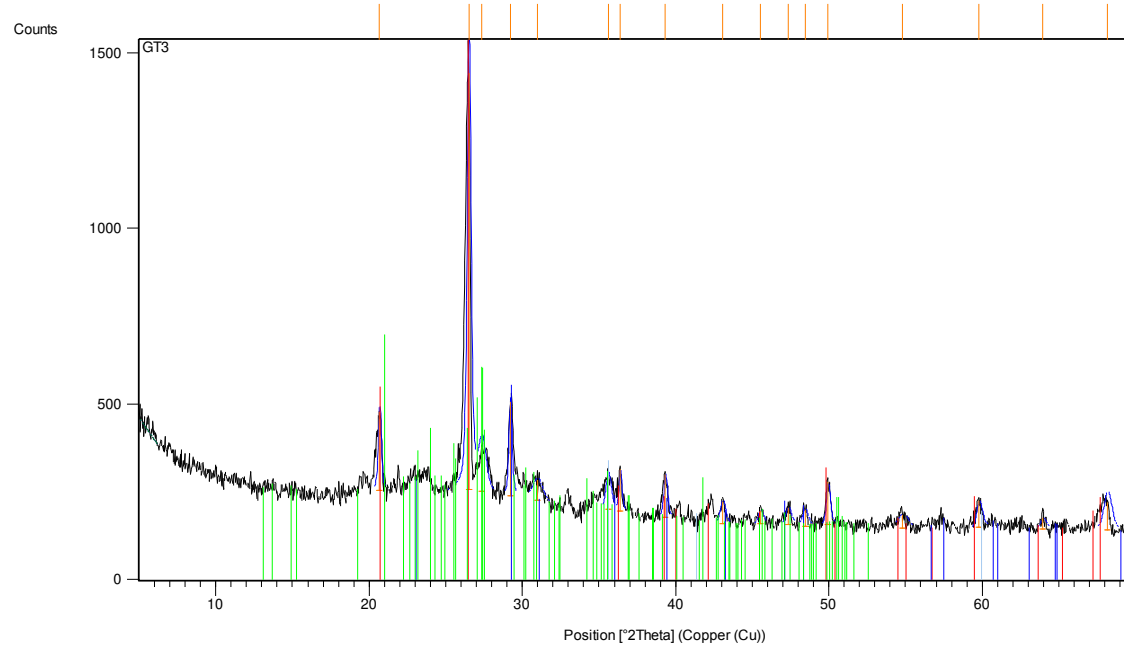
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-089-8936	α -SiO ₂ . Quartz α	SiO ₂	Hexagonal	4.9297	4.9297	5.4151	90.00	90.00	120.00	3.00
	00-020-0909	Manganola ngbeinite. syn	K ₂ Mn ₂₊₂ (SO ₄) ₃	Cubic	10.114	10.114	10.114	90.00	90.00	90.00	4.00
	00-029-0314	Rustumite	Ca ₁₀ (Si ₂ O) ₂ (SiO ₄)Cl ₂ (OH) ₂	Monoclinic	7.6200	18.550	15.5100	90.00	104.33	90.00	4.00

Şekil Ek.3.1. PT2 tuğla numune XRD grafiği



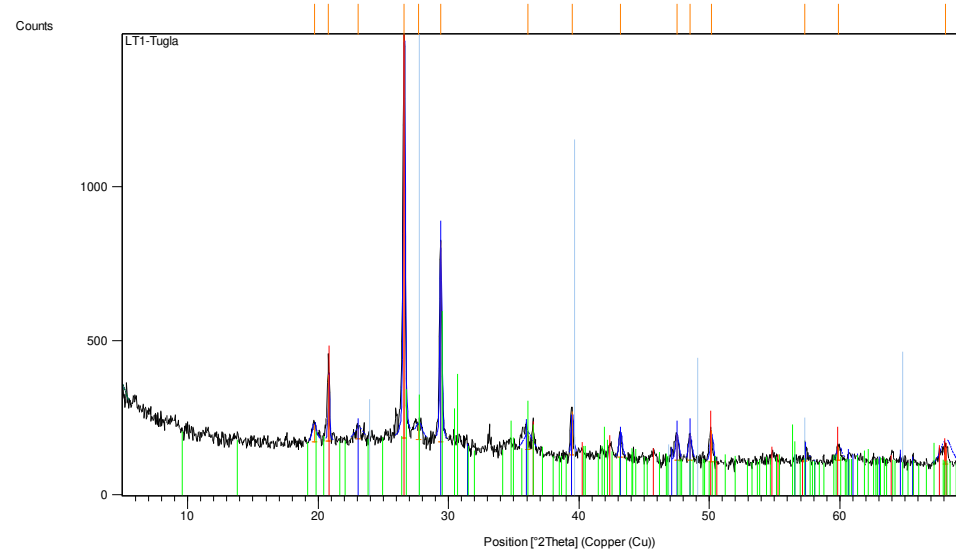
Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-089-8941	α -SiO ₂ . Quartz α	SiO ₂	Hexagonal	4.9841	4.9841	5.4500	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-072-0027	Nitratine. syn	NaNO ₃	Rhombohedral	5.0750	5.0750	17.070	90.00	90.00	120.00	6.00
	00-006-0482	Huhnerkobel ite (NR)	(Na ₂ . Ca) O ₂ (Fe.Mn) O P ₂ O ₅	Unknown							

Şekil Ek.3.2. ST4 tuğla numune XRD grafiği



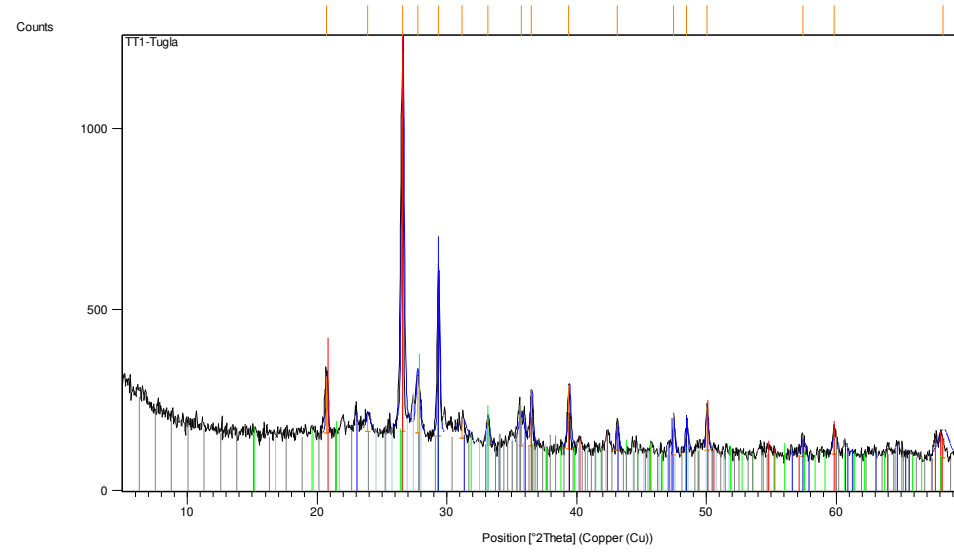
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ^o
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-089-8938	α -SiO ₂ . Quartz α	SiO ₂	Hexagonal	4.9509	4.9509	5.4285	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-086-2340	Calcite high	CaCO ₃	Rhombohedral	4.980	4.980	17.224	90.00	90.00	120.00	6.00
	00-019-0926	Microcline. ordered	KAlSi ₃ O ₈	Anorthic	8.5810	12.9610	7.2230	90.00	115.94	87.63	4.00

Şekil Ek.3.3. GT3 tuğla numune XRD grafiği



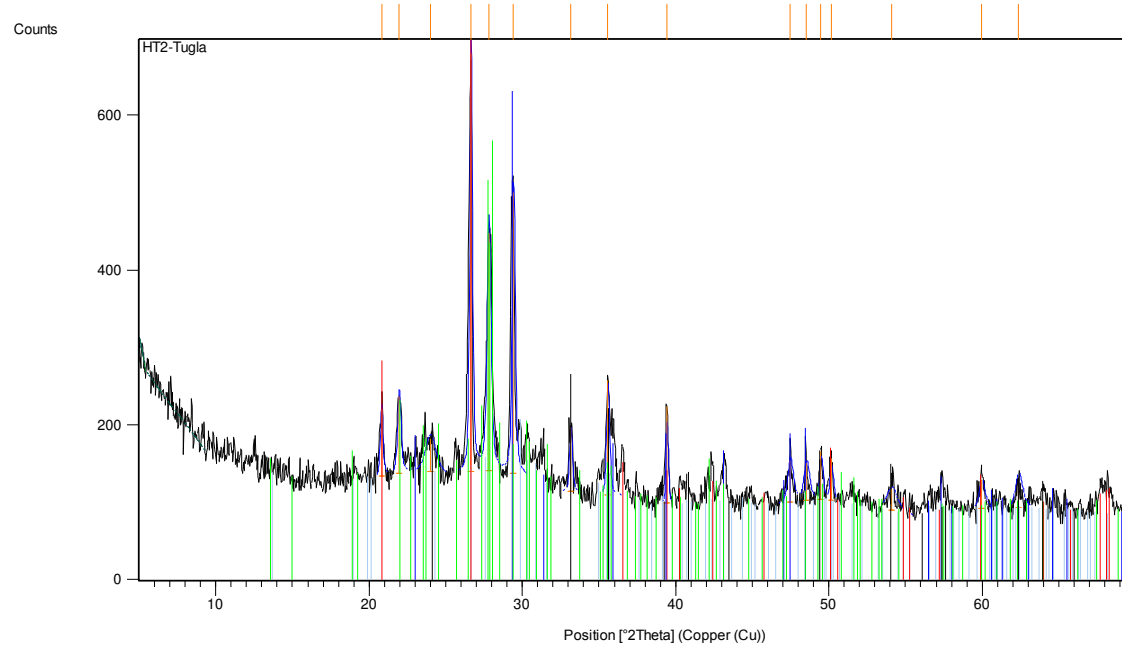
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ^o
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-089-8935	α -SiO ₂ . Quartz α	SiO ₂	Hexagonal	4.9209	4.9209	5.4091	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-083-1762	Calcite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9896	4.9896	17.061	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-070-8552	calcium magnesium catena-disilicate. clinoenstatite high. syn	(Ca _{0.15} Mg _{0.85}) Mg (Si ₂ O ₆)	Monoclinic	9.7520	8.9490	5.2550	90.00	108.84	90.00	4.00

Şekil Ek.3.4. LT1 tuğla numune XRD grafiği



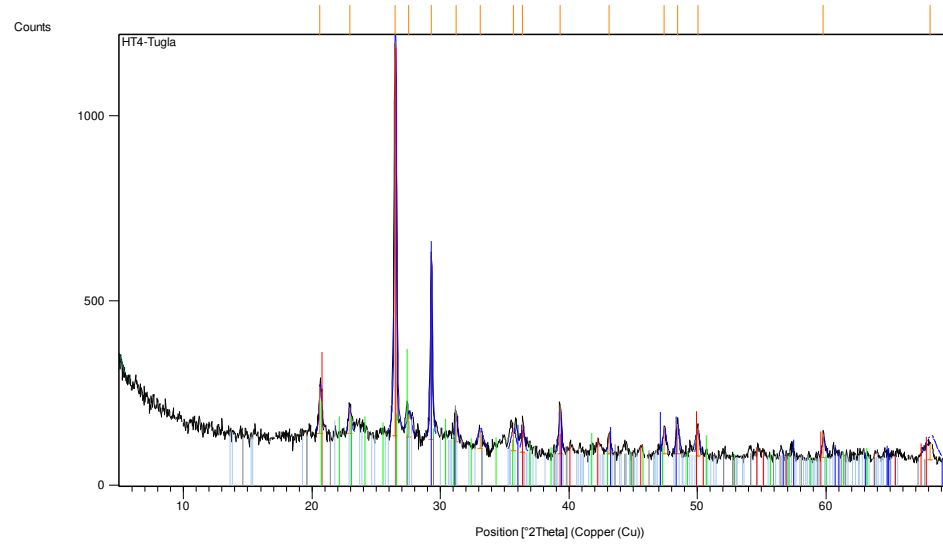
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ^o
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-089-8935	α -SiO ₂ . Quartz α	SiO ₂	Hexagonal	4.9209	4.9209	5.4091	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-086-2339	Calcite high.syn	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9840	4.9840	17.1210	90.00	90.00	120.00	6.00
	00-020-0909	Manganolan gbeinite. syn	K ₂ Mn ₂₊₂ (SO ₄) ₃	Cubik	10.114	10.114	10.114	90.00	90.00	90.00	4.00
	01-073-2086	moissanite- 84R. syn	SiC	Rhombohedral	3.0790	3.0790	211.543	90.00	90.00	120.00	84.00

Şekil Ek.3.5. TT1 tuğla numune XRD grafiği



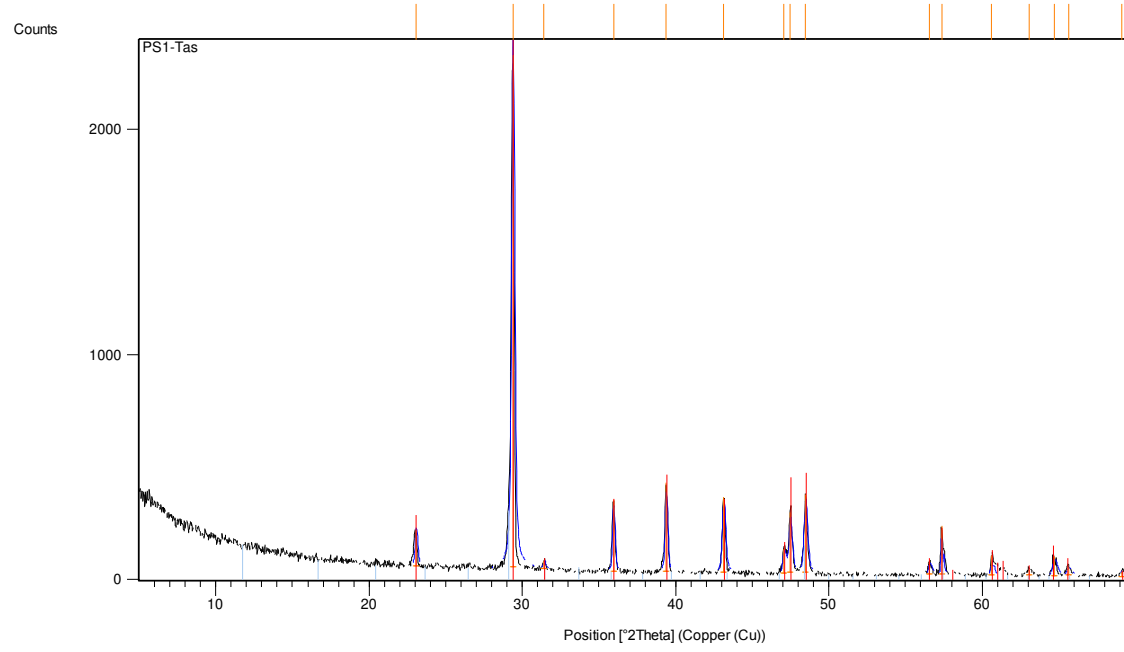
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
Red	01-070-3755	Quartz	SiO ₂	Hexagonal	4.9509	4.9509	5.4285	90.00	90.00	120.00	3.00
Blue	01-072-1937	Calcite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
Green	00-041-1486	Anorthite, ordered	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Anorthic	8.1756	12.8720	14.1827	93.172	115.911	91.199	8.00
Black	01-089-2810	iron(III) oxide	Fe ₂ O ₃	Rhombohedral	5.0342	5.0342	13.7483	90.00	90.00	120.00	6.00

Şekil Ek.3.6. HT2 tuğla numune XRD grafiği



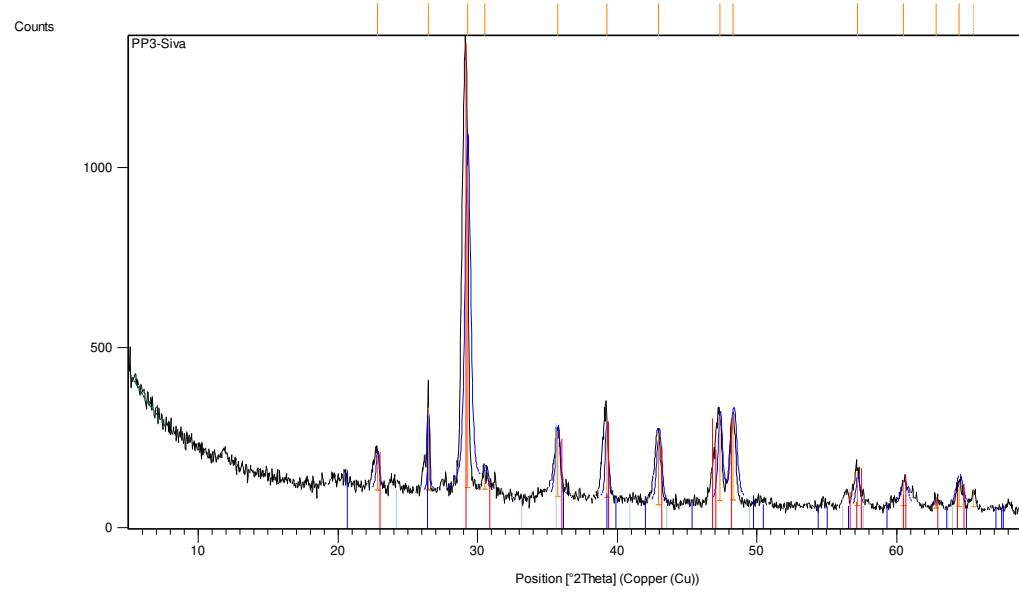
Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-089-8937	α -SiO ₂ . Quartz α	SiO ₂	Hexagonal	4.9384	4.9384	5.4213	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-086-2340	Calcite high	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9800	4.9800	17.2240	90.00	90.00	120.00	6.00
	00-001-0705	Microcline	KAlSi ₃ O ₈	Unknown							
	01-083-1590	Dipotassium calcium carbonate	K ₂ Ca (C O ₃) ₂	Rhombohedral	5.3870	5.3870	18.1600	90.00	90.00	120.00	3.00

Şekil Ek.3.7. HT4 tuğla numune XRD grafiği



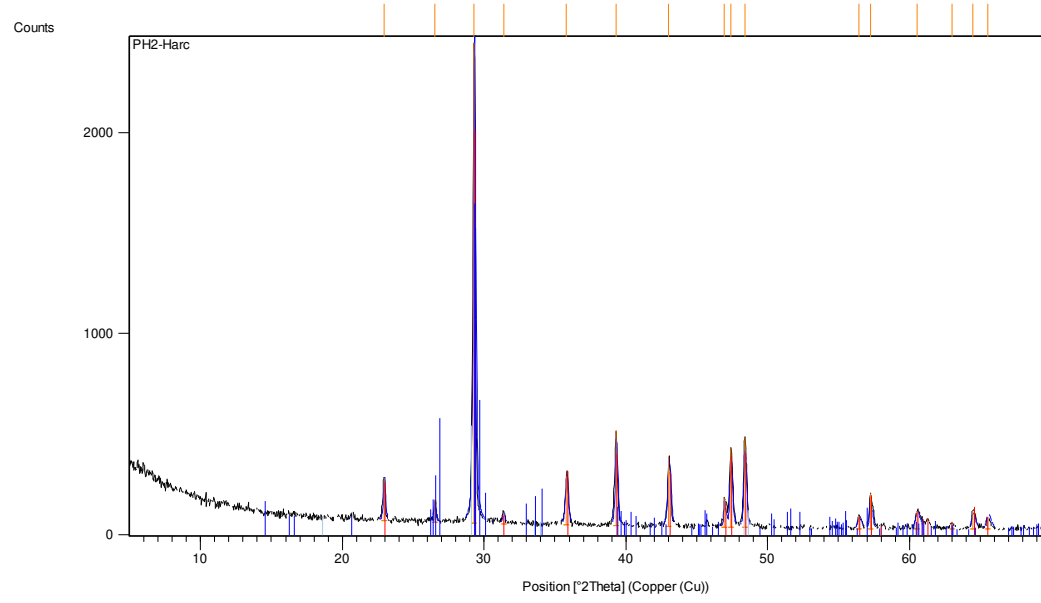
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ^o
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-083-1762	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00

Şekil Ek.3.8. PS1 taş numune XRD grafiği



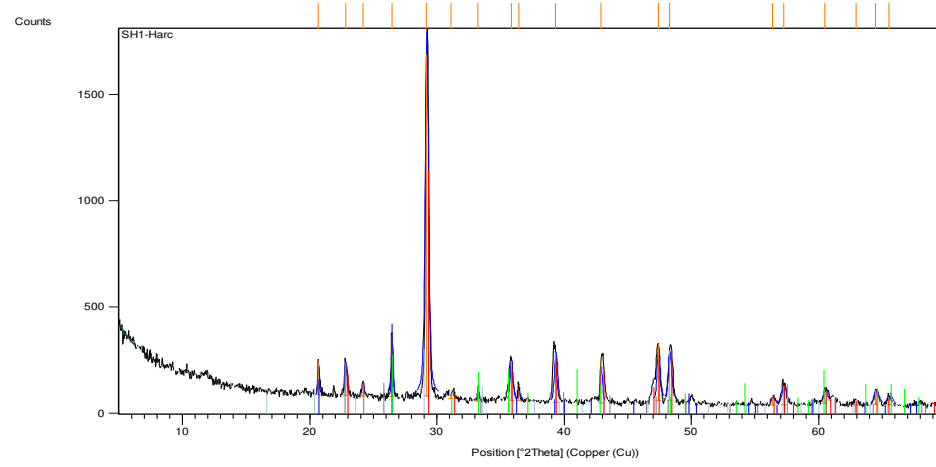
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-086-2341	Calsite high	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-074-1811	α-SiO ₂	SiO ₂	Hexagonal	4.9650	4.9650	5.4240	90.00	90.00	120.00	3.00

Şekil Ek.3.9. PP3 sıva harcı XRD grafiği



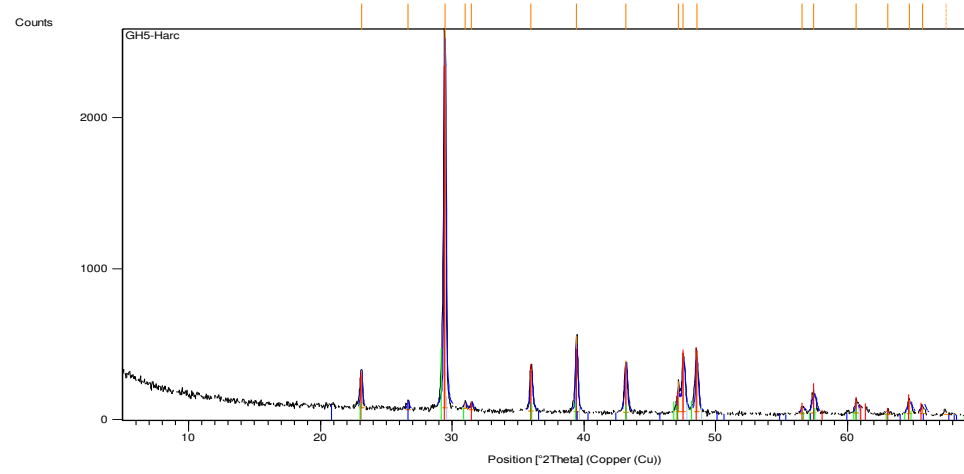
Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-072-1937	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-075-4410	Coesite	SiO ₂	Monoclinic	6.9126	12.1610	7.0746	90.00	120.91	90.00	16.00

Şekil Ek.3.10. PH2 harcı XRD grafiği



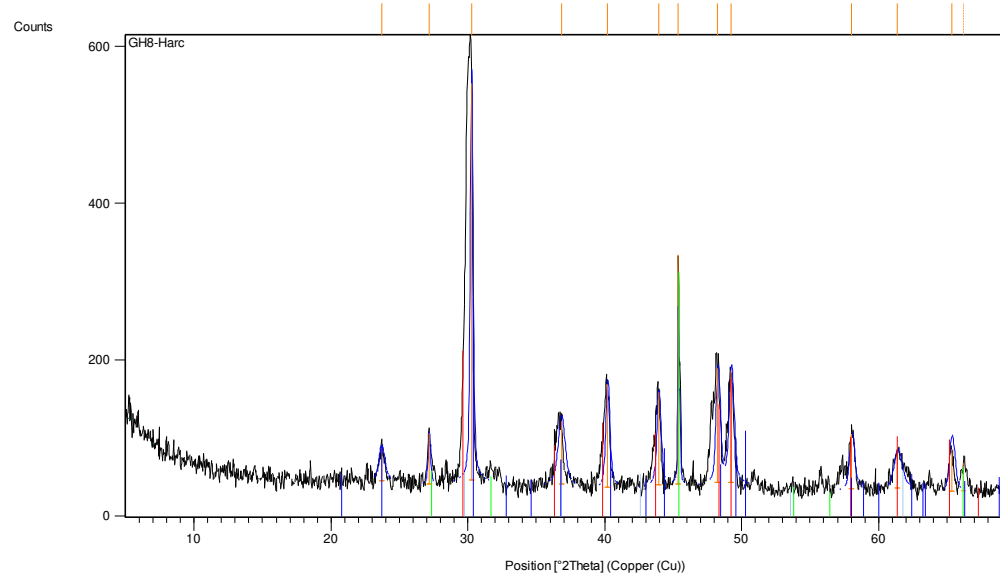
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ^o
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-072-1937	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-075-4410	Quartz	SiO ₂	Hexagonal	4.9509	4.9509	5.4285	90.00	90.00	120.00	3.00
	00-002-0452	Mullite	3Al ₂ O ₃ . 2Si O ₂	Orthorhombic	7.5200	7.6500	2.8900	90.00	90.00	90.00	-
	01-085-1394	Ice- 1h.syn	H ₂ O	Hexagonal	4.5110	4.5110	7.3460	90.00	90.00	120.00	4.00

Şekil Ek.3.11. SH1 harcı XRD grafiği



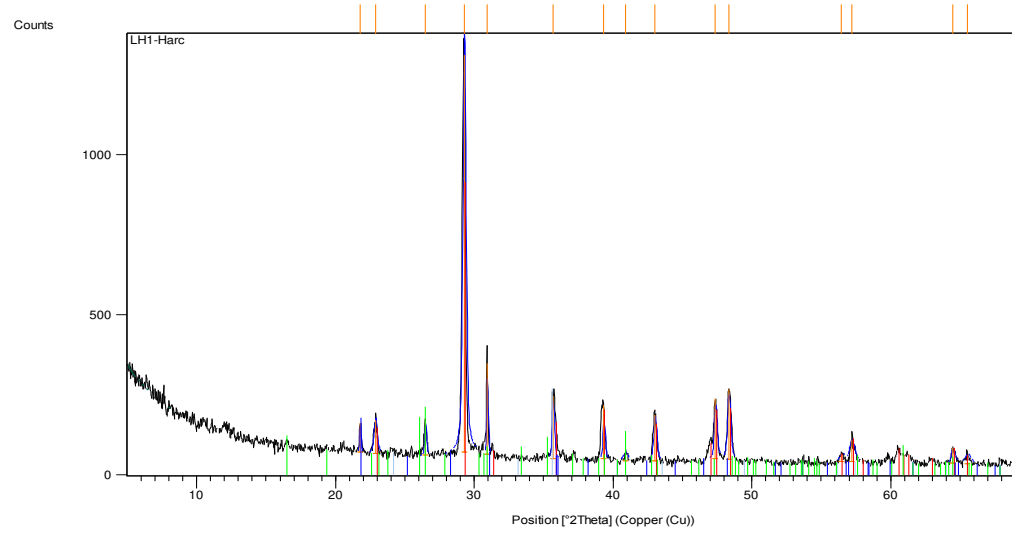
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ^o
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-086-2334	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	03-065-0466	Quartz low.syn	SiO ₂	Hexagonal	4.9509	4.9509	5.4285	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-086-2341	Calsite high	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00

Şekil Ek.3.12. GH5 harcı XRD grafiği



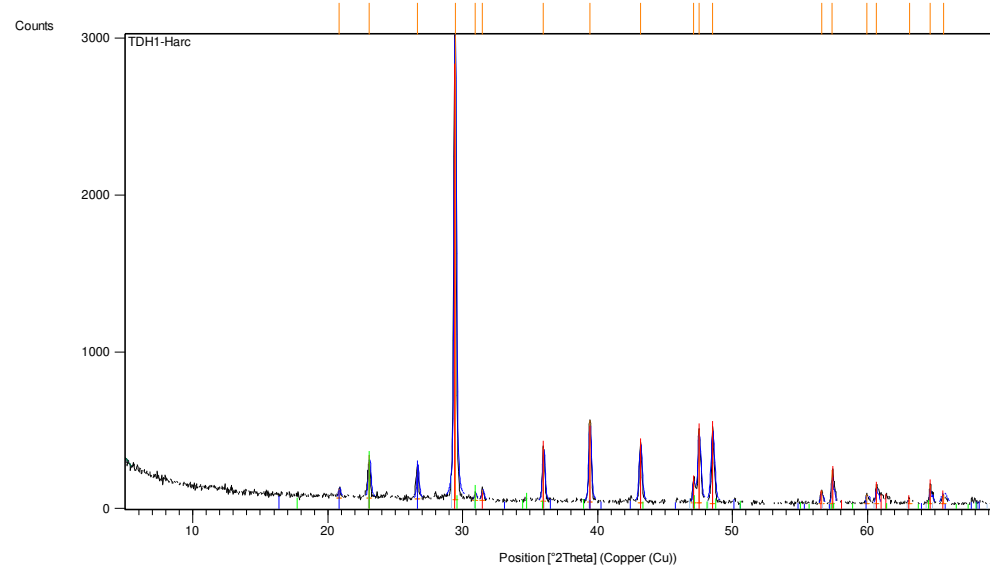
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	00-002-0643	Mangano calcite	(Ca.Mn) CO ₃	Unknown							
	01-011-0345	Kutnoho rite	Ca(Mn. Mg)(CO ₃) ₂	Rhombohedral	4.8740	4.8740	16.4200	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-071-4480	Gupeiite	Fe ₃ Si 2Si O ₂	Cubic	5.6440	5.6440	5.6440	90.00	90.00	90.00	4.00

Şekil Ek.3.13. GH8 harcı XRD grafiği



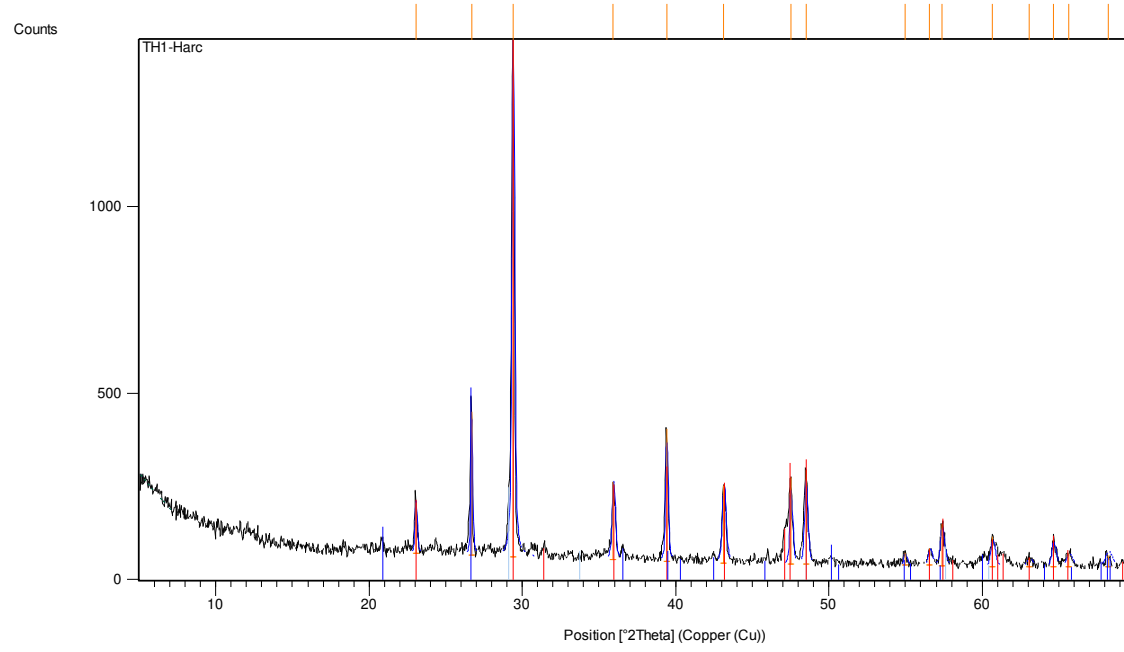
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z ⁰
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-072-1937	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-076-0940	Cristobalite low	SiO ₂	Tetragonal	4.9964	4.9964	7.0169	90.00	90.00	90.00	4.00
	01-083-1562	Dialumini umsilicate oxide	Al ₂ SiO ₅	Orthorhombic	7.4883	7.6808	5.7774	90.00	90.00	90.00	4.00

Şekil Ek.3.14. LH1 harcı XRD grafiği



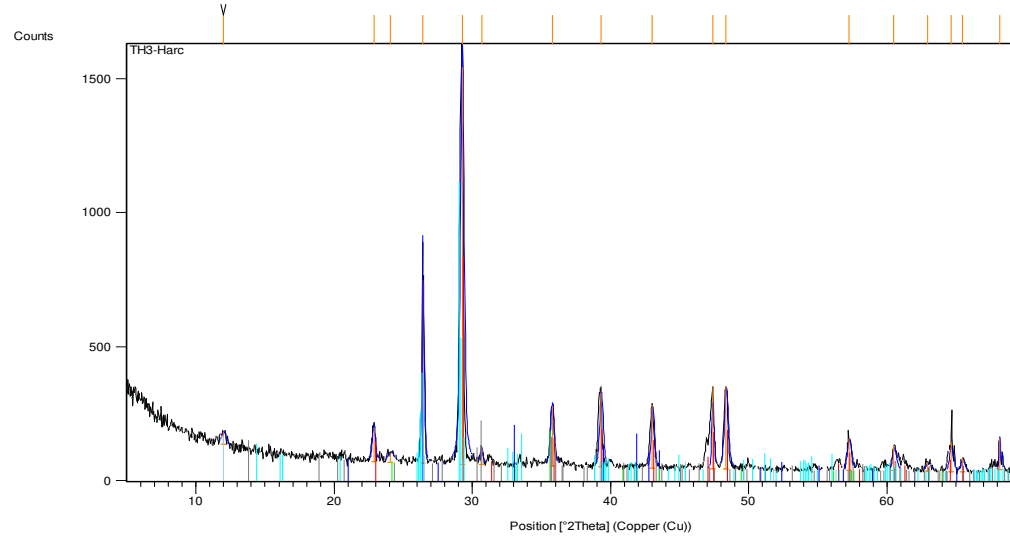
Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-075-6049	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9880	4.9880	17.0610	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-077-1060	α-SiO ₂	SiO ₂	Anorthic	4.9160	4.9170	5.4070	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-073-2140	sodium hydrogena midophosp hate	NaHPO ₃ NH ₂	Hexagonal	5.7730	5.7730	6.0310	90.00	90.00	120.00	2.00

Şekil Ek.3.15. TDH1 harcı XRD grafiği



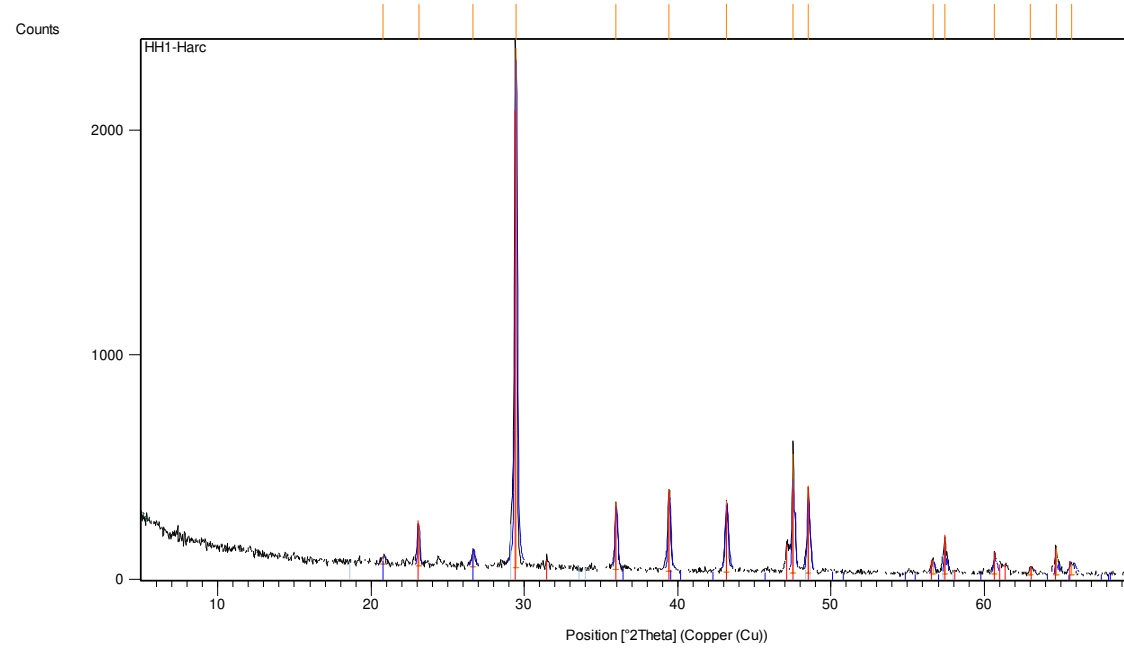
Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-086-0174	Calsite. syn	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9880	4.9880	17.0680	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-085-0795	Quartz. syn	SiO ₂	Hexagonal	4.9108	4.9108	5.4028	90.00	90.00	120.00	3.00

Şekil Ek.3.16. TH1 harcı XRD grafiği



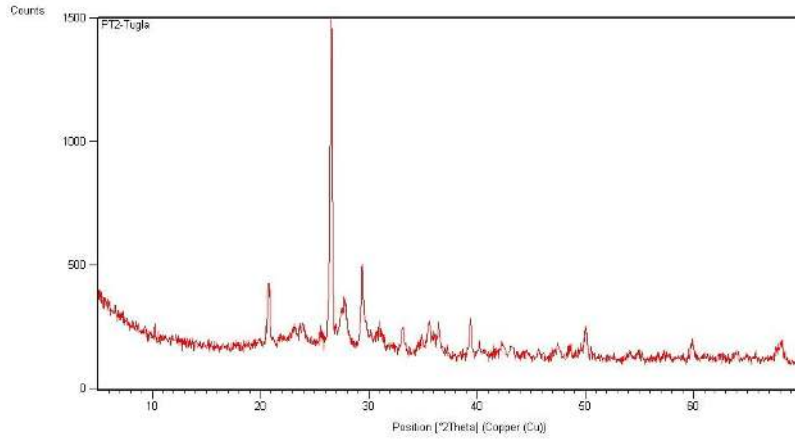
Bileşimin Rengi	Referans kodu	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-072-1937	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9940	4.9940	17.0810	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-076-1692	β-K N O3. potassium nitrate (V)	KNO ₃	Rhombohedral	5.4200	5.4200	9.7050	90.00	90.00	120.00	3.00
	01-073-0603	iron(III) oxide	Fe ₂ O ₃	Rhombohedral	5.0342	5.0342	13.7483	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-087-1705	calcium ironcatena-disilicat. clinopyroxene HP.syn	CaFe(Si ₂ O ₆)	Monoclinic	9.6640	8.7600	5.1260	90.00	103.80	90.00	4.00
	01-075-4404	Coesite	SiO ₂	Monoclinic	7.0500	12.2907	7.1386	90.00	120.59	90.00	16.00

Şekil Ek.3.17. TH3 harcı XRD grafiği

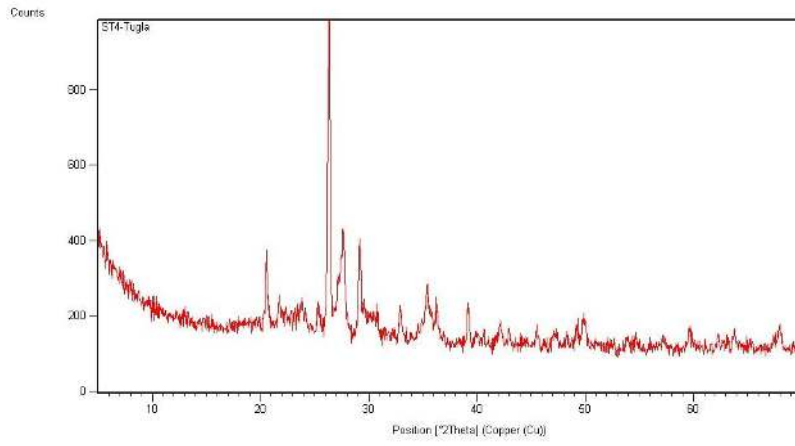


Bileşğin Rengi	Referans kodu	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri						Z°
		İsmi	Kimyasal Formül		a	b	c	Alfa	Beta	Gama	
	01-075-6049	Calsite	CaCO ₃	Rhombohedral	4.9880	4.9880	17.0610	90.00	90.00	120.00	6.00
	01-088-2487	Silicon Oxide	SiO ₂	Hexagonal	4.9300	4.9300	5.3850	90.00	90.00	120.00	3.00

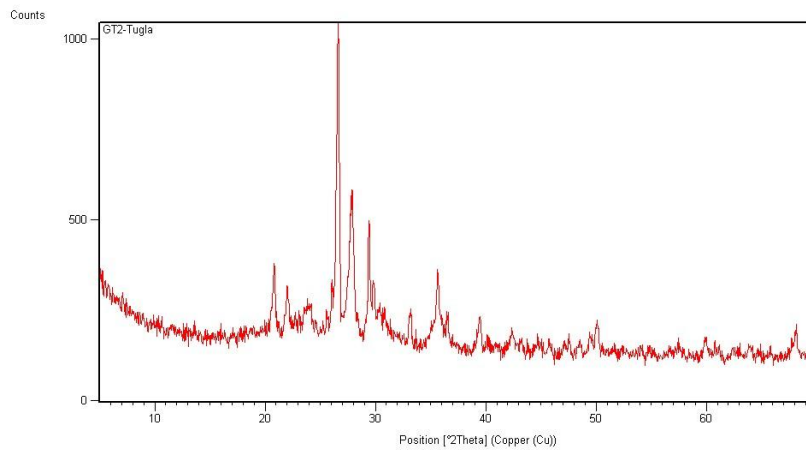
Şekil Ek.3.18. HH1 harcı XRD grafiği



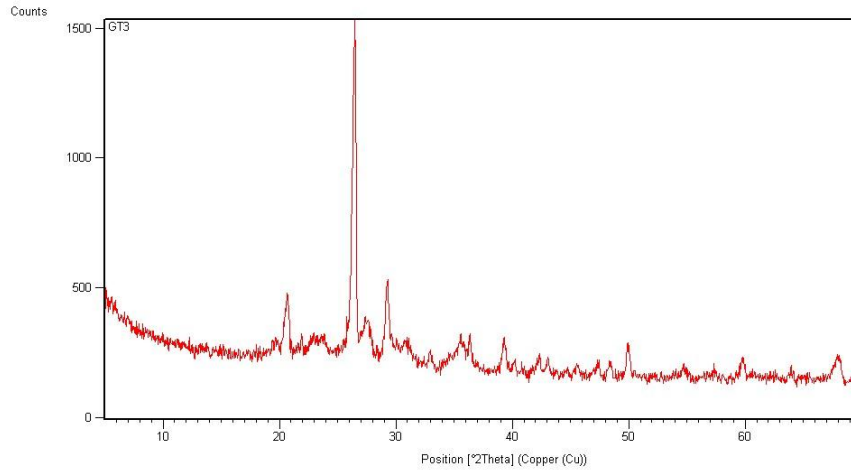
Şekil Ek.3.19. PT2 tuğla numune XRD grafiği



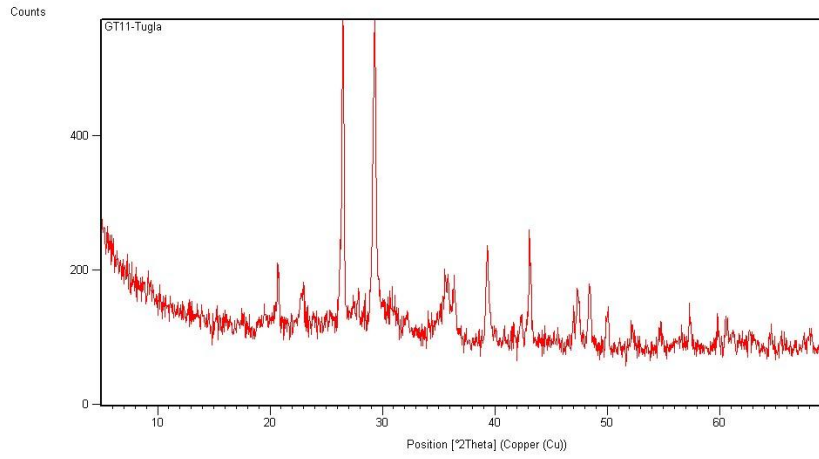
Şekil Ek.3.20. ST4 tuğla numune XRD grafiği



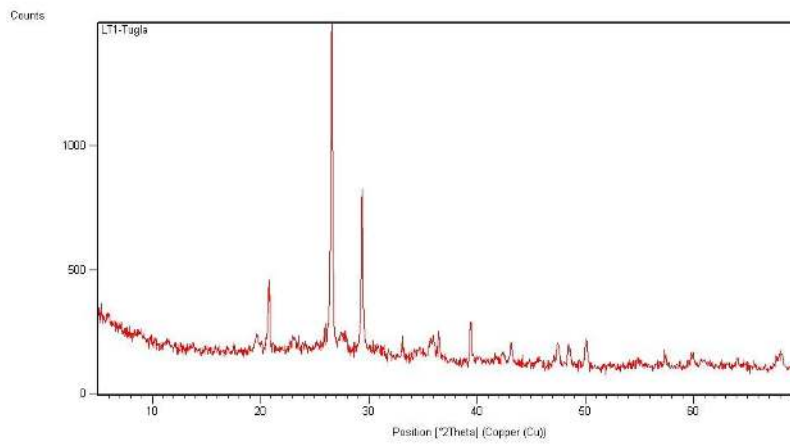
Şekil Ek.3.21. GT2 tuğla numune XRD grafiği



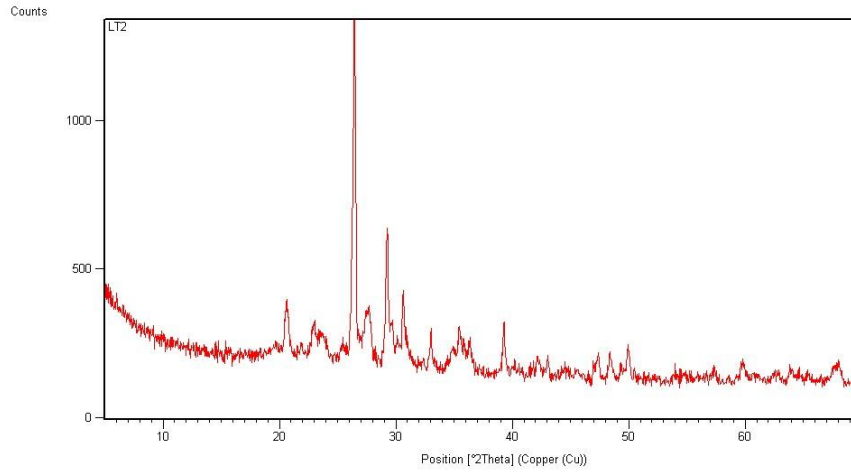
Şekil Ek.3.22. GT3 tuğla numune XRD grafiği



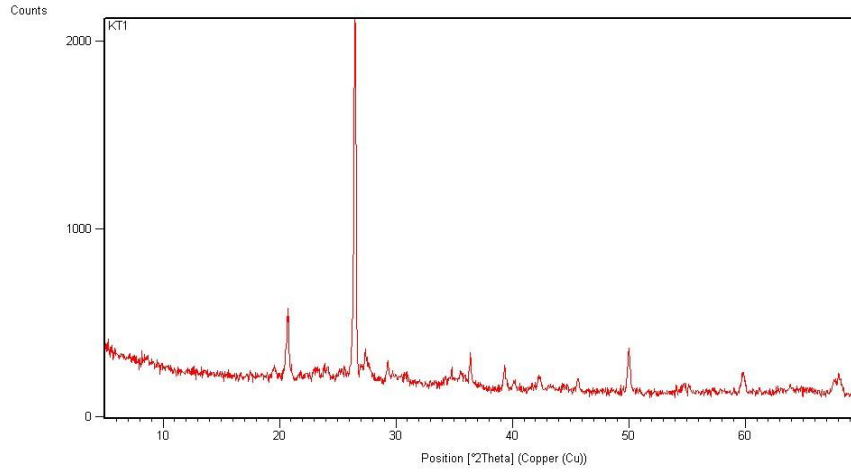
Şekil Ek.3.23. GT11 tuğla numune XRD grafiği



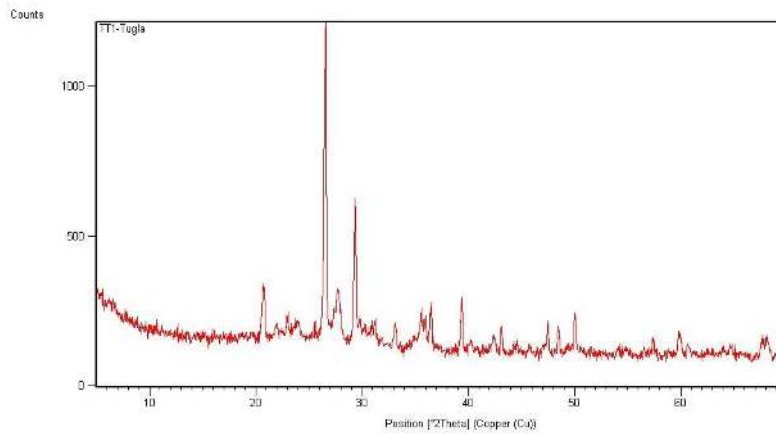
Şekil Ek.3.24. LT1 tuğla numune XRD grafiği



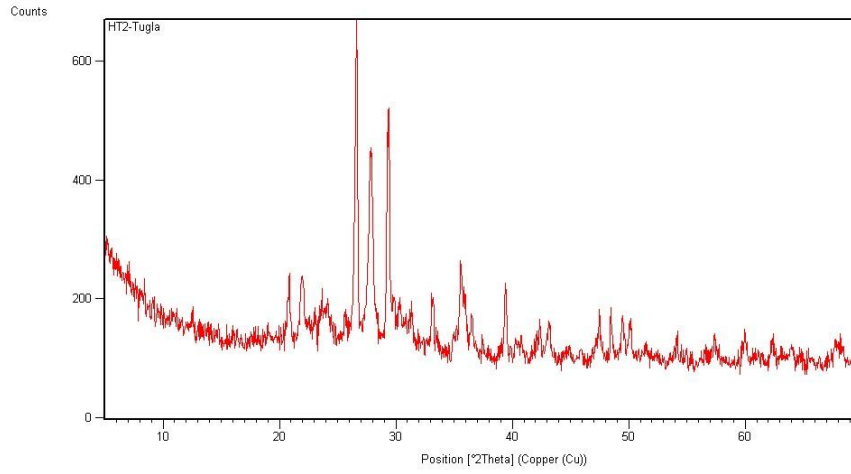
Şekil Ek.3.25. LT2 tuğla numune XRD grafiği



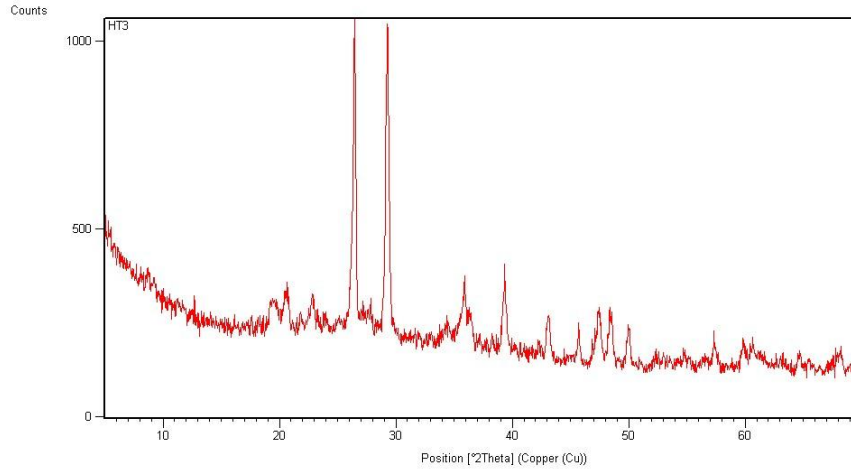
Şekil Ek.3.26. KT1 tuğla numune XRD grafiği



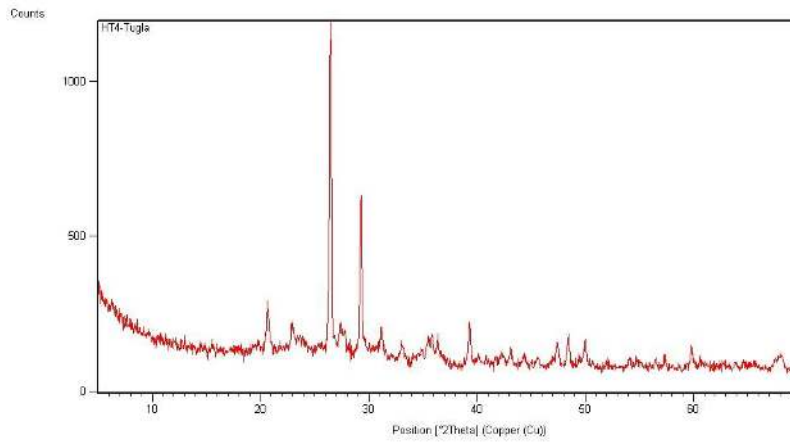
Şekil Ek.3.27. TT1 tuğla numune XRD grafiği



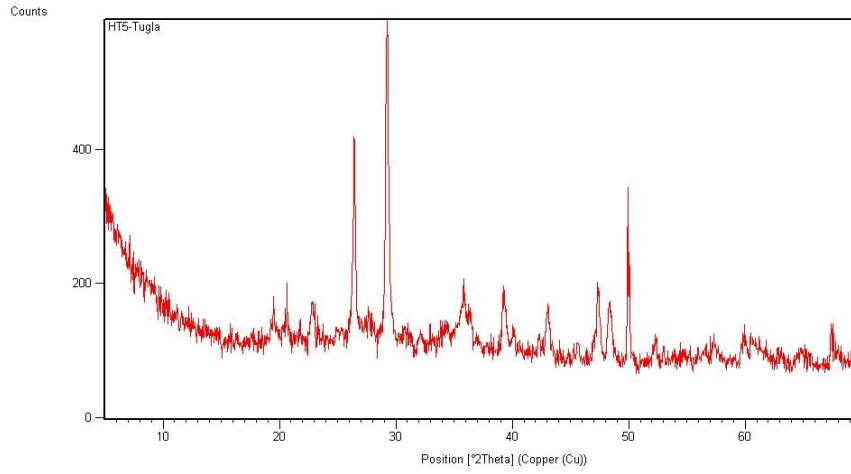
Şekil Ek.3.28. HT2 tuğla numune XRD grafiği



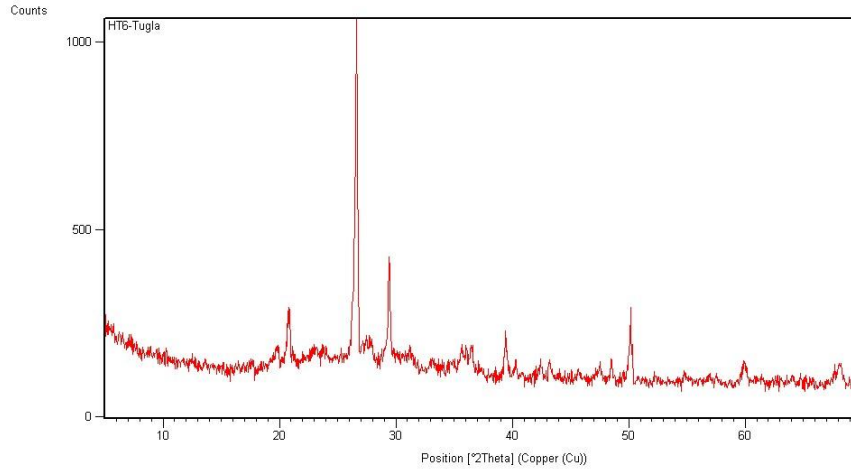
Şekil Ek.3.29. HT3 tuğla numune XRD grafiği



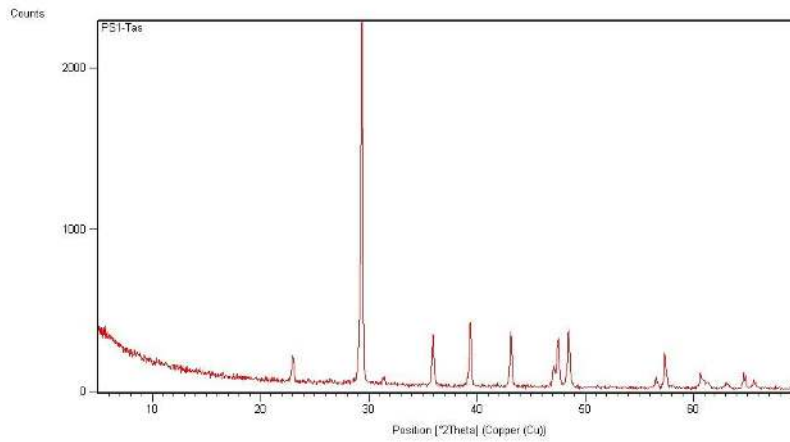
Şekil Ek.3.30. HT4 tuğla numune XRD grafiği



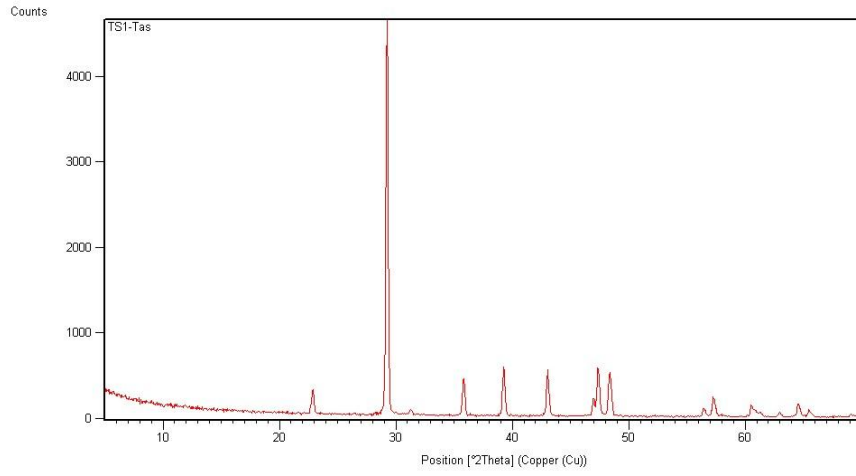
Şekil Ek.3.31. HT5 tuğla numune XRD grafiği



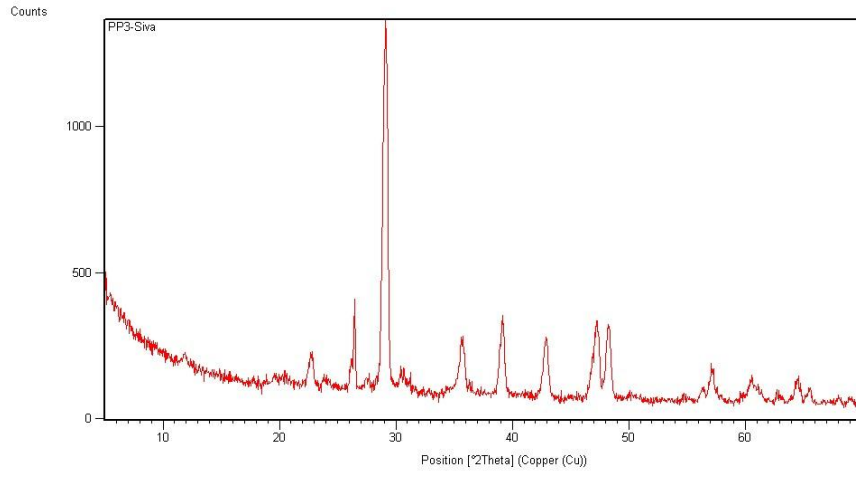
Şekil Ek.3.32. HT6 tuğla numune XRD grafiği



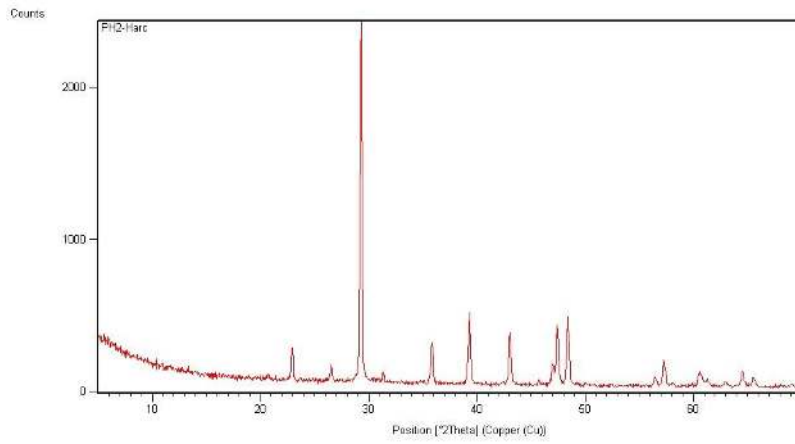
Şekil Ek.3.33. PS1 taş numune XRD grafiği



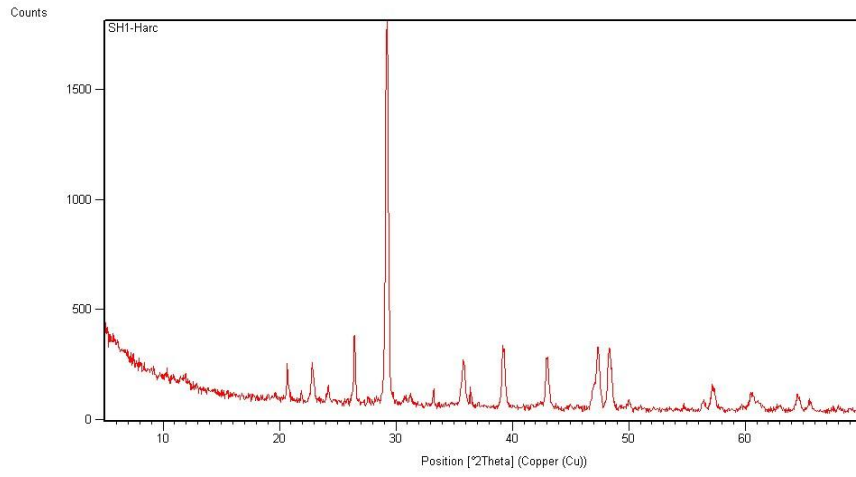
Şekil Ek.3.34. TS1 taş numune XRD grafiği



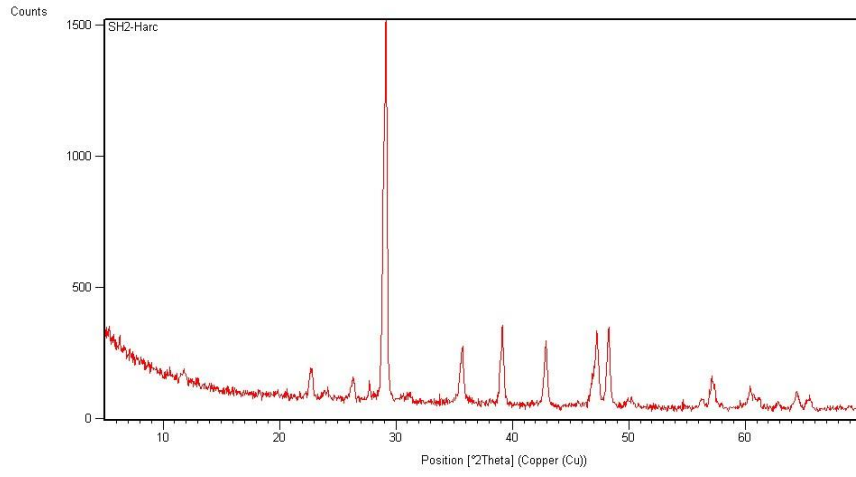
Şekil Ek.3.35. PP3 sıva harcı XRD grafiği



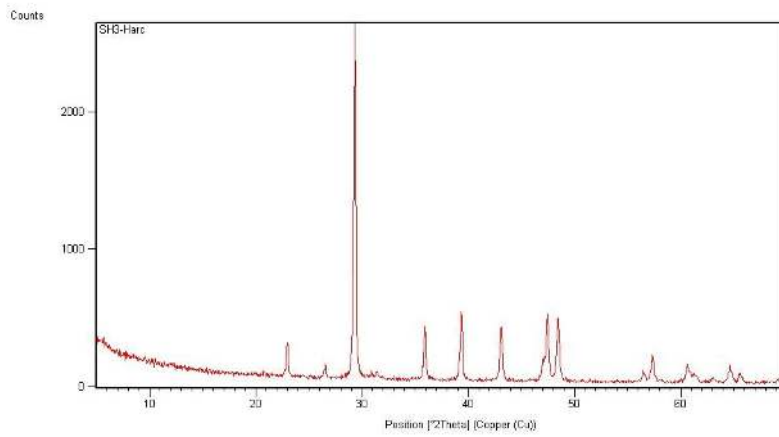
Şekil Ek.3.36. PH2 harcı XRD grafiği



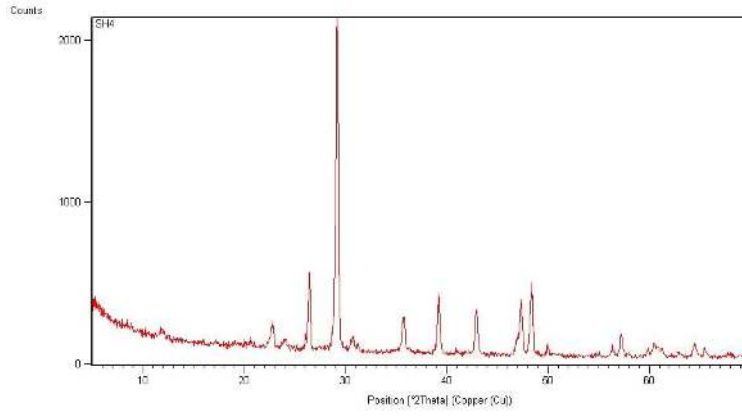
Şekil Ek.3.37. SH1 harcı XRD grafiği



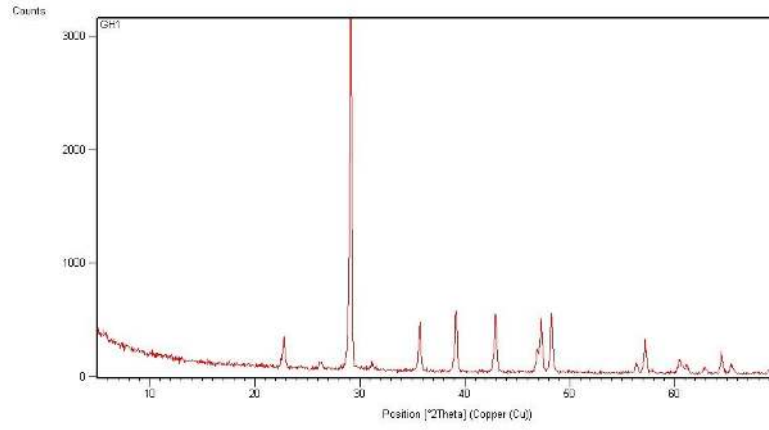
Şekil Ek.3.38. SH2 harcı XRD grafiği



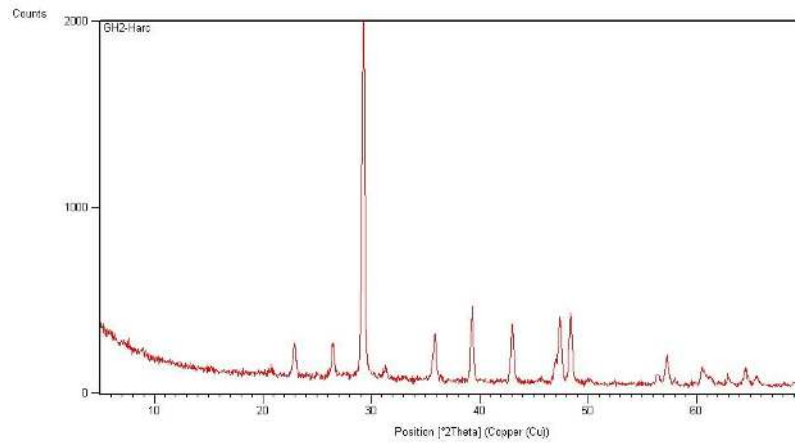
Şekil Ek.3.39. SH3 harcı XRD grafiği



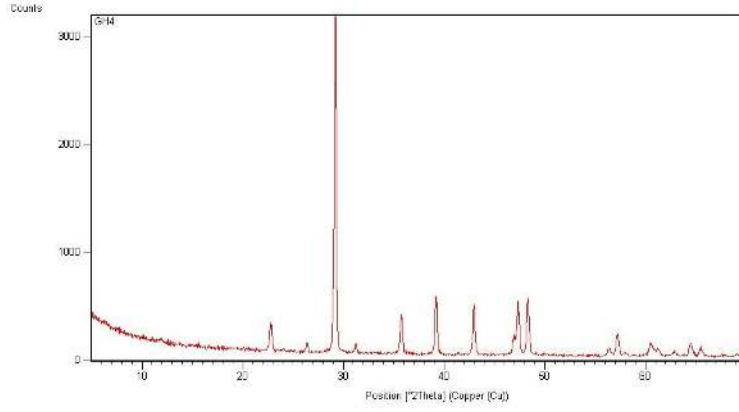
Şekil Ek.3.40. SH4 harcı XRD grafiği



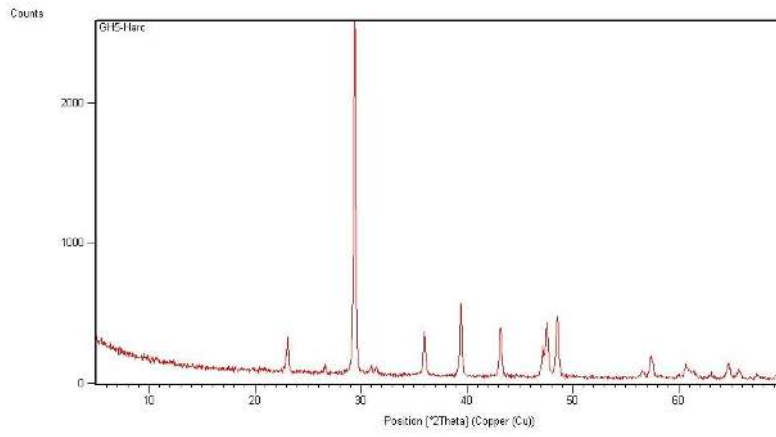
Şekil Ek.3.41. GH1 harcı XRD grafiği



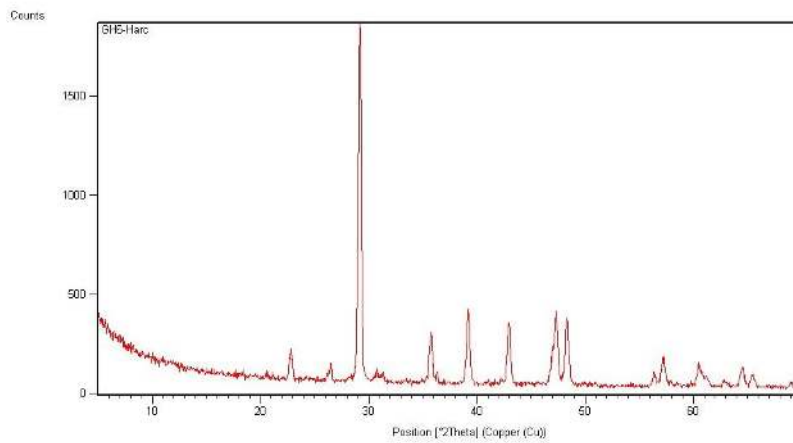
Şekil Ek.3.42. GH2 harcı XRD grafiği



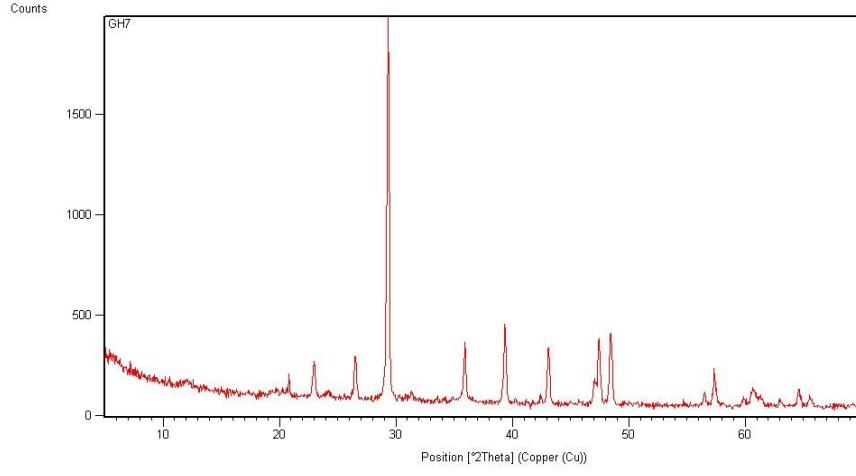
Şekil Ek.3.43. GH4 harcı XRD grafiği



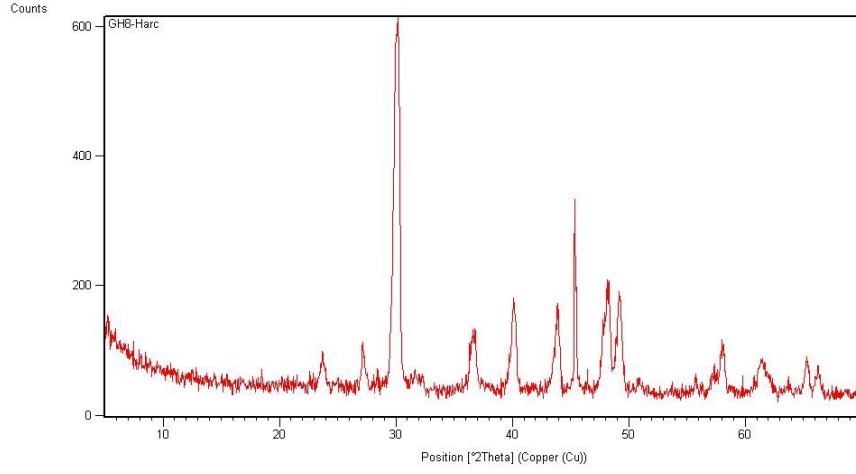
Şekil Ek.3.44. GH5 harcı XRD grafiği



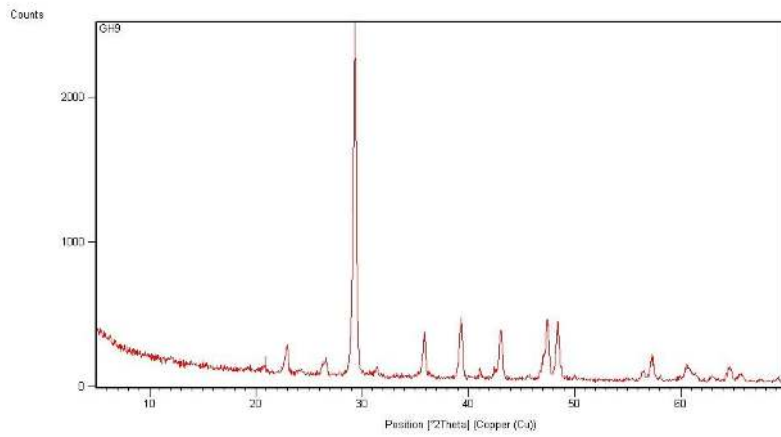
Şekil Ek.3.45. GH6 harcı XRD grafiği



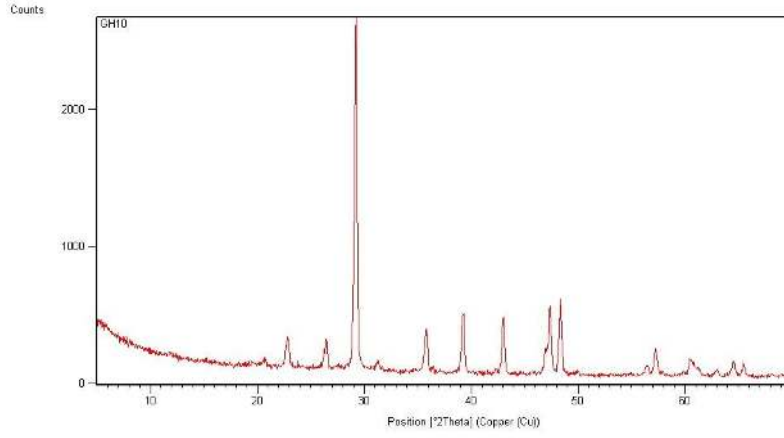
Şekil Ek.3.46. GH7 harcı XRD grafiği



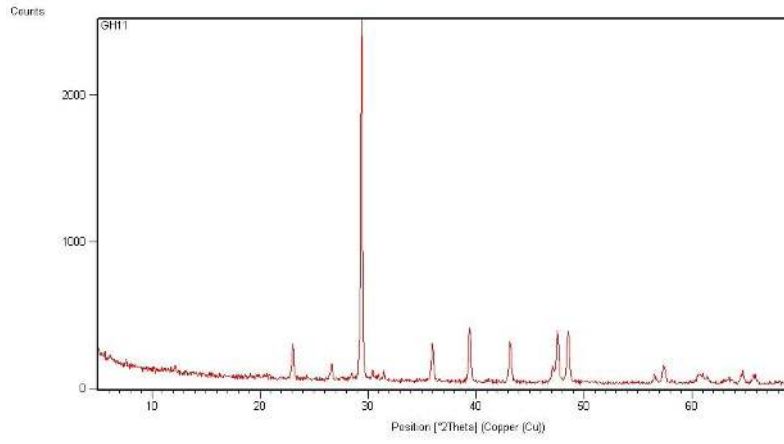
Şekil Ek.3.47. GH8 harcı XRD grafiği



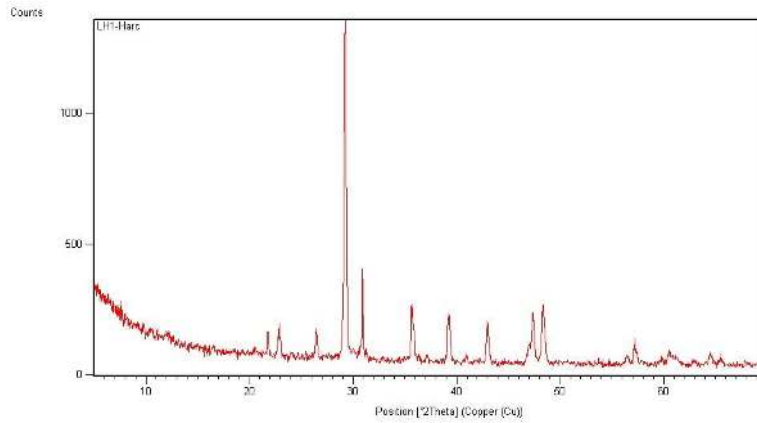
Şekil Ek.3.48. GH9 harcı XRD grafiği



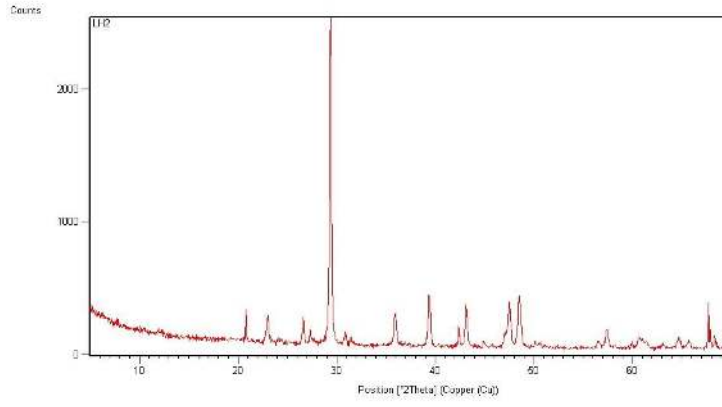
Şekil Ek.3.49. GH10 harcı XRD grafiği



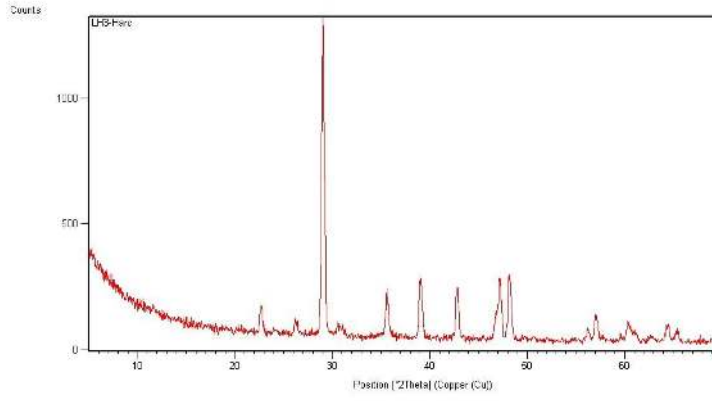
Şekil Ek.3.50. GH11 harcı XRD grafiği



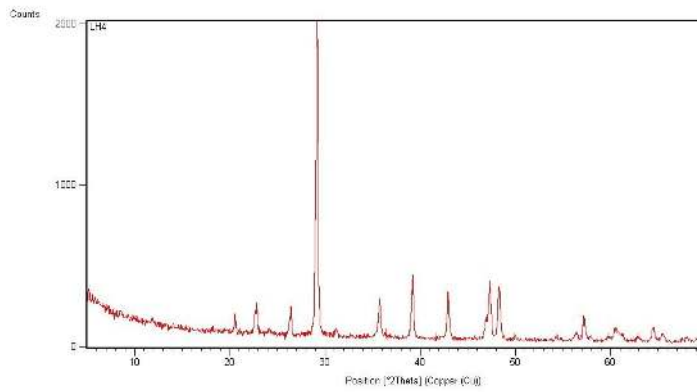
Şekil Ek.3.51. LH1 harcı XRD grafiği



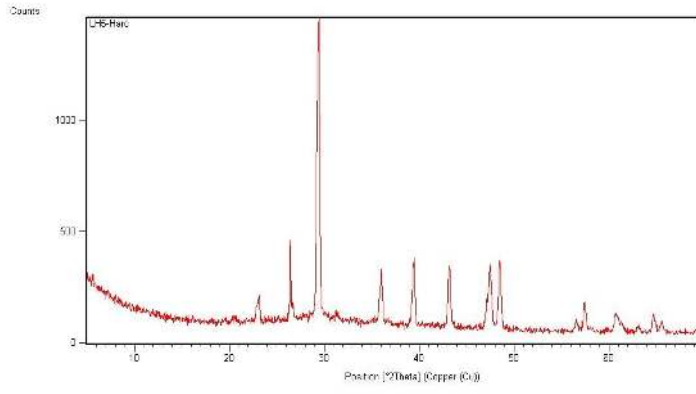
Şekil Ek.3.52. LH2 harcı XRD grafiği



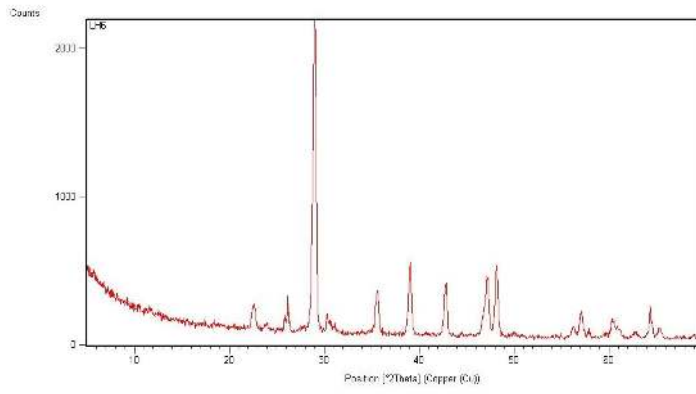
Şekil Ek.3.53. LH3 harcı XRD grafiği



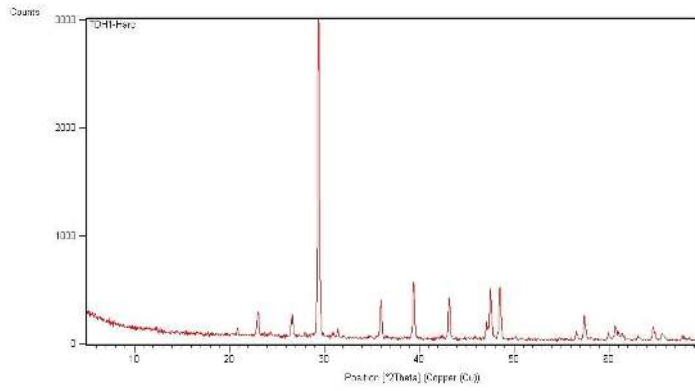
Şekil Ek.3.54. LH4 harcı XRD grafiği



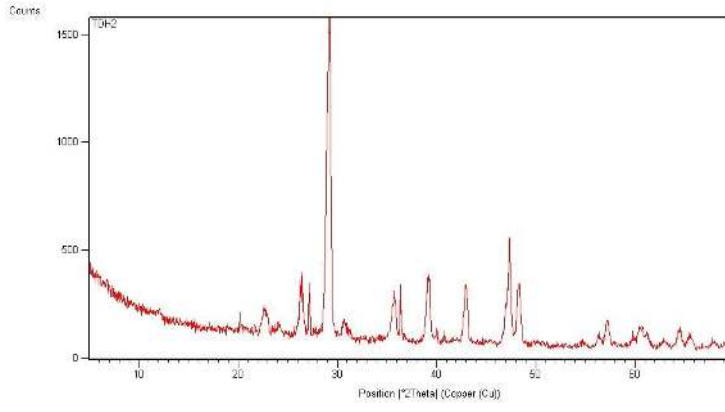
Şekil Ek.3.55. LH5 harcı XRD grafiği



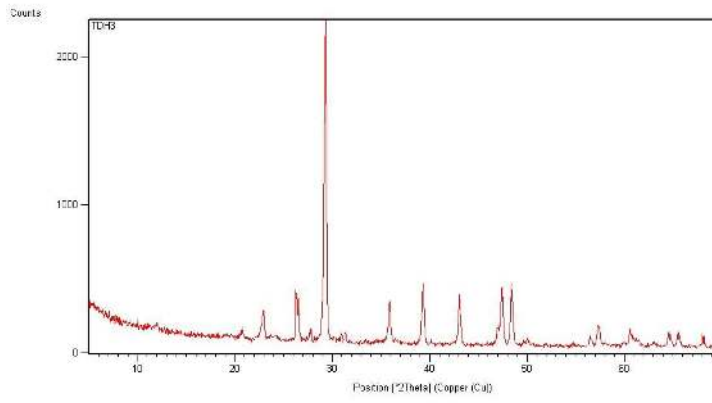
Şekil Ek.3.56. LH6 harcı XRD grafiği



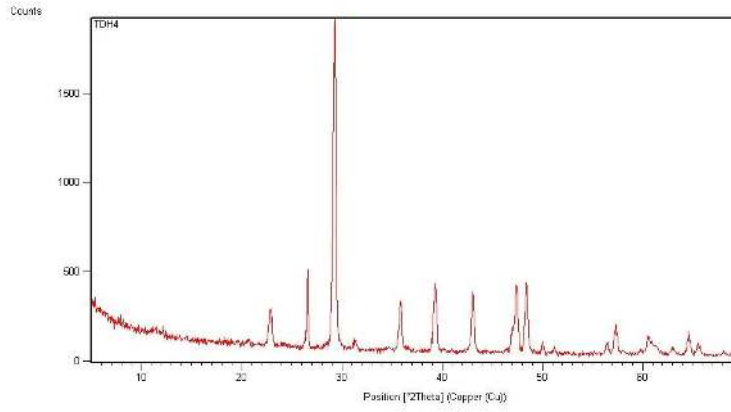
Şekil Ek.3.57. TDH1 harcı XRD grafiği



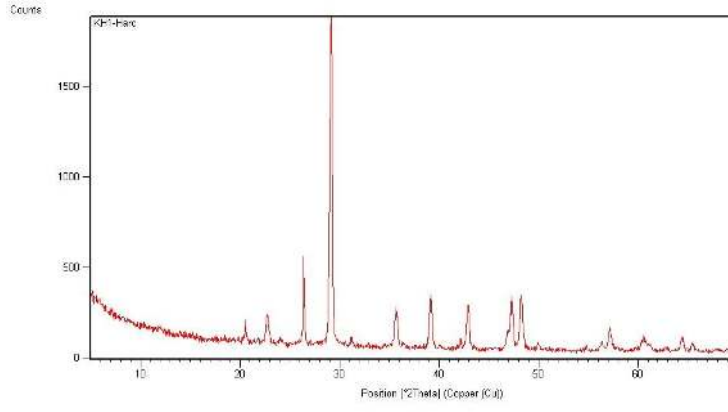
Şekil Ek.3.58. TDH2 harcı XRD grafiği



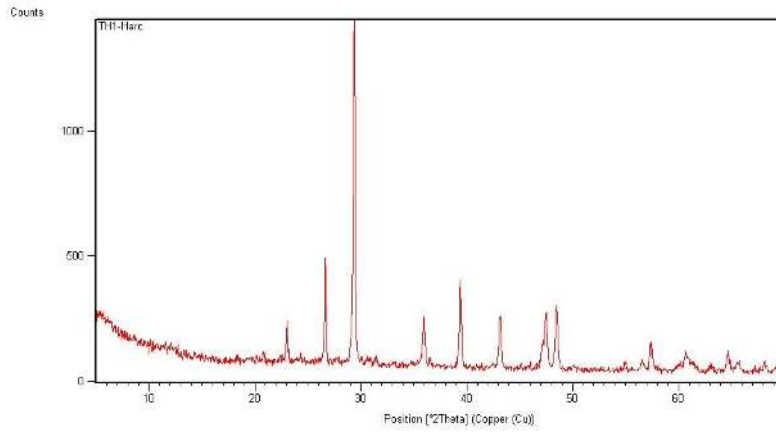
Şekil Ek.3.59. TDH3 harcı XRD grafiği



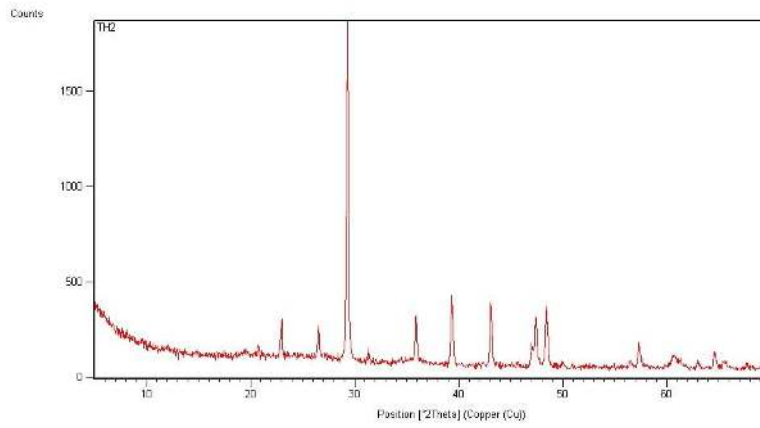
Şekil Ek.3.60. TDH4 harcı XRD grafiği



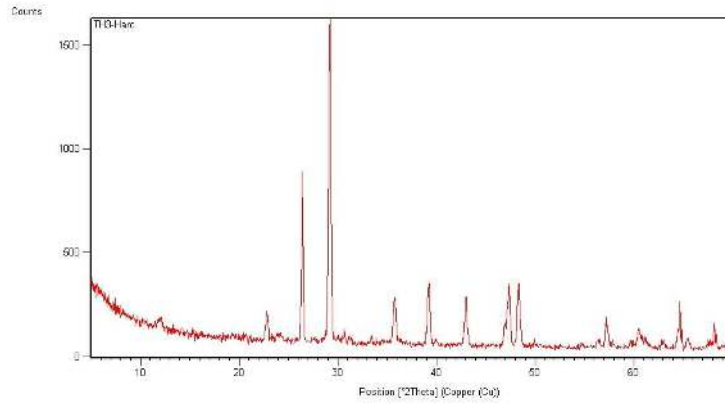
Şekil Ek.3.61. KH1 harcı XRD grafiği



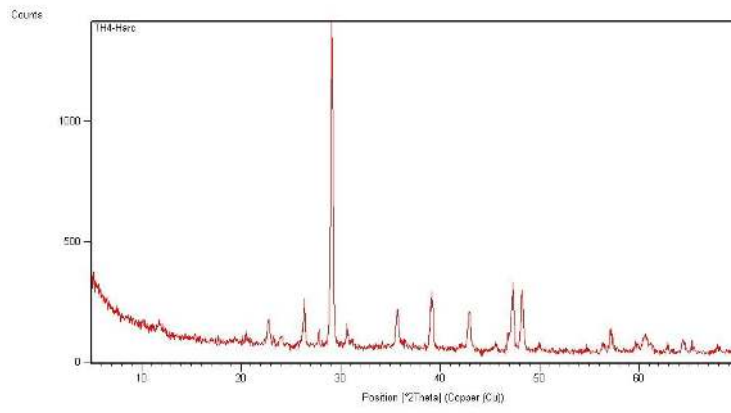
Şekil Ek.3.62. TH1 harcı XRD grafiği



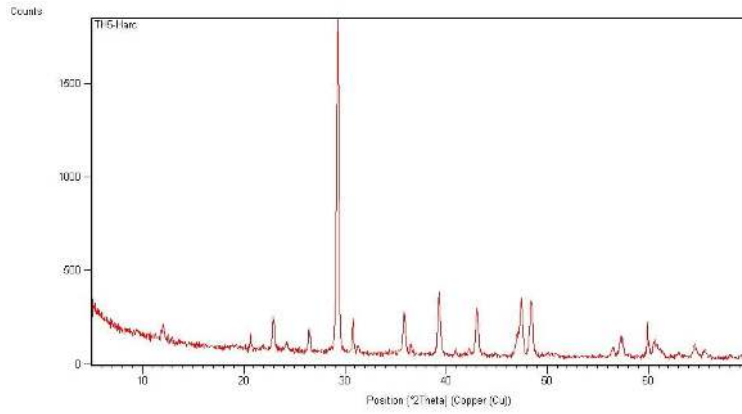
Şekil Ek.3.63. TH2 harcı XRD grafiği



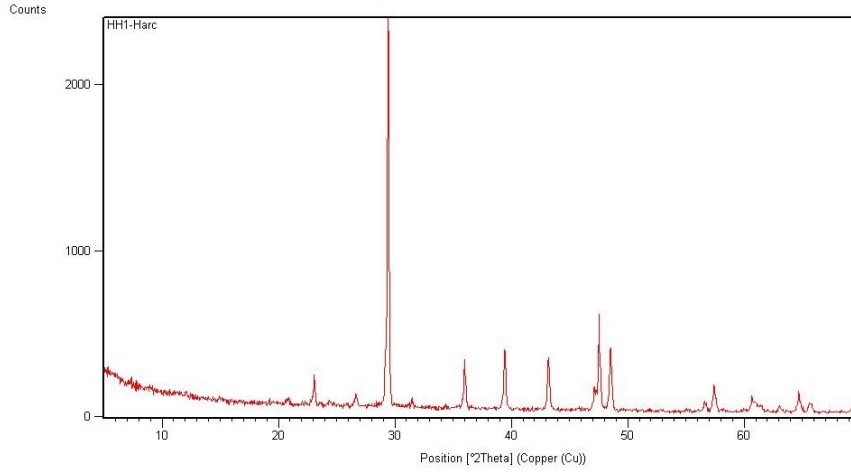
Şekil Ek.3.64. TH3 harcı XRD grafiği



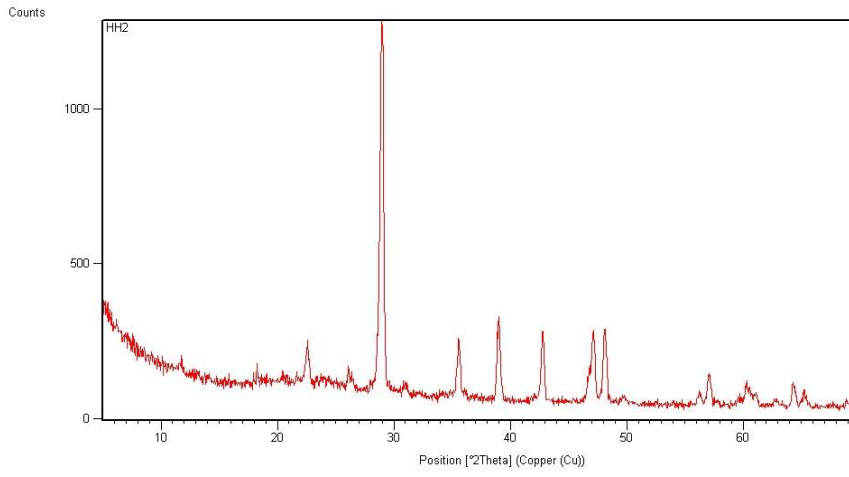
Şekil Ek.3.65. TH4 harcı XRD grafiği



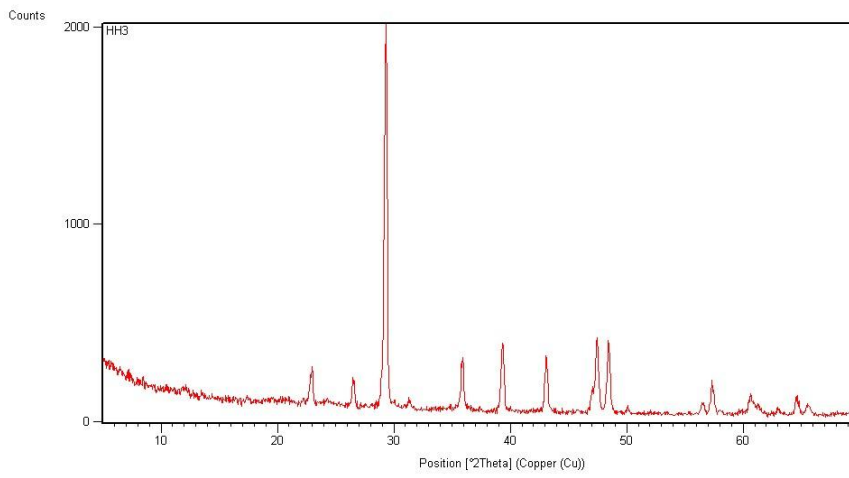
Şekil Ek.3.66. TH5 harcı XRD grafiği



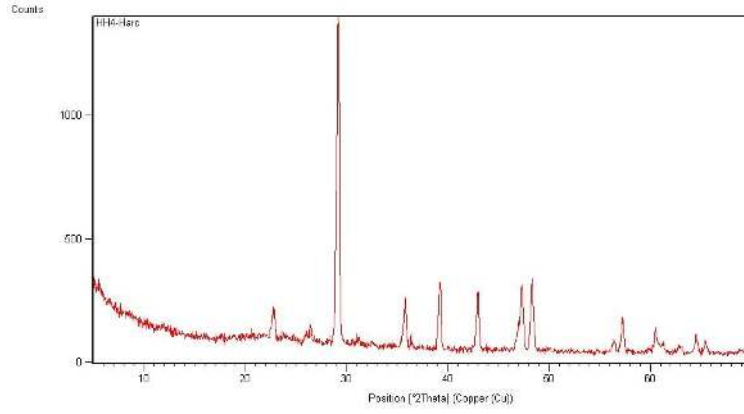
Şekil Ek.3.67. HH1 harcı XRD grafiği



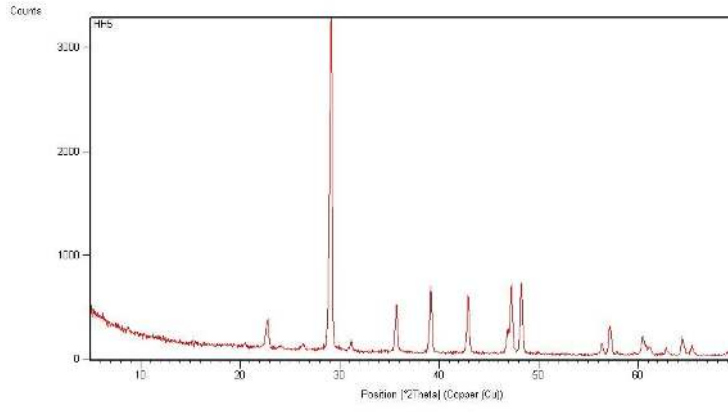
Şekil Ek.3.68. HH2 harcı XRD grafiği



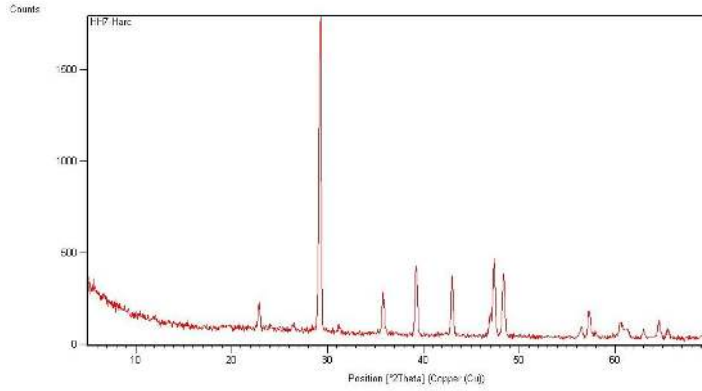
Şekil Ek.3.69. HH3 harcı XRD grafiği



Şekil Ek.3.70. HH4 harcı XRD grafiği

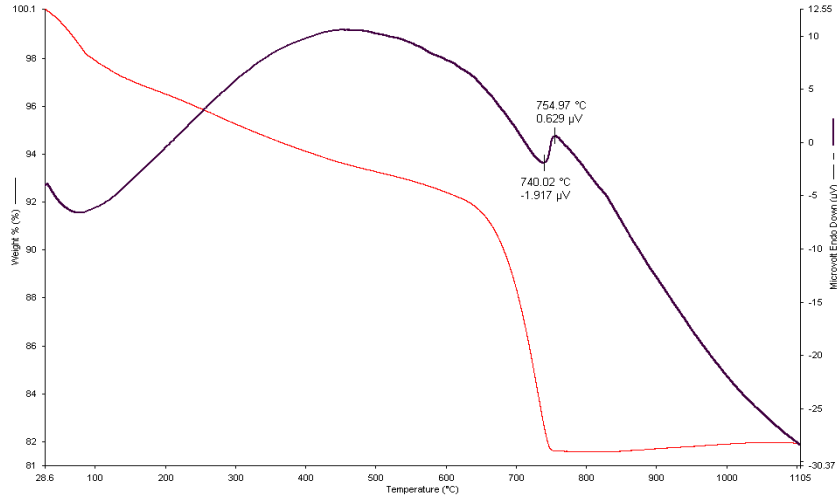


Şekil Ek.3.71. HH5 harcı XRD grafiği

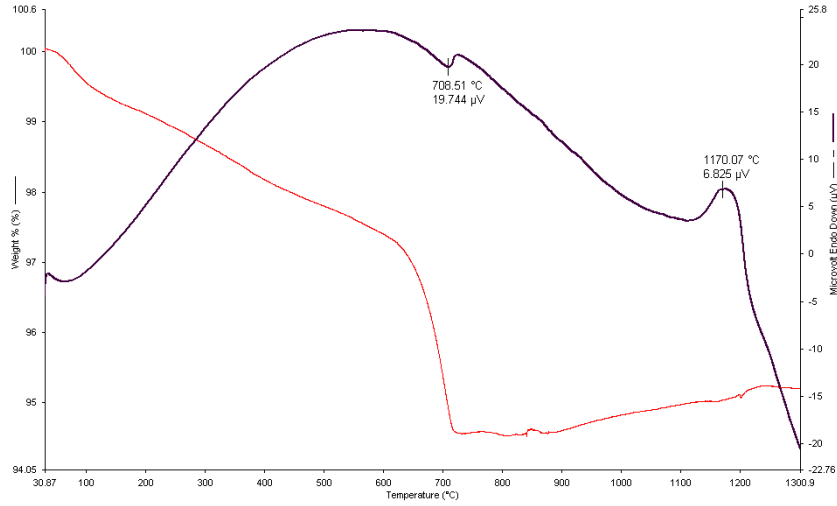


Şekil Ek.3.72. HH7 harcı XRD grafiği

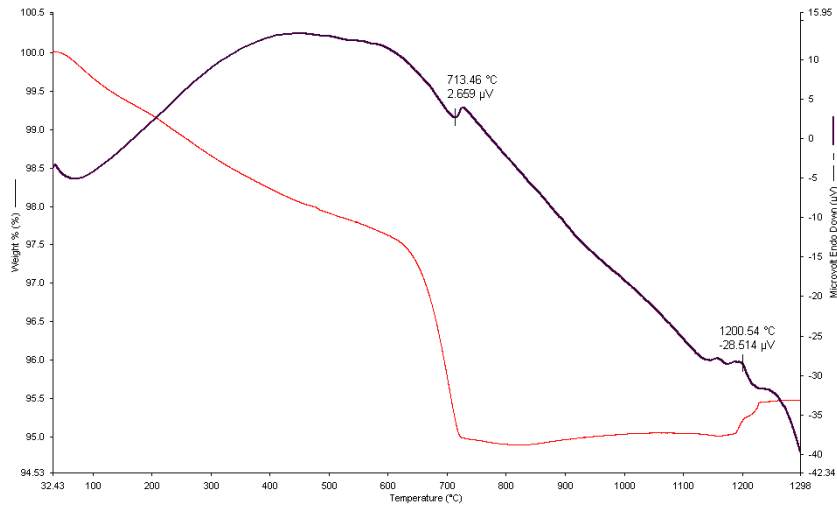
Ek-4.Termal Analizler



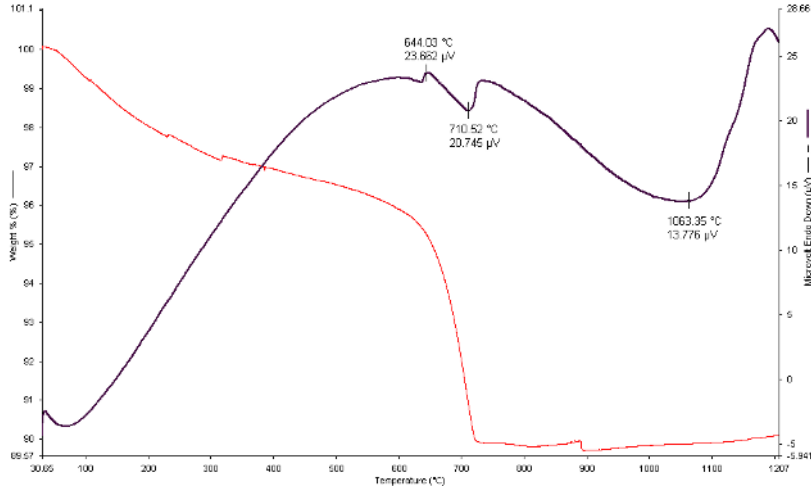
Şekil Ek.4.1. PT2 tuğla numune TG/DTA grafiği



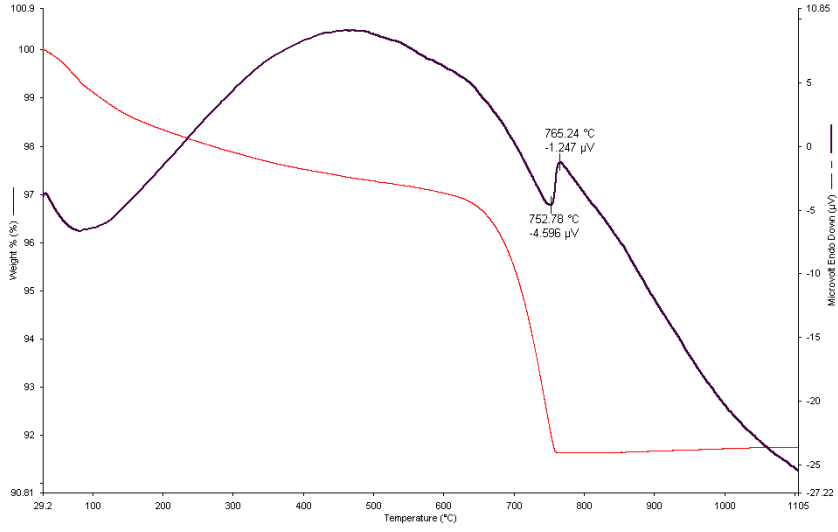
Şekil Ek.4.2. ST4 tuğla numune TG/DTA grafiği



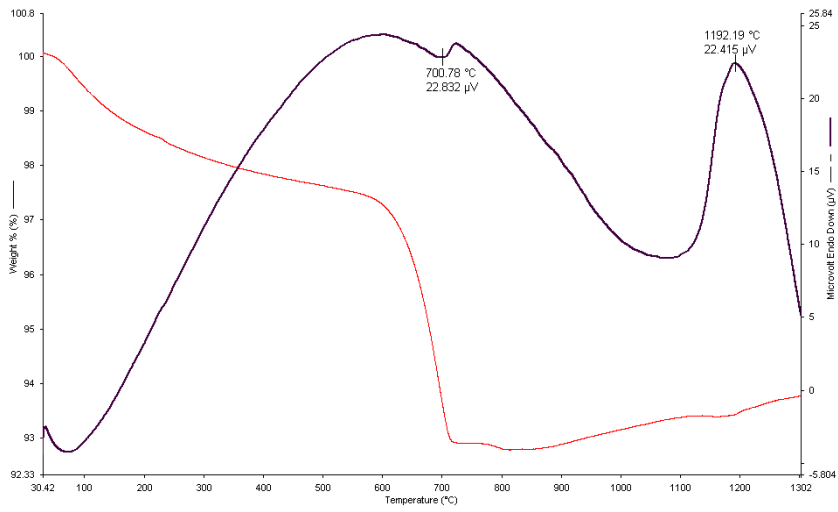
Şekil Ek.4.3. GT2 tuğla numune TG/DTA grafiği



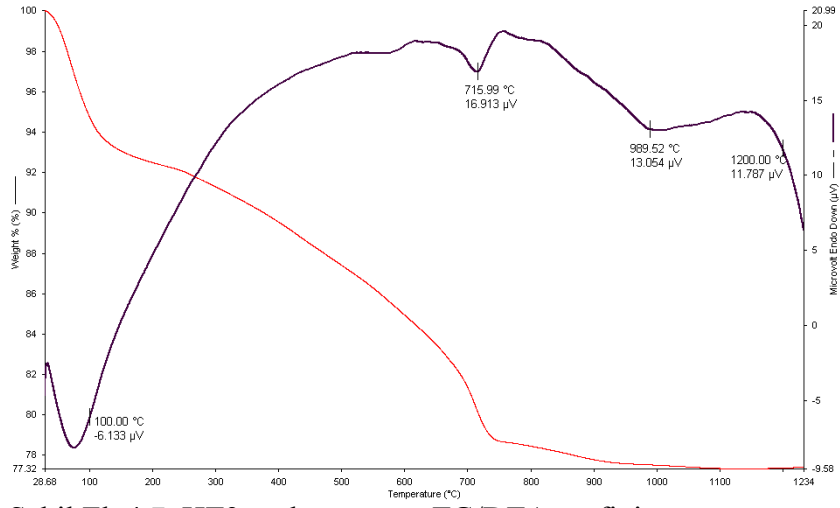
Şekil Ek.4.4. LT1 tuğla numune TG/DTA grafiği



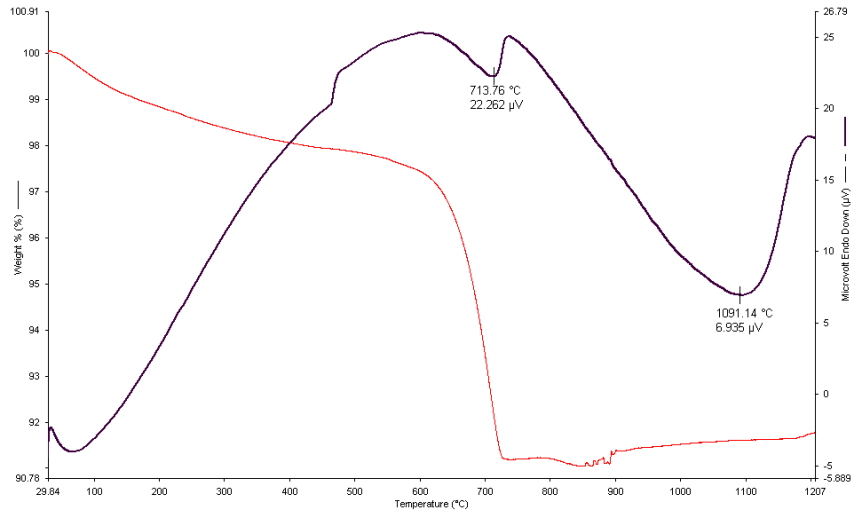
Şekil Ek.4.5. TT1 tuğla numune TG/DTA grafiği



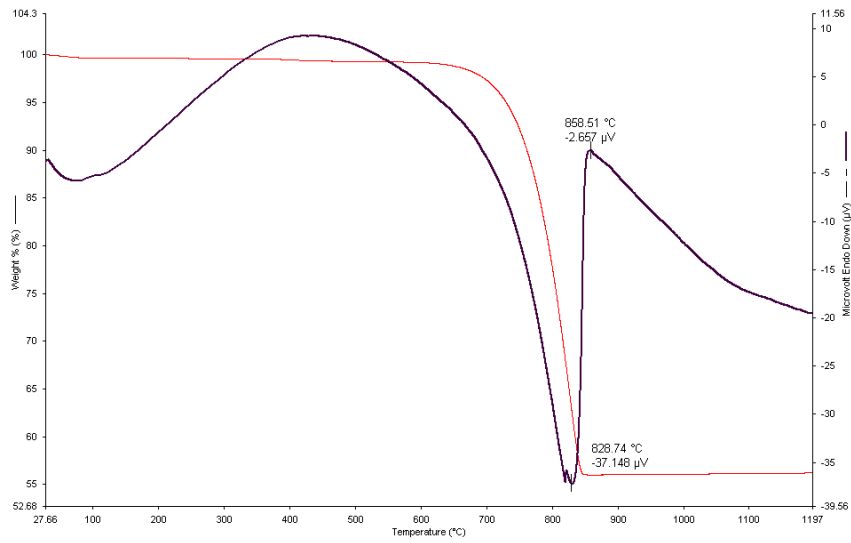
Şekil Ek.4.6. HT2 tuğla numune TG/DTA grafiği



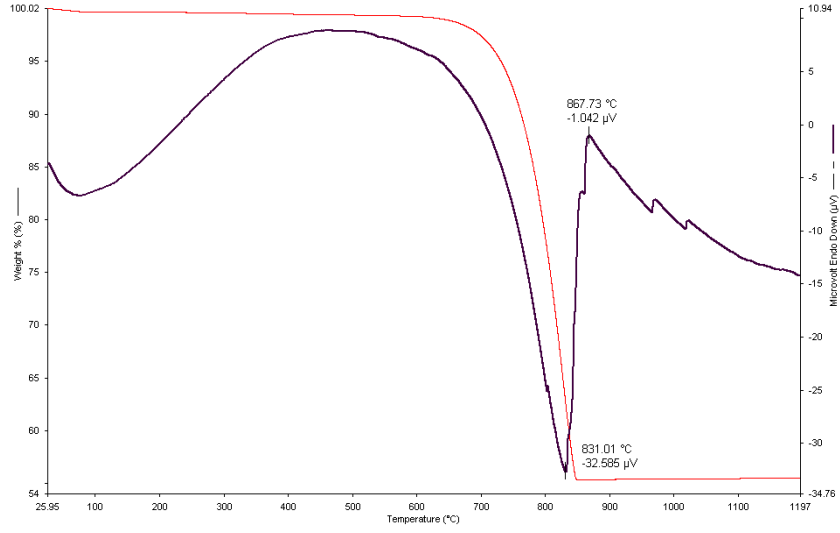
Şekil Ek.4.7. HT3 tuğla numune TG/DTA grafiği



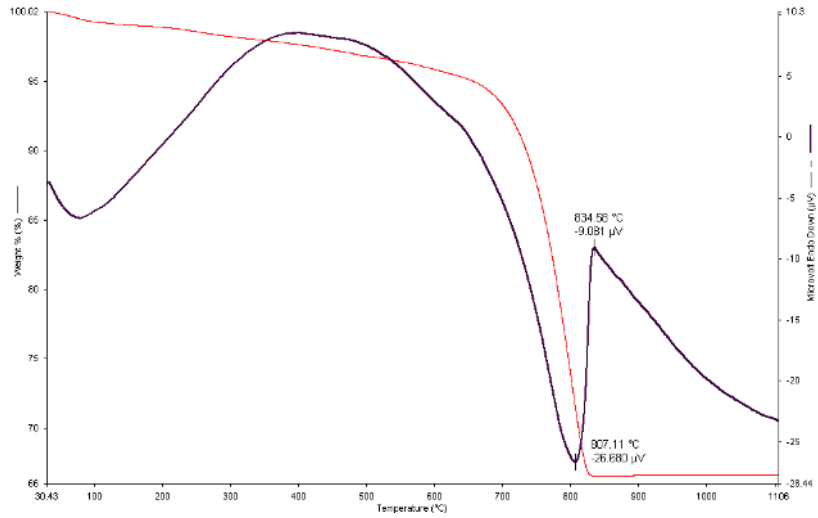
Şekil Ek.4.8. HT4 tuğla numune TG/DTA grafiği



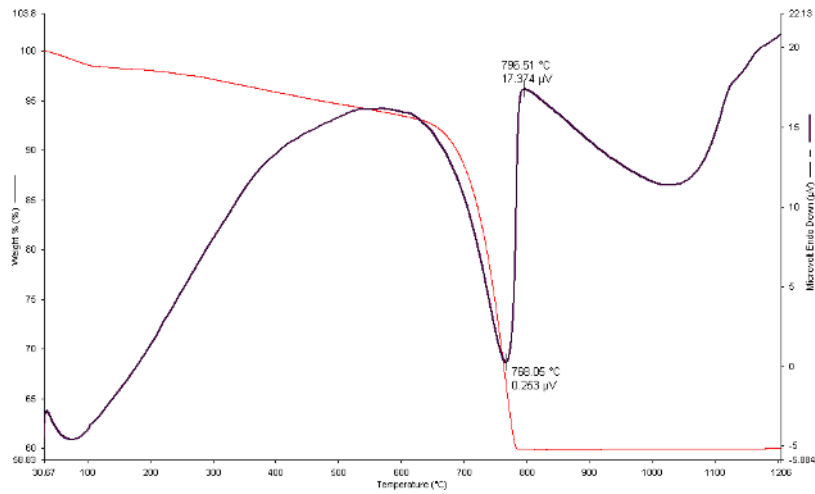
Şekil Ek.4.9. PS1 taş numune TG/DTA grafiği



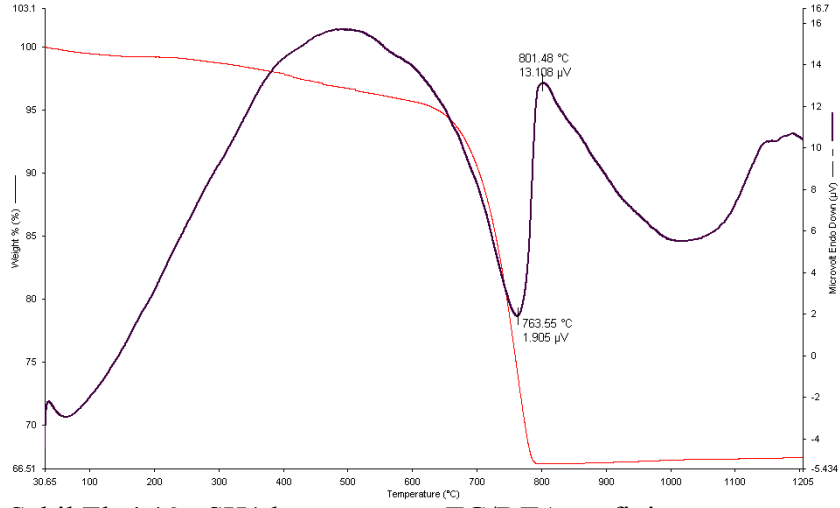
Şekil Ek.4.10. TS1 taş numune TG/DTA grafiği



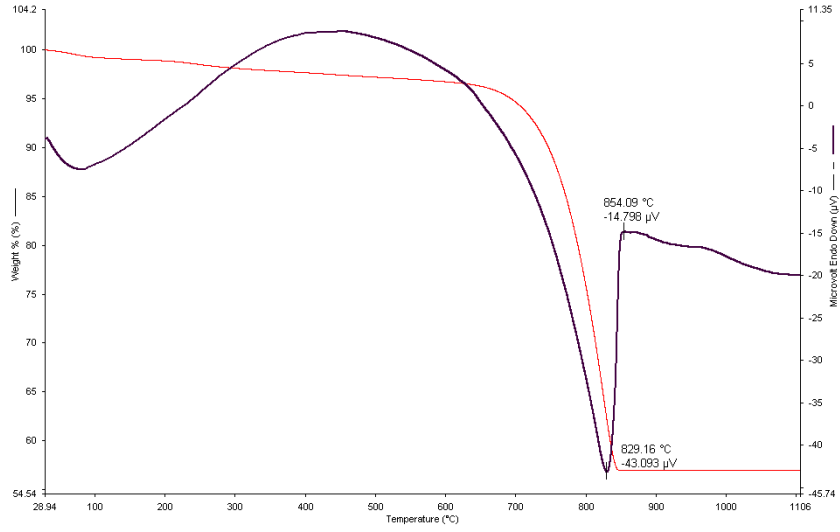
Şekil Ek.4.11. PP3 sıva numune TG/DTA grafiği



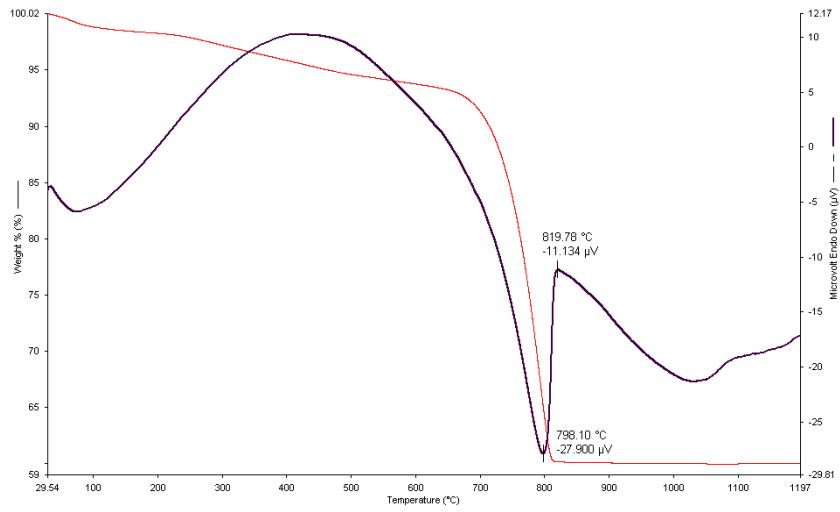
Şekil Ek.4.12. PH2 harç numune TG/DTA grafiği



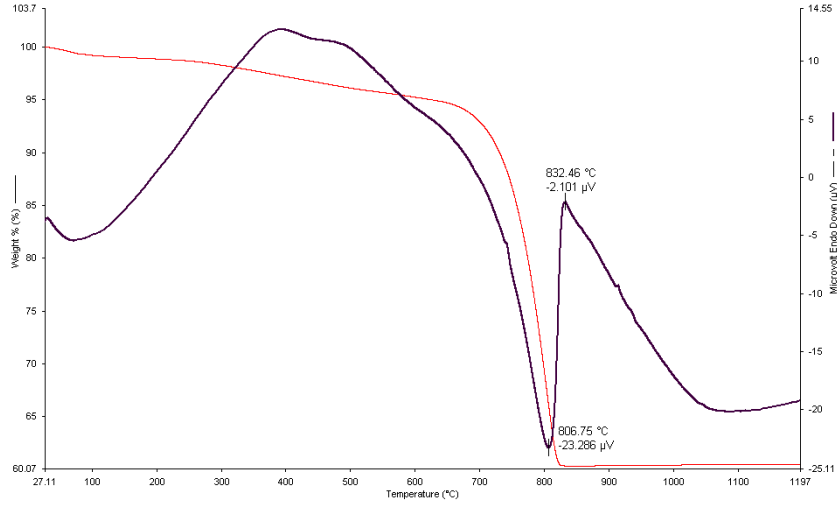
Şekil Ek.4.13. SH1 harç numune TG/DTA grafiği



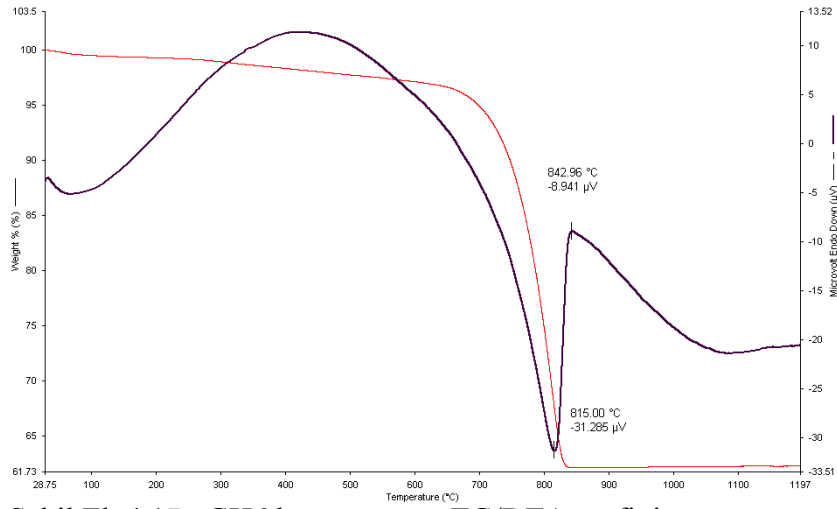
Şekil Ek.4.14. SH3 harç numune TG/DTA grafiği



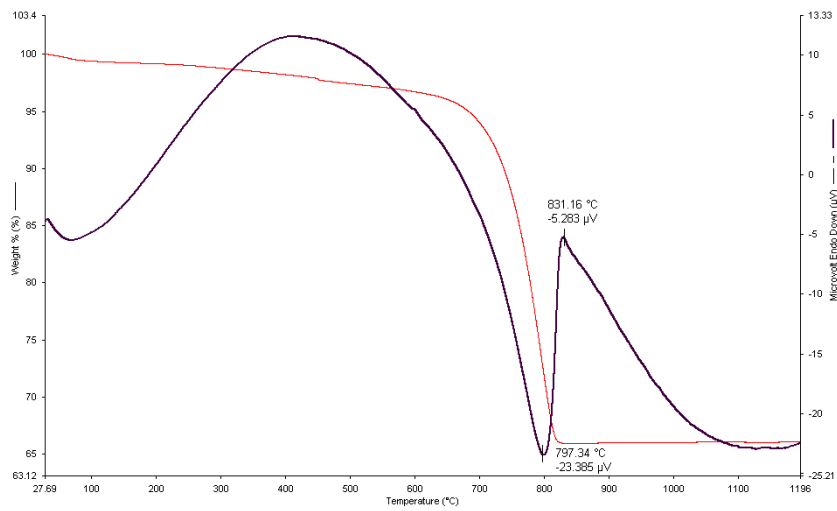
Şekil Ek.4.15. GH2 harç numune TG/DTA grafiği



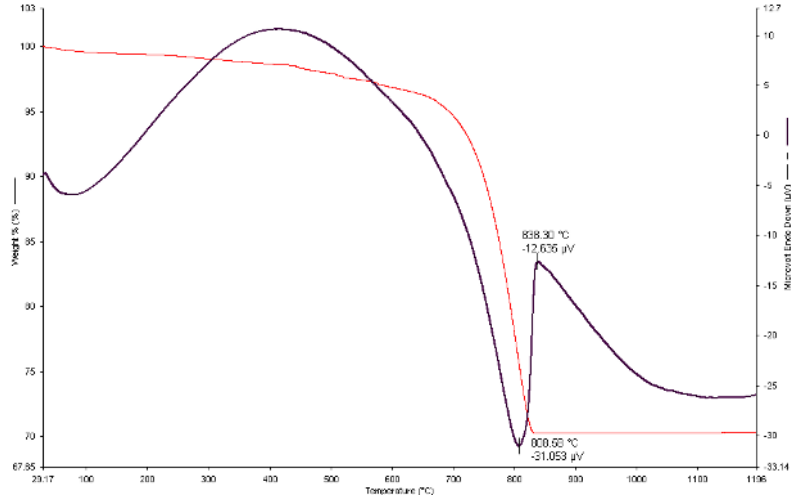
Şekil Ek.4.16. GH5 harç numune TG/DTA grafiği



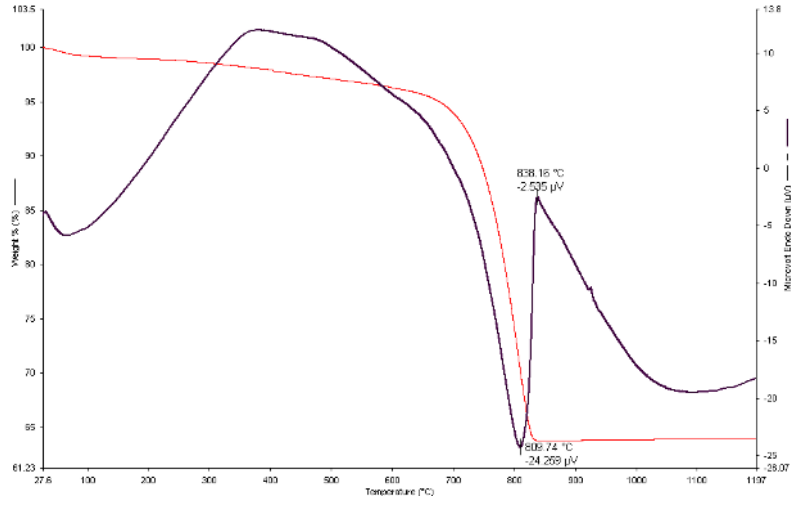
Şekil Ek.4.17. GH6 harç numune TG/DTA grafiği



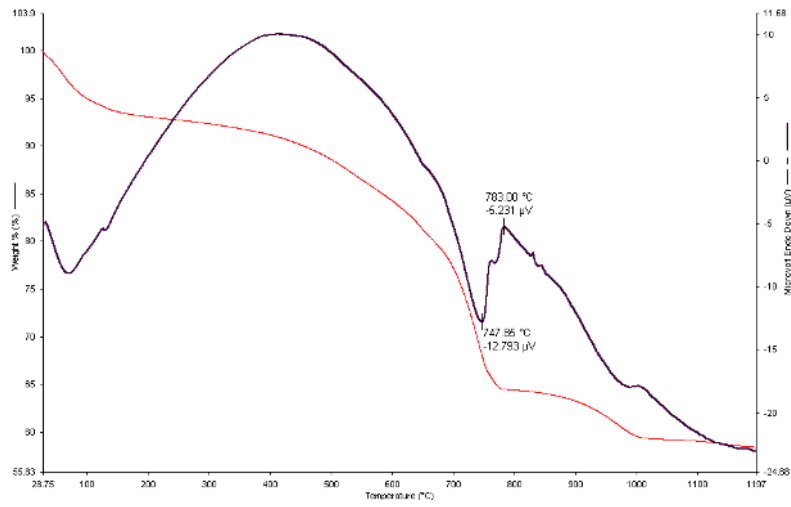
Şekil Ek.4.18. GH8 harç numune TG/DTA grafiği



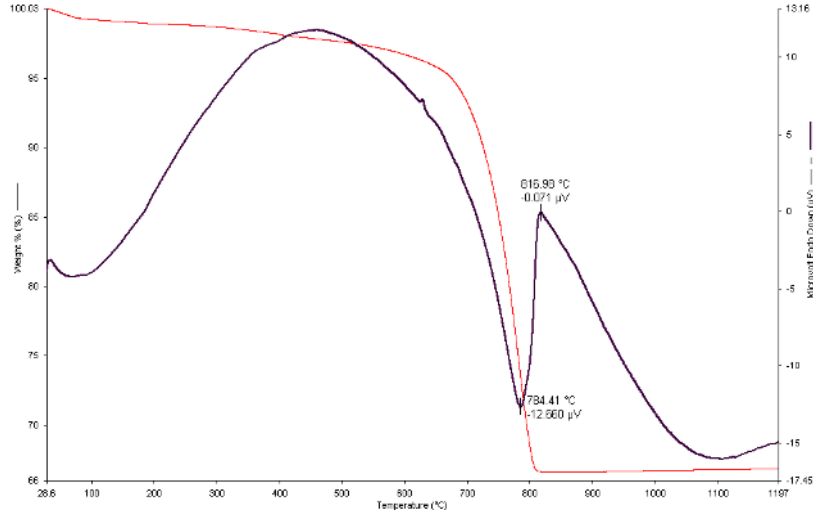
Şekil Ek.4.19. LH1 harç numune TG/DTA grafiği



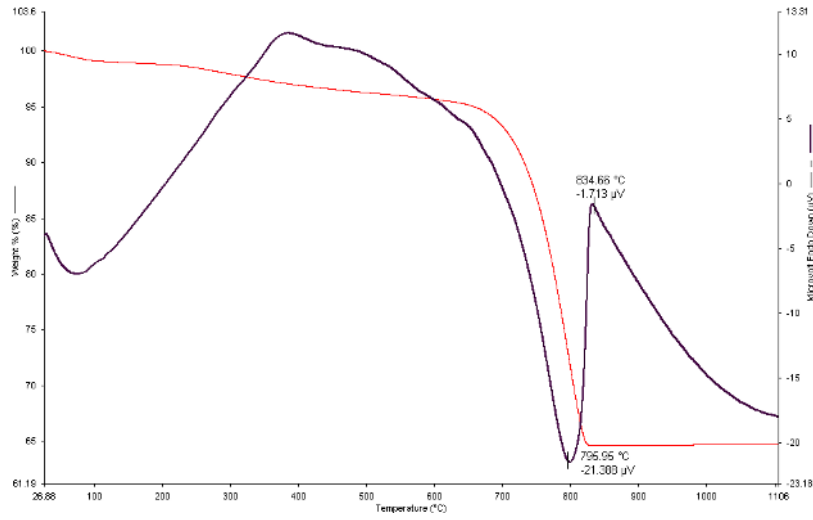
Şekil Ek.4.20. LH3 harç numune TG/DTA grafiği



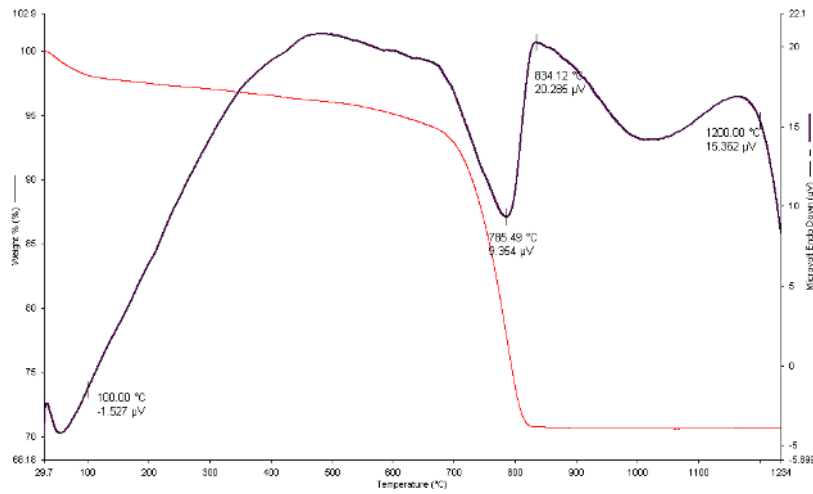
Şekil Ek.4.21. LH5 harç numune TG/DTA grafiği



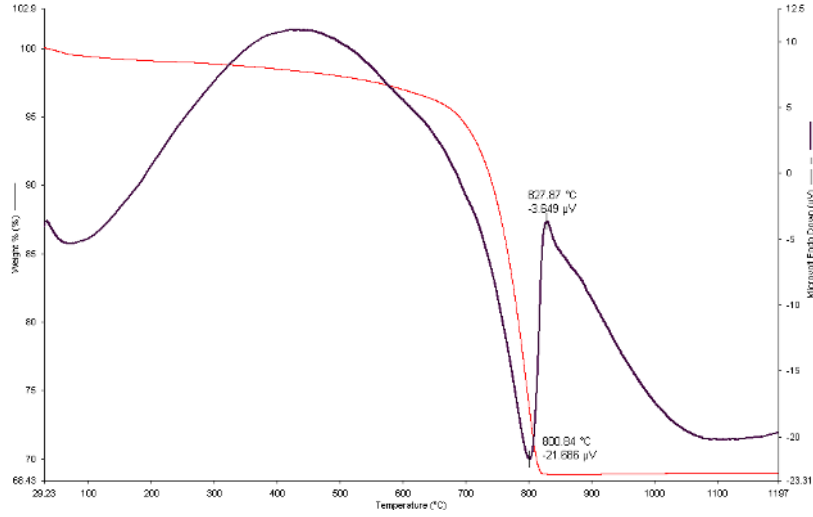
Şekil Ek.4.22. TDH1 harç numune TG/DTA grafiği



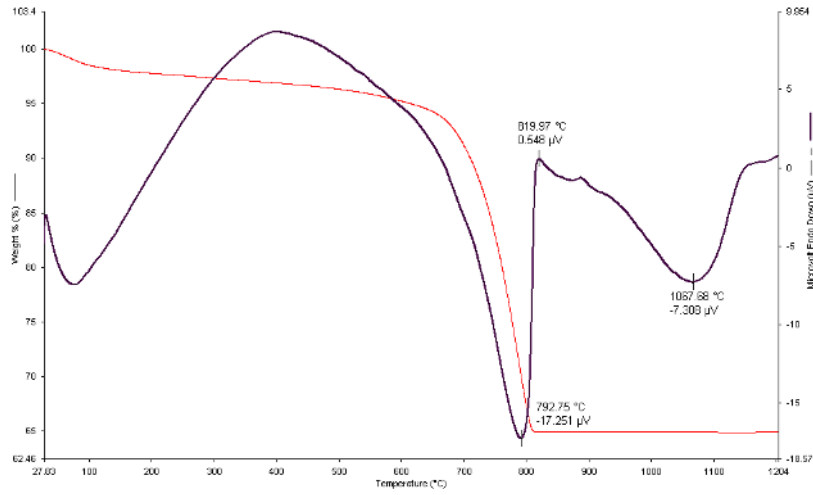
Şekil Ek.4.23. KH1 harç numune TG/DTA grafiği



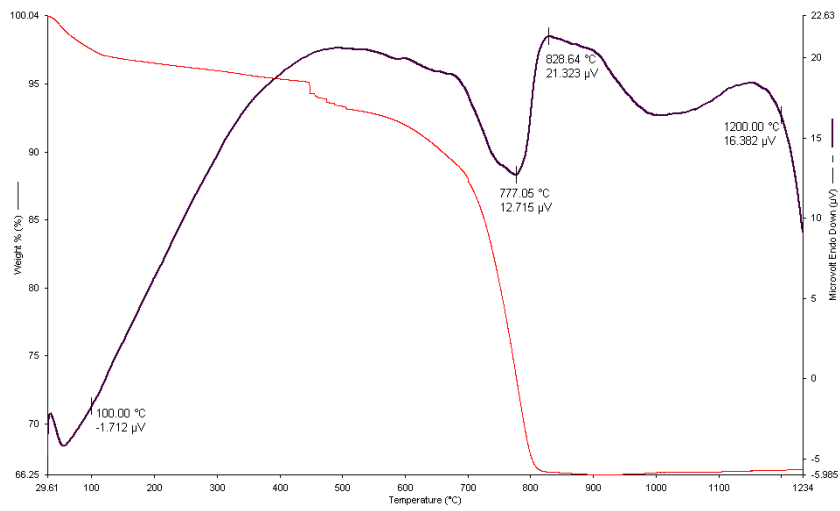
Şekil Ek.4.24. TH1 harç numune TG/DTA grafiği



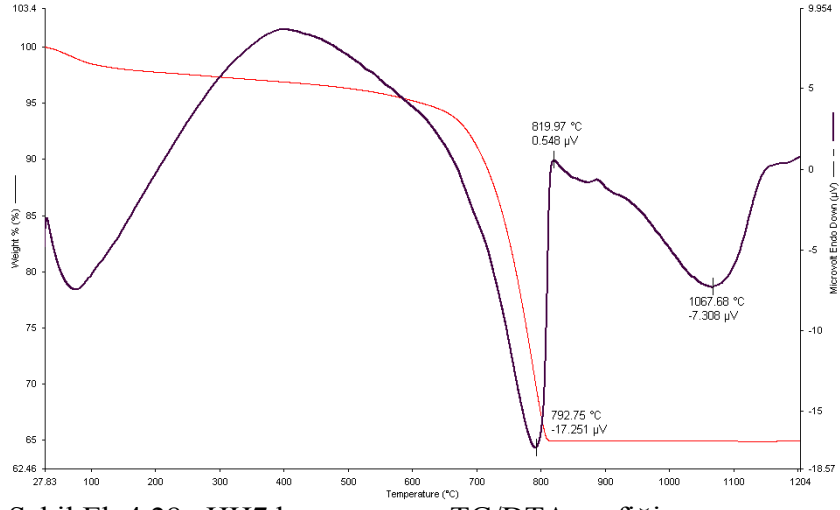
Şekil Ek.4.25. TH3 harç numune TG/DTA grafiği



Şekil Ek.4.26. HH1 harç numune TG/DTA grafiği

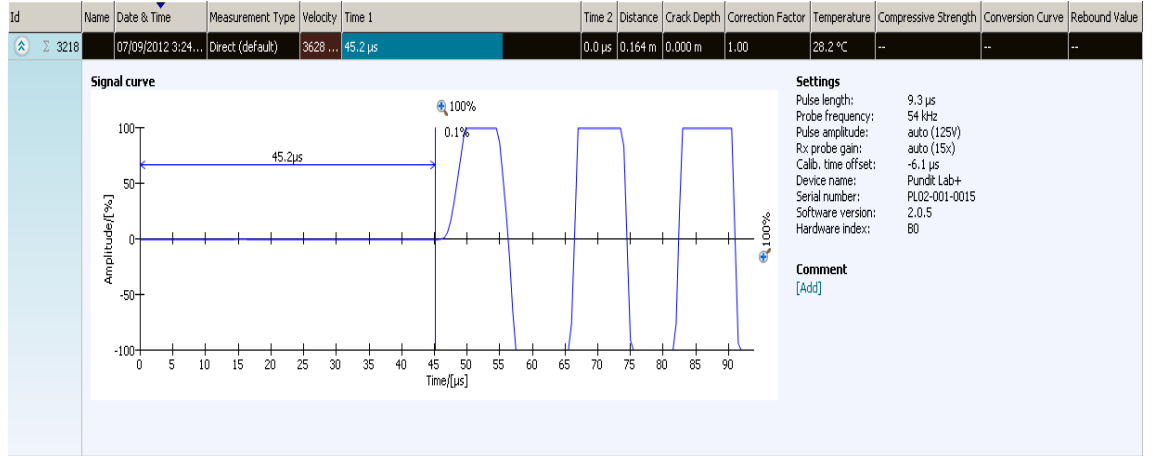


Şekil Ek.4.27. HH4 harç numune TG/DTA grafiği

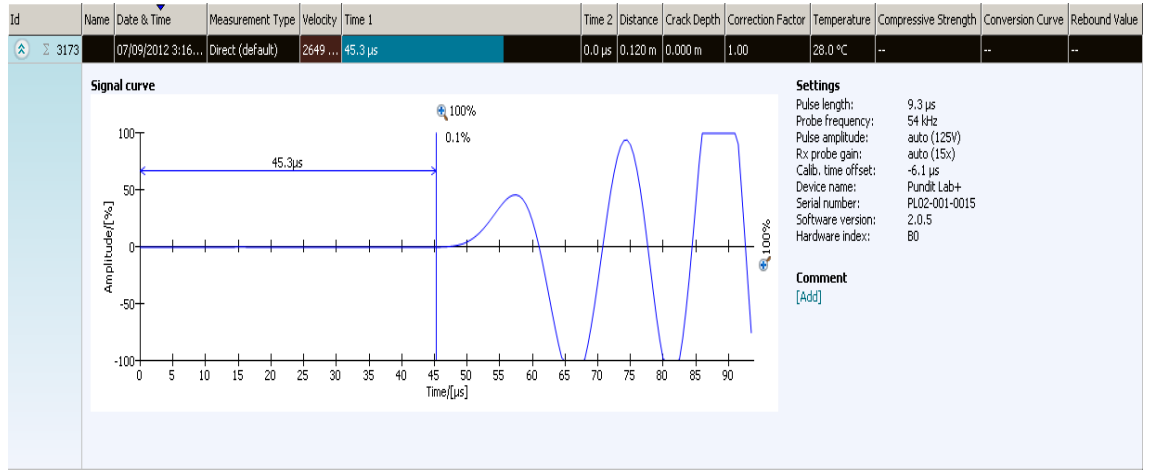


Şekil Ek.4.28. HH7 harç numune TG/DTA grafiği

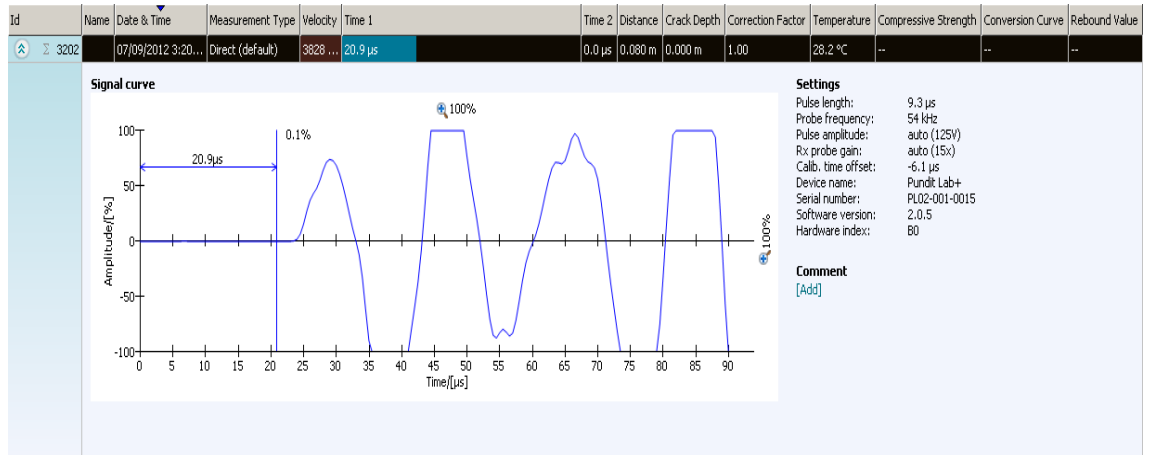
Ek-5. Ultrases hızı



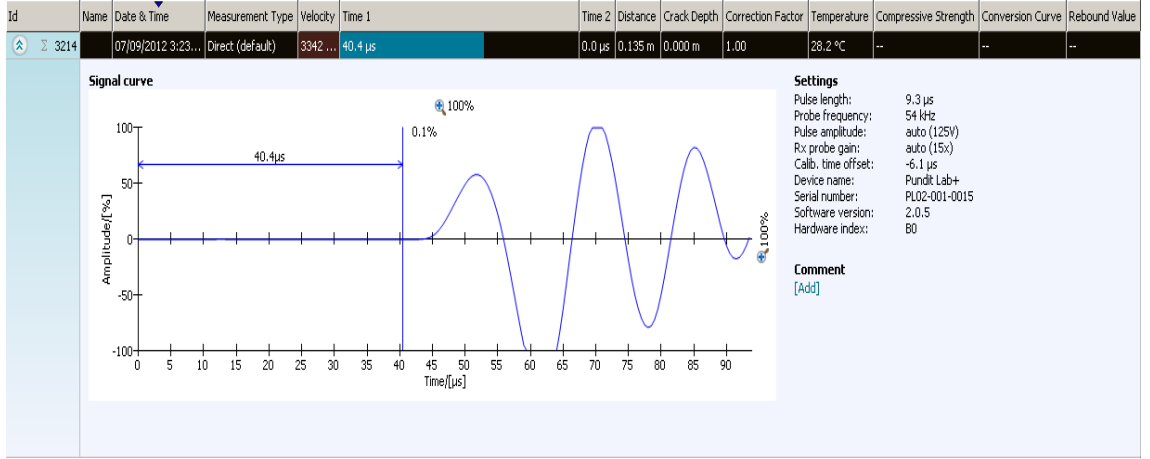
Şekil Ek.5.1. PT2 tuğla numune ultrases grafiği



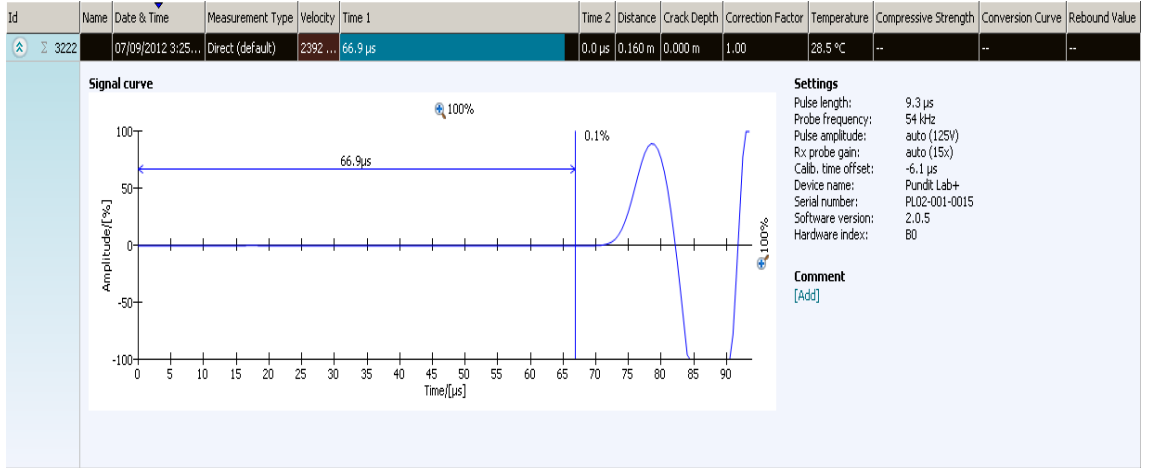
Şekil Ek.5.2. ST4 tuğla numune ultrases grafiği



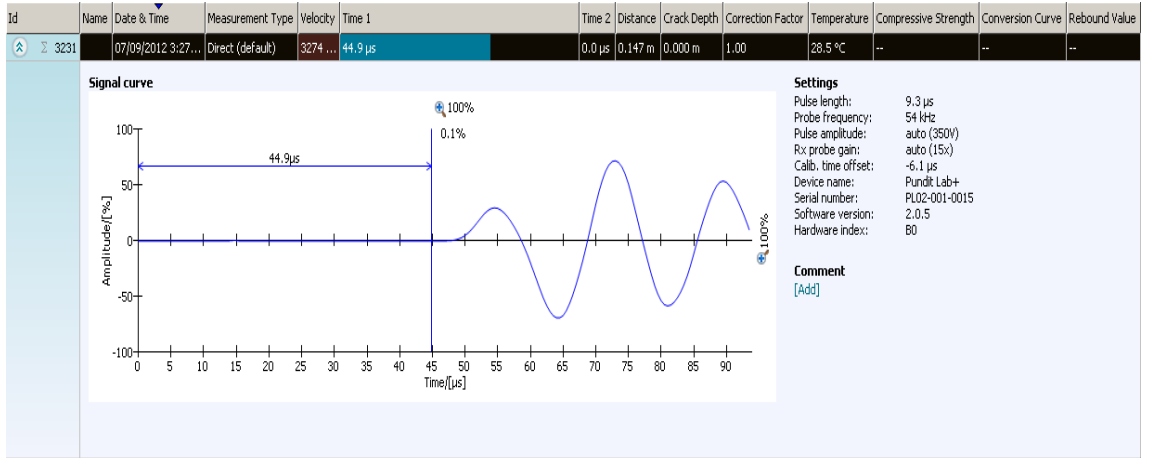
Şekil Ek.5.3. GT2 tuğla numune ultrases grafiği



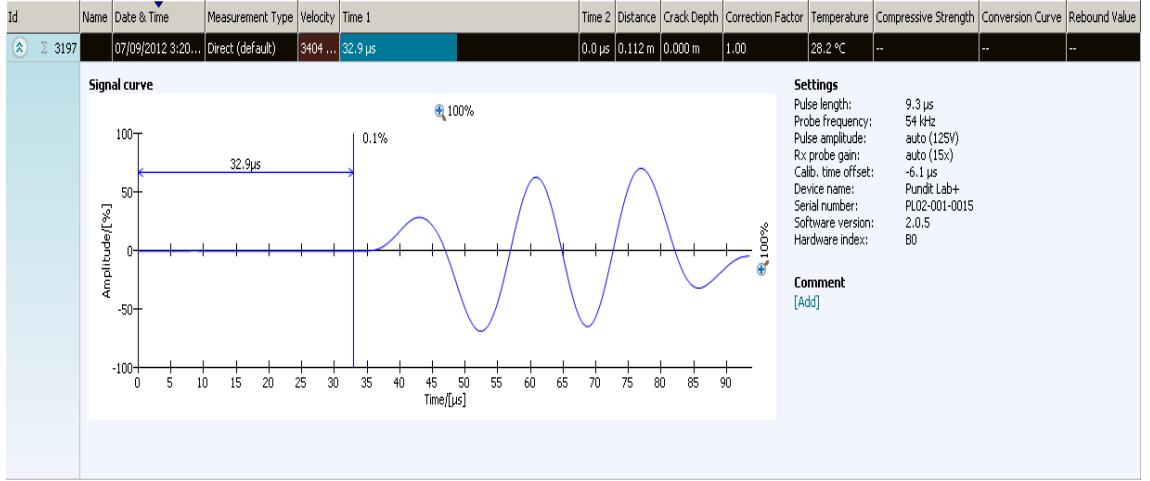
Şekil Ek.5.4. GT3 tuğla numune ultrases grafiği



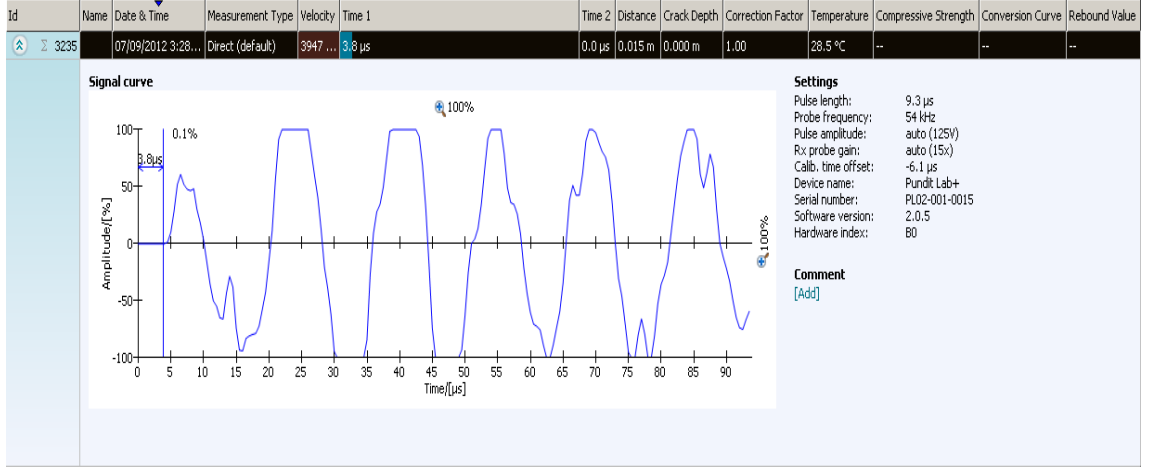
Şekil Ek.5.5. GT11 tuğla numune ultrases grafiği



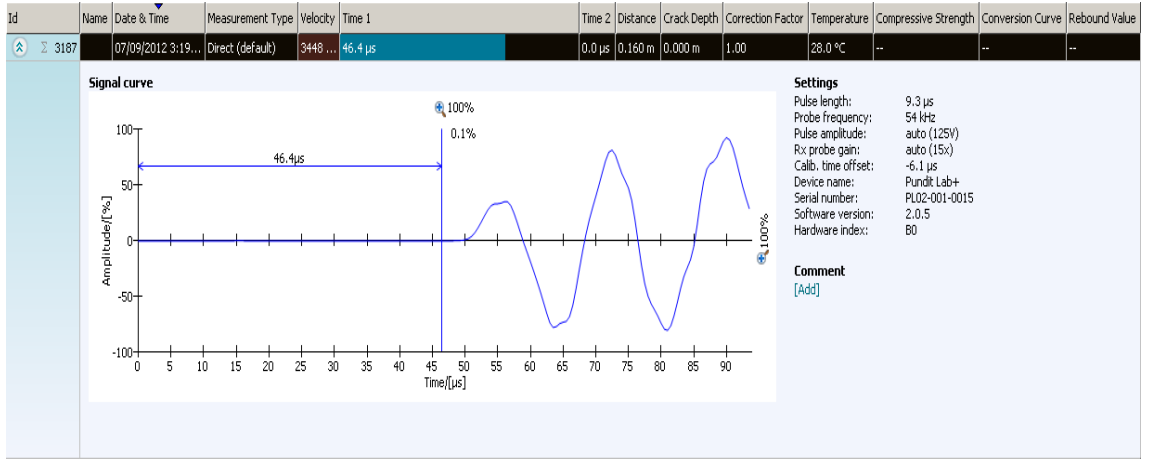
Şekil Ek.5.6. LT1 tuğla numune ultrases grafiği



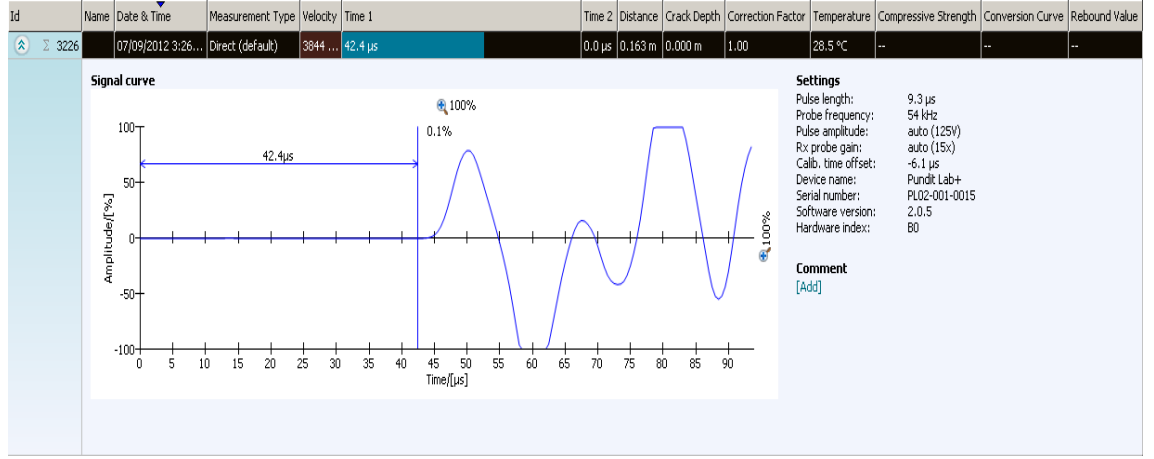
Şekil Ek.5.7. LT2 tuğla numune ultrases grafiği



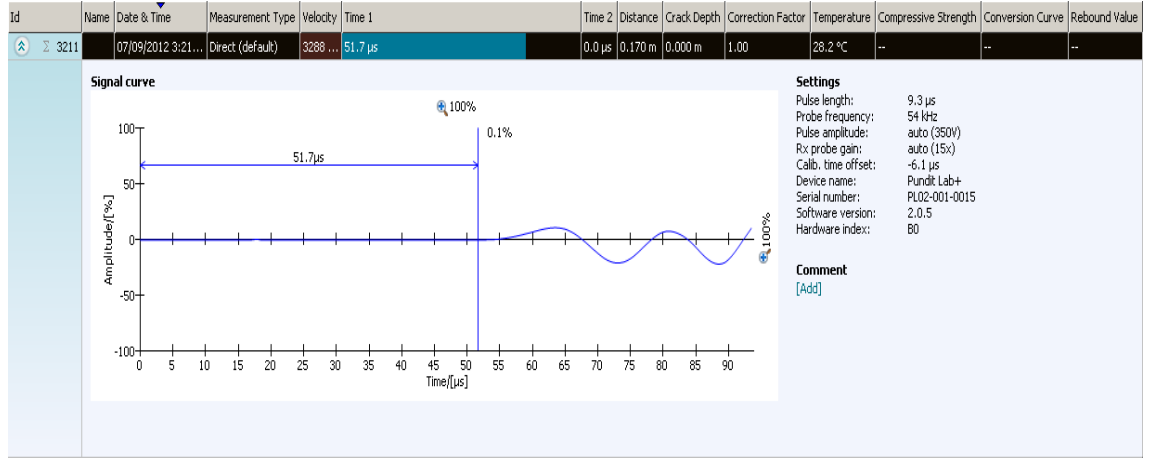
Şekil Ek.5.8. KT1 tuğla numune ultrases grafiği



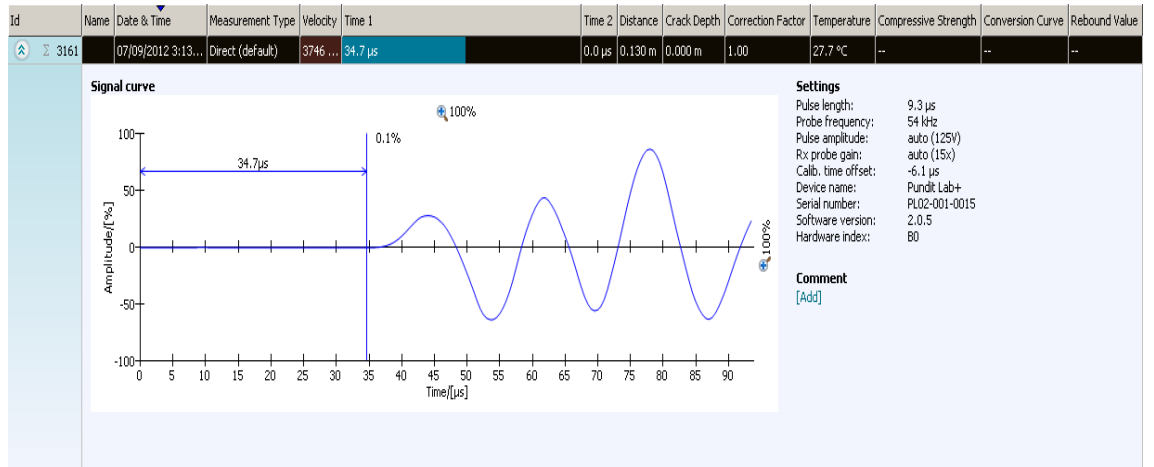
Şekil Ek.5.9. TT1 tuğla numune ultrases grafiği



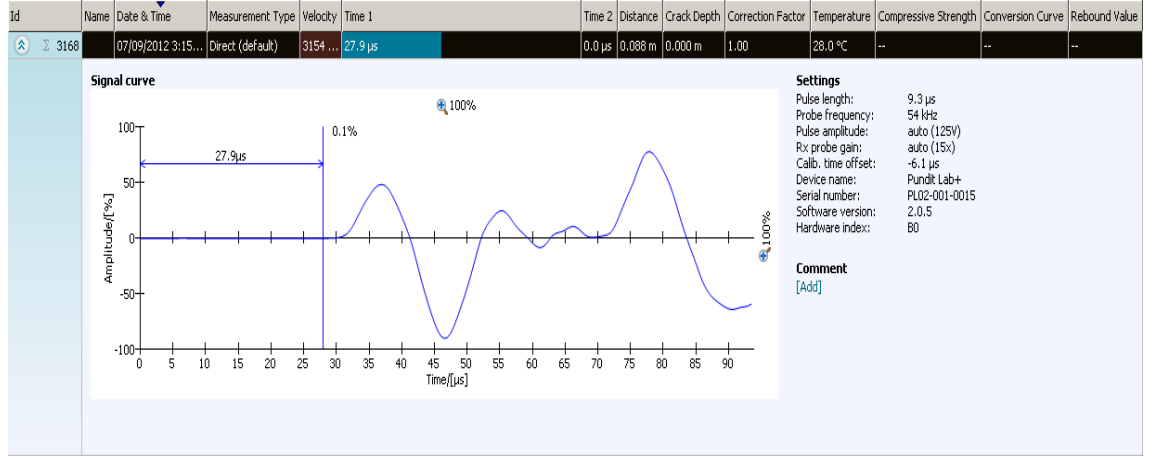
Şekil Ek.5.10. HT2 tuğla numune ultrases grafiği



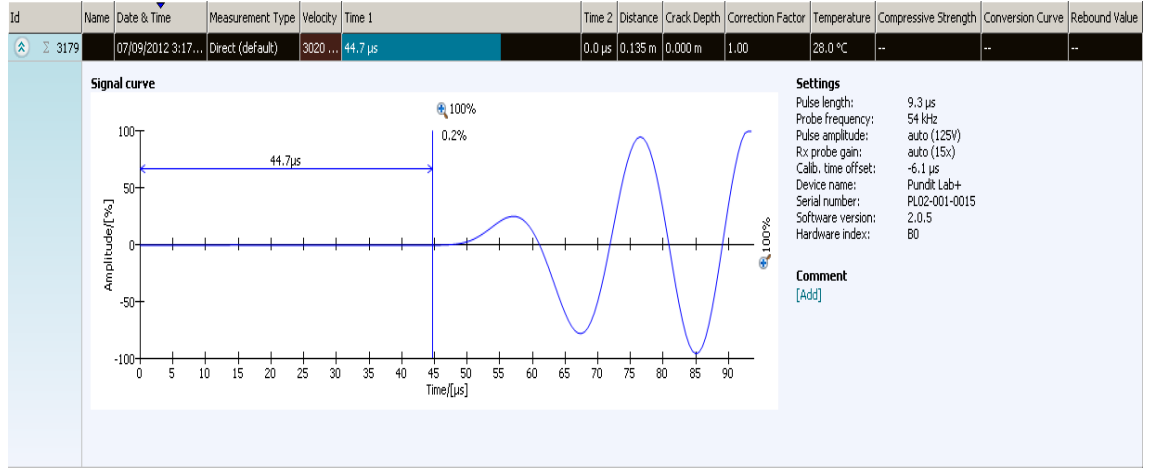
Şekil Ek.5.11. HT3 tuğla numune ultrases grafiği



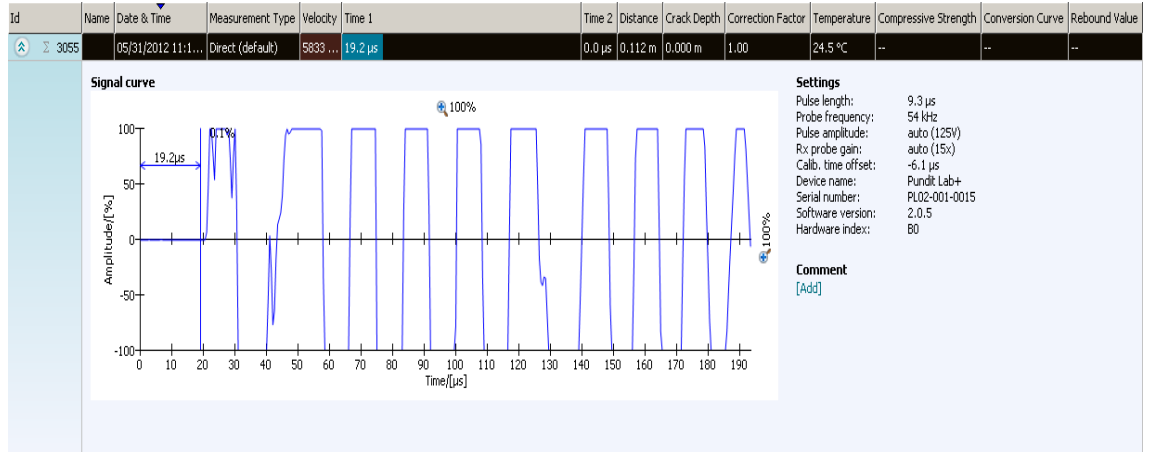
Şekil Ek.5.12. HT4 tuğla numune ultrases grafiği



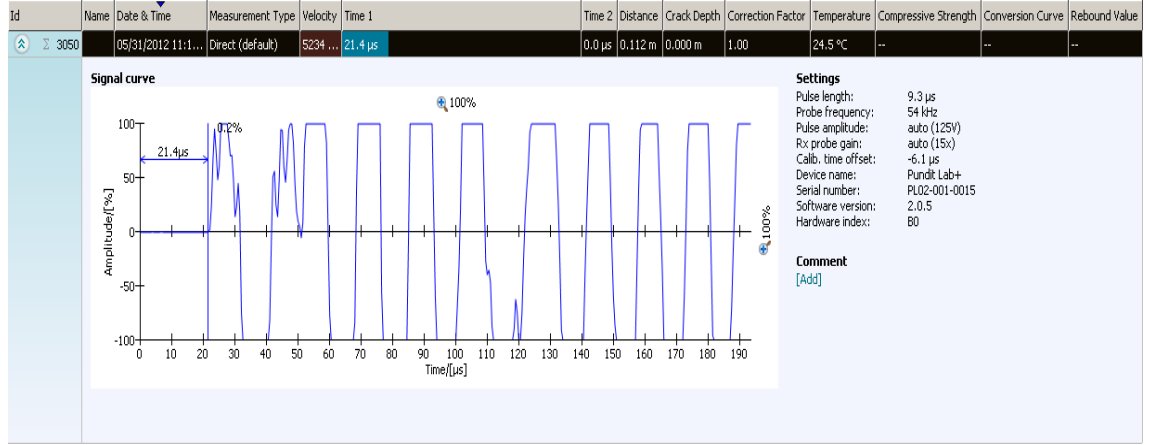
Şekil Ek.5.13. HT5 tuğla numune ultrases grafiği



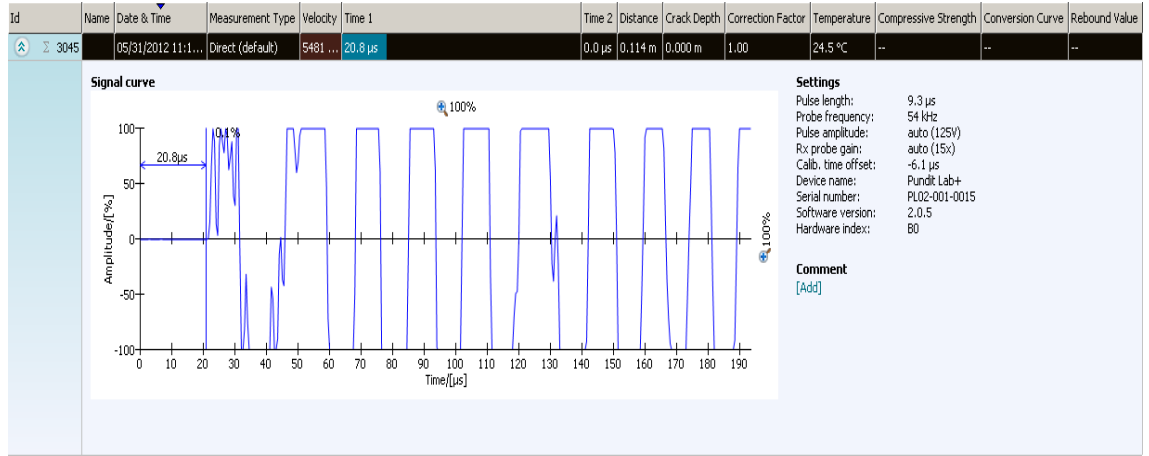
Şekil Ek.5.14. HT6 tuğla numune ultrases grafiği



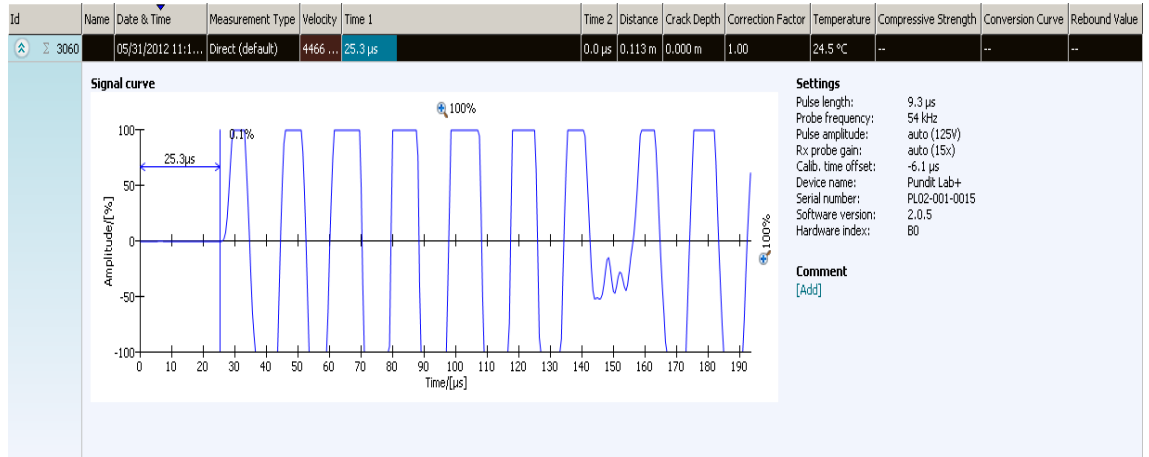
Şekil Ek.5.15. PS1-1 taş numune ultrases grafiği



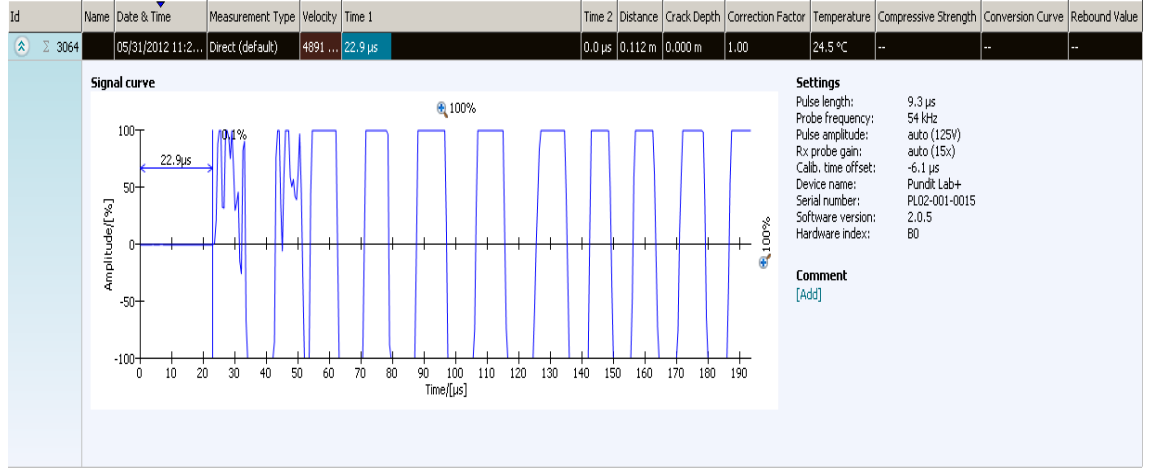
Şekil Ek.5.16. PS1-2 taş numune ultrases grafiği



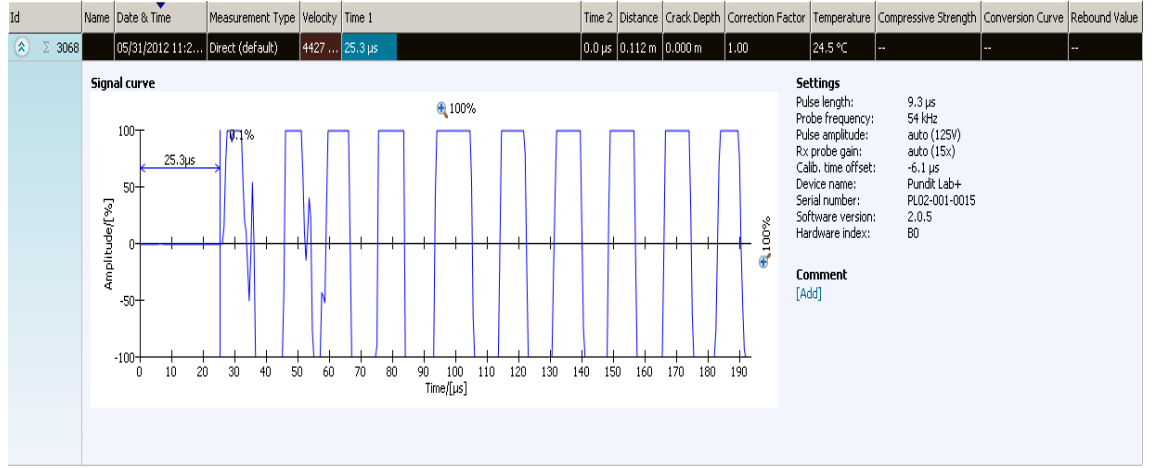
Şekil Ek.5.17. PS1-3 taş numune ultrases grafiği



Şekil Ek.5.18. TS1-1 taş numune ultrases grafiği



Şekil Ek.5.19. TS1-2 taş numune ultrases grafiği



Şekil Ek.5.20. TS1-3 taş numune ultrases grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Cem OĞUZ 1965 yılında Antalya’da doğdu. İlk öğrenimini Alanya’da, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 1982 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 1986 yılında mezun oldu. Ekim 1986-Şubat 1989 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 1986-1988 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi’nde Araştırma Görevlisi, 1988-1991 tarihleri arasında Akdeniz Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığında Mühendis, 1991 tarihinden beri Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu’nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.