

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



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

Naim IŞIK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASPENDOS'TA TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN HARÇLARIN
ÖZELLİKLERİ

Naim IŞIK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 09.03./2019... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ (Danışman)

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ

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

ÖZET

ASPENDOS'TA TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

Naim IŞIK

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ

Mayıs 2019; 170 sayfa

Bu tez çalışması, Antalya İli içerisinde yer alan Aspendos Antik Kentinde kullanılan harç ve sıva gibi yapı malzemelerinin deneysel incelenmesini içermektedir. Buradaki tarihi yapılar; Helenistik ve Roma periyotlarının, bir ya da birkaç dönemini bir arada kapsamaktadır. Çalışma kapsamında Aspendos'ta yer alan Çeşme Yapısı, Roma Bazilikası ve Domus Yapısından çeşitli harç ve sıva numuneleri alınmış, alınan bu numuneler üzerinde mineralojik (x-ray difraksiyon (XRD)), petrografik (optik mikroskop ve elektron tarama mikroskobu – enerji dağıtma spektrometresi (SEM/EDX)), termal analizler (TGA/DTA), fiziksel (birim ağırlık, kütlece su emme, hacimce su emme, özgül ağırlık, kompasite, porozite), kimyasal (asit kaybı ve elek analizi, suda çözünen tuz analizleri, pH ve iletkenlik ölçümleri, protein ve yağ analizleri, puzokanik aktivite analizi), renk analizleri ve mekanik deneyler (basınç dayanımı) uygulanmıştır. Bu deneylerden elde edilen veriler; numunelerin kalitesi, sınıflanması, morfolojisi, mineralojik birleşenleri, fiziksel özellikleri ve mukavemetleri gibi karakteristik özelliklerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu veriler bir sonraki aşamada tarihi yapıların güçlendirilmesi açısından uygulanacak restorasyon ve rehabilitasyon konularına ışık tutabilecektir.

ANAHTAR KELİMELELER: Aspendos, Harç, Karakterizasyon, SEM/EDX, Tarihi Yapılar, TGA/DTA, XRD

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ

ABSTRACT
PROPERTIES OF MORTARS USED IN HISTORICAL BUILDINGS IN
ASPENDOS

Naim IŞIK

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cem OĞUZ

May 2019; 170 pages

This thesis study is carried out on mortar und plaster materials that are used at ancien structures in ancient city of Aspendos, located in the province of Antalya. These Ancient Structures are from historical Periods of Roman, Helenistisch period of Anatolia. During this study various mortar and plaster samples were collected from the Fountain Structure, Roman Basilica and Domus Structure in Aspendos and on these construction materials are mineralogical (X-ray diffraction (XRD)), petrographical (Optical microscopy, scanning electron microscopy/energydispersive x-ray spectrometers (SEM/EDX)), Thermal analysis, Physical (unit weight, specific weight, water absorption, porosity, compacity), Chemical (acid loss and sieve analysis, analyses of the water soluble salts, pH and conductivity measurements, protein and fat analyses, analysis of pozzolanic activity), colour analysis and mechanical (compressive test) experiments performed. Data obtained from these tests reveal their characteristic properties like mineralogical composition, physical properties, resistance, texture, morphology and classification of specimens. From the results of the experiments, it is tried to understand the reason, how these structural members survived till today.

KEYWORDS: Aspendos, Mortar, Characterization, SEM/EDX, Historical Building, TGA/DTA, XRD

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Cem OĞUZ

Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Asst. Prof. Dr. Altan YILMAZ

ÖNSÖZ

Ülkemizde bulunan bir çok tarihi yapı sadece bizim için değil tüm dünya için ortak bir miras olma özelliği taşımaktadır. Bir çok medeniyete ev sahipliği yapmış Antalya’da bulunan Aspendos Antik Kenti de bu önemli ortak miraslardan biridir. Bu tür eserleri korumak, ve gelecek nesillere en iyi şekilde ulaştırmak, bu mirasa sahip olmanın vermiş olduğu büyük bir sorumluluktur. Bu sorumluluğun en önemli adımlarından biri de bu yapılarda uygulanan restorasyon ve onarım çalışmalarının en doğru şekilde yapılmasıdır. Yanlış bir çalışma yapıya yarar sağlamaz aksine geri dönüşü olmayan çok büyük zararlar verebilir. Bu sorumluluk göz önünde bulundurularak bu çalışmada Aspendos’ta bulunan bazı tarihi yapılarda kullanılan harçlar incelenmiş ve bazı önemli karakteristik özellikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmadan çıkacak sonuçların, o yapıların restorasyonu sırasında kullanılacak onarım harçlarını belirlemede yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Bu çalışmayı hazırlarken öncelikle danışmanım, tezin her aşamasında bana yardımcı olan, bilgi ve deneyimleriyle sürekli yol gösteren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Cem OĞUZ’a, kazı alanını tanımamda ve kazı alanındaki saha çalışmalarında her zaman yardımcı olan ve destek veren kazı başkanı Prof. Dr. Veli Köse’ye, çalışmaların yapılabilmesi için gerekli izinleri sağlayan T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü’ne, ve beni her koşulda destekleyip yanımda olan aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	i
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmanın Önemi	2
1.3. Çalışmanın Yöntemi.....	3
2. KAYNAK TARAMASI	5
2.1. Harcın Tarihçesi	5
2.1.1. Harcı oluşturan malzemeler	7
2.2. Tarihi yapılarda kullanılan harçlarla ilgili yapılan çalışmalar	13
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1 Materyal.....	21
3.1.1. Bölgenin ve incelenen yapıların tanıtımı	21
3.1.2. Numune alma çalışmaları	26
3.2. Metot	39
3.2.1. Makroskobik gözlemler	40
3.2.2. Fiziksel analizler	40
3.2.3. Kimyasal analizler	44
3.2.4. Mikro Yapı Analizleri.....	53
3.2.5. Mekanik özellikler	57
3.2.6. Diğer analizler	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1. Makrosopik Gözlemler.....	61
4.2. Fiziksel analizler.....	71
4.3. Kimyasal Analizler.....	73
4.3.1. Asit kaybı ve elek analizleri	73

4.3.2. Tuz analizleri	89
4.3.3. İletkenlik, pH, protein ve yağ analizleri:	91
4.4. Mikro Yapı Analizleri	92
4.4.1. SEM/EDX analizi	92
4.4.2. XRD analizi	101
4.4.3. Termal analizler	105
4.5. Mekanik Analizler	107
4.6. Diğer Analizler	109
4.6.1. Renk analizi	109
5. SONUÇLAR	111
6. KAYNAKLAR	113
7. EKLER.....	119
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

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

09/ 09 /2019

Naim IŞIK



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Δ	Birim hacim kütle (Görünür yoğunluk)
δ	Özgül kütle (Gerçek yoğunluk)
σ	Basınç dayanımı (MPa)
A	Kesit alanı (mm ²)
AgNO ₃	Gümüş Nitrat
BaCl ₂	Baryum Klorür
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
CuSO ₄	Bakır Sülfat
G _k	Kuru numune ağırlığı
G _{k1}	Su dolu piknometre + kapak ağırlığı
G _{k2}	Su dolu piknometre içerisinde numune + kapak ağırlığı
HCl	Hidroklorik Asit
HNO ₃	Nitrik Asit
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
k	Komposite (Doluluk oranı,%)
NaCl	Sodyum Klorür

NH ₃	Amonyak
P	Kırılma yükü (kN)
p	Porozite (Boşluk oranı,%)
S _k	Kütlece su emme yüzdesi (%)
S _h	Hacimce su emme yüzdesi (%)
V	Hacim
W _{Silk}	Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numunenin ağırlığı
W _{Sd}	Suya doymun haldeki numunenin havadaki ağırlığı
W _{Si}	Suya doymun 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

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1. Çeşme Binası (Nymphaeum)	22
Şekil 3. 2. Roma Bazilikası.....	23
Şekil 3. 3. Domus.....	24
Şekil 3. 4. Aspendos haritası (Köse 2009).....	25
Şekil 3. 5. Çeşme yapısı ön cepheden alınan numunelerin yerleri	26
Şekil 3. 6. Çeşme yapısı arka cepheden alınan numunelerin yerleri	27
Şekil 3. 7. CH1 kodlu harç numunesi	27
Şekil 3. 8. CH2 kodlu harç numunesi	28
Şekil 3. 9. CP3 kodlu sıva numunesi	28
Şekil 3. 10. CH4 kodlu harç numunesi	28
Şekil 3. 11. CH5 kodlu harç numunesi	29
Şekil 3. 12. CH6 kodlu harç numunesi	29
Şekil 3. 13. CH7 kodlu harç numunesi	29
Şekil 3. 14. CH8 kodlu harç numunesi	30
Şekil 3. 15. CH9 kodlu harç numunesi	30
Şekil 3. 16. CP10 kodlu sıva numunesi	30
Şekil 3. 17. CH11 kodlu harç numunesi	31
Şekil 3. 18. CH12 kodlu harç numunesi	31
Şekil 3. 19. CH13 kodlu harç numunesi	31
Şekil 3. 20. CH14 kodlu harç numunesi	32
Şekil 3. 21. CH15 kodlu harç numunesi	32
Şekil 3. 22. CH16 kodlu harç numunesi	32
Şekil 3. 23. Bazilika yapısından alınan numunelerin yerleri	33
Şekil 3. 24. BH1 kodlu harç numunesi	34
Şekil 3. 25. BH2 kodlu harç numunesi	34
Şekil 3. 26. BP3 kodlu sıva numunesi	34
Şekil 3. 27. BH4 kodlu harç numunesi	35
Şekil 3. 28. BP5 kodlu sıva numunesi	35
Şekil 3. 29. BH6 kodlu harç numunesi	35
Şekil 3. 30. BH7 kodlu harç numunesi	36
Şekil 3. 31. BH8 kodlu harç numunesi	36

Şekil 3. 32. BP9 kodlu sıva numunesi	36
Şekil 3. 33. Domus'dan alınan numunelerin yerleri	37
Şekil 3. 34. DH1 kodlu harç numunesi	37
Şekil 3. 35. DH2 kodlu harç numunesi	38
Şekil 3. 36. DH3 kodlu harç numunesi	38
Şekil 3. 37. DP4 kodlu harç numunesi.....	38
Şekil 3. 38. Tarihi yapı malzemelerine uygulanan deneylerin akış şeması	39
Şekil 3. 39. Makroskobik çalışmalar	40
Şekil 3. 40. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	42
Şekil 3. 41. Asit kaybı analizi	45
Şekil 3. 42. Asit kaybı sonrası yapılan elek analizi	45
Şekil 3. 43. Cl ⁻ Analizi.....	47
Şekil 3. 44. Nitrat analizi	48
Şekil 3. 45. Sülfat ve karbonat analizi	49
Şekil 3. 46. pH analizi.....	50
Şekil 3. 47. Protein analizi	51
Şekil 3. 48. Protein analizi	52
Şekil 3. 49. Puzolanik aktivite ve iletkenlik analizi.....	53
Şekil 3. 50. SEM/EDX analizi	54
Şekil 3. 51. Termal analizler.....	56
Şekil 3. 52. Nokta yükleme deneyi	58
Şekil 3. 53. Renk ölçümü.....	59
Şekil 4. 1. CH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	75
Şekil 4. 2. CH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	75
Şekil 4. 3. CP3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	76
Şekil 4. 4. CH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	76
Şekil 4. 5. CH5 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	77
Şekil 4. 6. CH6 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	77
Şekil 4. 7. CH7 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	78
Şekil 4. 8. CH8 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	78
Şekil 4. 9. CH9 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	79
Şekil 4. 10. CP10 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	79

Şekil 4. 11. CH11 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	80
Şekil 4. 12. CH12 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	80
Şekil 4. 13. CH13 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	81
Şekil 4. 14. CH14 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	81
Şekil 4. 15. CH15 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	82
Şekil 4. 16. CH16 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	82
Şekil 4. 17. BH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	83
Şekil 4. 18. BH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	83
Şekil 4. 19. BP3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	84
Şekil 4. 20. BH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	84
Şekil 4. 21. BP5 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	85
Şekil 4. 22. BH6 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	85
Şekil 4. 23. BH7 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	86
Şekil 4. 24. BH8 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	86
Şekil 4. 25. BP9 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	87
Şekil 4. 26. DH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	87
Şekil 4. 27. DH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	88
Şekil 4. 28. DH3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları.....	88
Şekil 4. 29. DP4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları	89
Şekil 4. 30. CH5 numunesi SEM görüntüleri	93
Şekil 4. 31. CH5 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı	93
Şekil 4. 32. CH5 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı	94
Şekil 4. 33. BH6 numunesi SEM görüntüleri	95
Şekil 4. 34. BH6 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı	95
Şekil 4. 35. BH6 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı	96
Şekil 4. 36. DP4 numunesi SEM görüntüleri.....	97
Şekil 4. 37. DP4 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	97
Şekil 4. 38. DP4 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	98
Şekil 4. 39. CH5 numunesi XRD analizi sonuçları	102
Şekil 4. 40. BH6 numunesi XRD analizi sonuçları	103
Şekil 4. 41. DP4 numunesi XRD analizi sonuçları	104
Şekil 4. 42. CH5 numunesi TG/DTA sonuçları	105

Şekil 4. 43. BH6 numunesi TG/DTA sonuçları.....	105
Şekil 4. 44. DP4 numunesi TG/DTA sonuçları	106
Şekil Ek-2. 1. CH2 numunesi SEM görüntüleri.....	125
Şekil Ek-2. 2. CH2 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	125
Şekil Ek-2. 3. CH2 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	126
Şekil Ek-2. 4. CP3 numunesi SEM görüntüleri.....	127
Şekil Ek-2. 5. CP3 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	127
Şekil Ek-2. 6. CP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	128
Şekil Ek-2. 7. CH7 numunesi SEM görüntüleri.....	129
Şekil Ek-2. 8. CH7 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	129
Şekil Ek-2. 9. CH7 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	130
Şekil Ek-2. 10. CH8 numunesi SEM görüntüleri.....	131
Şekil Ek-2. 11. CH8 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	131
Şekil Ek-2. 12. CH11 numunesi SEM görüntüleri.....	132
Şekil Ek-2. 13. CH11 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	132
Şekil Ek-2. 14. CH11 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	133
Şekil Ek-2. 15. CH12 numunesi SEM görüntüleri.....	134
Şekil Ek-2. 16. CH12 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	134
Şekil Ek-2. 17. CH12 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	135
Şekil Ek-2. 18. CH13 numunesi SEM görüntüleri.....	136
Şekil Ek-2. 19. CH13 numunesi EDX diyagramı	136
Şekil Ek-2. 20. CH15 numunesi SEM görüntüleri.....	137
Şekil Ek-2. 21. CH15 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	137
Şekil Ek-2. 22. CH15 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	138
Şekil Ek-2. 23. CH16 numunesi SEM görüntüleri.....	139
Şekil Ek-2. 24. CH16 numunesi EDX diyagramı	139
Şekil Ek-2. 25. BH2 numunesi SEM görüntüleri.....	140
Şekil Ek-2. 26. BH2 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	140
Şekil Ek-2. 27. BH2 numunesi bağayıcı kısmı EDX diyagramı	141
Şekil Ek-2. 28. BP3 numunesi SEM görüntüleri.....	142
Şekil Ek-2. 29. BP3 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	142
Şekil Ek-2. 30. BP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	143

Şekil Ek-2. 31. BP5 numunesi SEM görüntüleri.....	144
Şekil Ek-2. 32. BP5 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	144
Şekil Ek-2. 33. BP5 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	145
Şekil Ek-2. 34. BH7 numunesi SEM görüntüleri	146
Şekil Ek-2. 35. BH7 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	146
Şekil Ek-2. 36. BH7 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	147
Şekil Ek-2. 37. BH8 numunesi SEM görüntüleri	148
Şekil Ek-2. 38. BH8 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı	148
Şekil Ek-2. 39. BH8 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı	149
Şekil Ek-2. 40. DH1 numunesi SEM görüntüleri.....	150
Şekil Ek-2. 41. DH1 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı.....	150
Şekil Ek-2. 42. DH1 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı.....	151
Şekil Ek-3. 1. CH2 numunesi XRD analizi sonuçları	152
Şekil Ek-3. 2. CP3 numunesi XRD analizi sonuçları.....	153
Şekil Ek-3. 3. CH7 numunesi XRD analizi sonuçları	154
Şekil Ek-3. 4. CH8 numunesi XRD analizi sonuçları	155
Şekil Ek-3. 5. CH11 numunesi XRD analizi sonuçları	156
Şekil Ek-3. 6. CH12 numunesi XRD analizi sonuçları	157
Şekil Ek-3. 7. CH13 numunesi XRD analizi sonuçları	158
Şekil Ek-3. 8. CH15 numunesi XRD analizi sonuçları	159
Şekil Ek-3. 9. CH16 numunesi XRD analizi sonuçları	160
Şekil Ek-3. 10. BH2 numunesi XRD analizi sonuçları	161
Şekil Ek-3. 11. BP3 numunesi XRD analizi sonuçları.....	162
Şekil Ek-3. 12. BP5 numunesi XRD analizi sonuçları.....	163
Şekil Ek-3. 13. BH7 numunesi XRD analizi sonuçları	164
Şekil Ek-3. 14. BH8 numunesi XRD analizi sonuçları	165
Şekil Ek-3. 15. DH1 numunesi XRD analizi sonuçları.....	166
Şekil Ek-4. 1. CP3 numunesi TGA/DTA sonuçları	167
Şekil Ek-4. 2. CH7 numunesi TGA/DTA sonuçları.....	167
Şekil Ek-4. 3. CH11 numunesi TGA/DTA sonuçları.....	168
Şekil Ek-4. 4. BP3 numunesi TGA/DTA sonuçları	168
Şekil Ek-4. 5. BH7 numunesi TGA/DTA sonuçları.....	169

Şekil Ek-4. 6. BH8 numunesi TGA/DTA sonuçları.....	169
Şekil Ek-4. 7. DH1 numunesi TGA/DTA sonuçları	170



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1. Tarihi yapılarda kullanılan katkı maddeleri (Tekin ve Kurugöl 2012).....	12
Çizelge 4. 1. Numunelerin makroskobik incelenmesi	61
Çizelge 4. 2. Sıva numunelerinin fiziksel analiz sonuçları	71
Çizelge 4. 3. Harç numunelerinin fiziksel analiz sonuçları	71
Çizelge 4. 4. Çeşme numunelerinin asit kaybı analizi Sonuçları.....	73
Çizelge 4. 5. Bazilika numuneleri asit kaybı analizi sonuçları	73
Çizelge 4. 6. Domus numuneleri asit kaybı analizi sonuçları.....	74
Çizelge 4. 7. Harç numunelerinin tuz analizleri sonuçları.....	89
Çizelge 4. 8. Sıva numunelerinin tuz analizleri sonuçları	90
Çizelge 4. 9. Harç numunelerin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri sonuçları.....	91
Çizelge 4. 10. Sıva numunenin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri sonuçları.....	92
Çizelge 4. 11. CH5 harcı agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	93
Çizelge 4. 12. CH5 harcı bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	94
Çizelge 4. 13. BH6 harcı agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	95
Çizelge 4. 14. BH6 harcı bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	96
Çizelge 4. 15. DP4 harcı agrega kısmı EDX analizi sonuçları	97
Çizelge 4. 16. DP4 harcı bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları	98
Çizelge 4. 17. Çeşme numunelerinin EDX analizi sonuçları.....	99
Çizelge 4. 18. Bazilika numunelerinin EDX analizi sonuçları	100
Çizelge 4. 19. Domus numunelerinin EDX analizi sonuçları	100
Çizelge 4. 20. Numunelerin TGA/DTA analiz sonuçları	106
Çizelge 4. 21. Numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme deneyi sonuçları.....	107
Çizelge 4. 22. Numuneler üzerinde yapılan renk analizi sonuçları	109
Çizelge Ek-2. 1. CH2 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	125
Çizelge Ek-2. 2. CH2 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	126
Çizelge Ek-2. 3. CP3 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	127
Çizelge Ek-2. 4. CP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları	128
Çizelge Ek-2. 5. CH7 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	129
Çizelge Ek-2. 6. CH7 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	130
Çizelge Ek-2. 7. CH8 numunesi EDX analizi sonuçları	131
Çizelge Ek-2. 8. CH11 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	132

Çizelge Ek-2. 9.	CH11 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	133
Çizelge Ek-2. 10.	CH12 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	134
Çizelge Ek-2. 11.	CH12 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	135
Çizelge Ek-2. 12.	CH13 numunesi EDX analizi sonuçları	136
Çizelge Ek-2. 13.	CH15 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	137
Çizelge Ek-2. 14.	CH15 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	138
Çizelge Ek-2. 15.	CH16 numunesi EDX analizi sonuçları	139
Çizelge Ek-2. 16.	BH2 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	140
Çizelge Ek-2. 17.	BH2 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	141
Çizelge Ek-2. 18.	BP3 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları	142
Çizelge Ek-2. 19.	BP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları	143
Çizelge Ek-2. 20.	BP5 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları	144
Çizelge Ek-2. 21.	BP5 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları	145
Çizelge Ek-2. 22.	BH7 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	146
Çizelge Ek-2. 23.	BH7 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	147
Çizelge Ek-2. 24.	BH8 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	148
Çizelge Ek-2. 25.	BH8 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	149
Çizelge Ek-2. 26.	DH1 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları.....	150
Çizelge Ek-2. 27.	DH1 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları.....	151

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar insanlar doğrudan veya doğa ile iç içe bir çok eser ortaya koymuşlardır. Ortaya çıkan bu eserler “kültürel ve doğal miras” olarak adlandırılırlar. Bu eserler iç veya dış kaynaklı nedenlerden dolayı geçen zaman içerisinde çeşitli bozulmalara ve hasarlara uğrayabilirler. Zaman içerisinde meydana gelen bozulma ve hasarlar bu eserlerin korunması için önlemler alınmasını zorunlu hale getirmiş, bunun için koruma konusunda uzmanlık alanları ortaya çıkmış, kanuni düzenlemeler yapılmış ve konu ile ilgili önemli ölçütler belirlenmiştir. 1931’de İtalya tarafından kabul edilen Carta del Restauro (Restorasyon Tüzüğü) ve 1964 Venedik Tüzüğü, çağdaş restorasyon kuramını oluşturmak için yapılan düzenlemelerin en önemlilerindendir. 1985’te İspanya’nın Granada şehrinde ülkemizin de üye olduğu Avrupa Konseyi tarafından “Avrupa Mimari Mirasının Korunması” başlıklı bir kongre düzenlenmiş, sonuç raporunda mimari mirasın onarımında geleneksel tekniklerin uygulanması ve bu anlayışın geliştirilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır (Aköz ve Yüzer 2005; Yüzer vd. 2011).

Bu doğrultuda ortaya çeşitli uluslararası anlaşmalar çıkmış, Türkiye’nin de imzaladığı bu anlaşmalarla; tarihi yapıların korunması konusunda görevli kurumlar ve bu kurumların birbirleri ile olan ilişkileri, ilgili yasa ve yönetmeliklerle belirlenmiştir. Bu bağlamda 27.07.2004 tarihinde resmi gazetede yayınlanan, 2863 sayılı “Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” yürürlüğe konulmuştur. Bu kanunun 12. Maddesinde “Emlak vergisinin %10’u nispetinde ‘Taşınmaz Kültür Varlıklarının Korunmasına Katkı Payı’ tahakkuk ettirilir ve ilgili belediye tarafından emlak vergisiyle tahsil edilir” ifadesi yer almaktadır. Burada tarihi yapıların bakım, onarım ve güçlendirme işlerine ekonomik anlamda verilen önem dikkat çekmektedir. Aynı kanunun 57. Maddesinde de “Taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ile ilgili tadilat ve tamiratlar, özgün biçim ve malzemeye uygun olarak yapılır” ifadesi yer almaktadır. Bu ifadeyle tadilat ve tamiratlarda özgün malzeme kullanımı zorunlu hale getirilmiştir (Yüzer vd. 2011).

Tarihi yapılarda gerçekleştirilecek müdahalelerde özgün yapı malzemelerinin yerinde korunmasına özen gösterilmelidir. Eğer yeni malzeme kullanımı zorunlu ise, özgün yapı malzemesine her açıdan (fiziksel, kimyasal, mekanik ve estetik) uyumlu malzemeler seçilmesi gerekmektedir. Bunun için de öncelikle özgün yapı malzemesinin karakteristik niteliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ülkemizde yapılan mevcut uygulamalarda genellikle özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar formaliteden öteye gidememektedir. Restorasyon projelerinde malzeme analizleri yer alsa dahi, bu analizler yetersiz kalmakta, hatta uygulama aşamasında bu yetersiz analizler de dikkate alınmadan restorasyon malzemeleri seçilmektedir. Örneğin: fiziksel ve mekanik özelliklerini korumakta olan yapı taşlarının sökülmesi, yapı çatlaklarının epoksi reçineleri ile doldurulması ve verdiği zararlar bilinmesine rağmen çimento kullanımında diretilmesi en sık görülen hatalardır. Israrla tekrarlanan bu hatalar sonucunda pek çok tarihi yapının özgün malzemeleri yok olmuştur ve hızla yok olmaya devam etmektedir (Sağın Uğurlu ve Böke 2010).

1.1. Çalışmanın Amacı

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

Harçlar, tarihi yapılarda kullanılan diğer yapı malzemelerine kıyasla en fazla değişkenlik gösteren malzemelerdir. Bundan dolayı bu yapılarla ilgili yapılacak tamirat ve tadilat çalışmalarında, özgün harç özelliklerinin belirlenmesi ve yeni yapılacak onarım harçlarının daha önceden belirlenen özelliklerle uyumlu olması çok önemlidir. Çalışma kapsamında Antalya İli Serik İlçesi Belkıs beldesinde yer alan Aspendos Antik Kentinde bulunan Helenistik Dönem ve Roma İmparatorluğu Dönemlerinde yapılmış olan tarihi yapılarda kullanılan harç ve sıvalardan malzeme örnekleri alınmış, bu malzemelerin özelliklere sahip olduğu araştırılmıştır. Burada, tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin incelenmesi ve karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca belirlenen bu özgün malzeme özelliklerinin, onarım çalışmalarında göz önünde bulundurulması ve onarım çalışmaları sırasında günümüz teknolojisiyle, bölgesel hammadde kaynaklarından yararlanılarak, özgün malzeme özelliklerine uygun üretilen yeni harç karışımlarına ışık tutması hedeflenmiştir.

1.2. Çalışmanın Önemi

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

Tarihi yapılar üzerinde yapılan restorasyon çalışmalarında öncelikle daha önceden kullanılmış olan mevcut malzemelerin özelliklerinin bilinmesi çok büyük önem arz etmektedir. Yapının özgün malzeme özellikleri dikkate alınmadan gerçekleştirilen bilinçsiz restorasyon çalışmaları çoğu zaman yapıya büyük zararlar verebilmektedir. Örneğin ülkemizdeki bir çok tarihi yapıda karşımıza çıkan horasan harç ve sıvaları yüzlerce yıllık yapı geleneğinin ve teknolojisinin ürünü olarak geliştirilmiştir. Ülkemizde gerçekleşen pek çok restorasyon uygulamasında bu yapı malzemeleri, beyaz çimentonun içine pembe boya katılarak bilinçsizce hazırlanan harç ve sıvalar ile değiştirilmiştir. Bu şekilde yapılan yanlış uygulamalarla, yapıların özgün malzemelerine zarar verilmiş ve özgün malzeme nitelikleri yok edilmiştir (Sağın Uğurlu ve Böke 2010).

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı bu çalışma tarihi yapı malzemelerinin özgün karakteristik özelliklerinin araştırılmasına yönelik yapılmıştır. Çalışma

kapsamında Antalya İli Serik İlçesi Belkıs beldesinde yer alan Aspendos Antik Kentinde bulunan bazı tarihi yapılardan harç ve sıva örnekleri alınmış ve bunların karakteristik özellikleri deneysel metotlarla belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler, sonraki aşamalarda bu yapıların korunma, onarım ve güçlendirme çalışmalarına ışık tutabilecektir.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Bu tez çalışması 5 bölümden meydana gelmektedir. Çalışmanın amacı, önemi ve yöntemi ilk bölümde açıklanmıştır. İkinci bölümde tarihi yapılarda kullanılmış yapı malzemeleri hakkında bilgiler verilmiş, bu malzemelerle ilgili daha önceki dönemlerde yapılan akademik çalışmalar aktarılmıştır. Üçüncü bölümde malzeme örneklerinin alındığı yapılar hakkında bilgiler verilmiş, kullanılan analiz metotları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aktarılmış, beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlarla ilgili genel değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma sırasında öncelikle Aspendos Antik Kenti'nde bulunan üç farklı tarihi yapıdan (Çeşme, Bazilika, Domus) 29 farklı harç ve sıva örneği alınmıştır. Örnekler alınırken, alınan bu örneklerin yapıyı tam olarak temsil edebilecek ve yapının değişik dönemleri hakkında bilgi verebilecek şekilde olmasına özen gösterilmiştir. Alınan örnekler alındıkları bölgeler de net bir şekilde belli olacak biçimde fotoğraflanmışlardır. Örnekler alındıktan sonra laboratuvar ortamına getirilmiş, ilk olarak örnekler hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla yüzeyleri parlatılarak stereo mikroskop ile incelenmiştir. Daha sonra sırasıyla örnekler üzerinde mekanik analizler (nokta yükleme deneyi), fiziksel analizler (birim hacim kütle, kütlece su emme, hacimce su emme, özgül kütle, kompasite, porozite), kimyasal analizler (asit kaybı ve elek analizi, tuz analizleri, pH, protein, yağ, puzolanik aktivite ve iletkenlik analizleri) ve mikro yapı analizleri (XRD, SEM/EDX, TG/DTA) uygulanmıştır.



2. KAYNAK TARAMASI

Bu kısımda; harçların geçmişten günümüze nerelerde ve ne amaçlarla kullanıldığı, harçların bileşenleri ve geçmişten günümüze kadar tarihi yapı harçları ile ilgili yapılmış çalışmalar aktarılmıştır.

2.1. Harcın Tarihçesi

Son Buzul Çağını'nın bitmesinin ardından günümüzden yaklaşık 12000 yıl önce başlayan Holosen Dönem başlarında ortaya çıkan süreç Neolitik Devrim (tarım devrimi) olarak adlandırılmaktadır (Bıçakçı 2005). İnsan topluluklarının artık yerleşik düzene geçmeye başladığı bu dönemde, geçici barınaklar yerine kalıcı yapı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu yapıların üretiminde toprak, kil ve taş gibi ilk kâgir malzemeler kullanılmışlardır (Ekinci vd. 2012). Taşın insanlığın uygarlık aşamalarının tamamlanmasında çok etkin bir rol oynadığı, hatta bu etkinin sözcüklere bile yansıdığı söylenebilir. Litik etki demektir, bu sözcük eski yunancada taş anlamına gelen “Litos” kelimesinden türetilmiştir. Paleolitik, mezolitik, neolitik, kalkolitik gibi uygarlık aşamalarını sembolize eden sözcükler de bu etkiyi vurgularlar. Mezolitik ve neolitik dönemlerde önce toplama taşlar kullanılmış, bu taşlar birbirine çamur yardımıyla bağlanarak duvarlar örülmüştür. Daha sonra toplanan taşlar işlenerek şekillendirilmiş ve sonuç olarak daha düzgün ve hatta estetik duvarlar inşa edilebilmiştir. Burada coğrafya da önemli bir rol oynamış, bazı toplulukların göçtükleri yörelerde toplama taşların bulunmaması yapay taş üretimini zorunlu kılmıştır. Böylece ilk yapay taş olan kerpiç icat edilmiştir (Akman 2003).

Kerpiç, duvar örmek amacıyla kalıplarda kurutulmuş balçık olarak tanımlanabilir. Kerpiç üretiminde kum ve kil asıl materyallerdendir. Kum kerpicing temelidir, kil ise yapıştırıcı olarak karışımda önemli bir rolü oynar. Ayrıca üretilecek kerpicing basınç, su ve neme karşı dayanıklı olması için bazı materyaller bu kerpiç toprağına ilave edilir. Karışım halindeki kerpiç harcında keçi kılı, deve yünü, saman ve pirinç sapının bulunması kerpicing çatlamasını önler. Bazı bölgelerde bu karışıma hayvan iç yağının da eklenmesi üretilecek kerpicing suya ve neme dayanıklı olmasını sağlamaktadır (Rezaei 2007).

Kerpiç yapılardan tuğla yapılara doğru dönüşüm, protohistorik (İ.Ö. 2500-1750) toplumların zamanlarına rastlamaktadır. Çok gelişmiş bir uygarlık olan Sümerler, pişmiş kili yani tuğlayı üretebilmişlerdir. Dünyanın 7 harikası arasında sayılan Babil'in Asma Bahçelerinin ortasında yer alan 90 metre yüksekliğinde Etemenoki Ziggurat kulesinin iç kısmının inşasında kerpiç harç kullanıldığı ve dış kısmında pişmiş tuğla ile yapıldığı ifade edilmektedir (Akman 1997).

Tanımlanan bu yapı malzemelerini birbirine yapıştırmak ve binaları yapmak üzere ayrıca bağlayıcı materyal gerekmekteydi. Bağlayıcı materyal ilk çağlarda inşaat teknolojisinin en büyük problemi olmuştur. Bu bağlamda kullanılan ilk bağlayıcı madde çamurdur. Doğal taş, kerpiç ve tuğla duvarlar çamur ile birbirine bağlanmışlardır. Fakat çamuru bağlayıcı olarak nitelemek tam olarak doğru değildir. Tarih öncesi çağlarda alçı, bitüm ve bir oranda kireç denenmiş, ancak buluşlar oldukça kısır kalmıştır. Burada en büyük engel yüksek sıcaklıkların elde edilmesi olmuştur. Havada yakılan ateşler 400°C~800°C'in üzerine çıkamaz. Bu durumda alçıtaşından alçı elde edilebilir, çünkü bunun için

gerekli sıcaklık sadece 190°C'dir. Bu dönemde eski Mısır'ın Sakkara ve Keops piramitlerinin derzlerinde dolgu maddesi olarak alçı harçları kullanımına rastlanmıştır (Akman 2003). Alçı harcı iyi işlenmiş büyük boyutlu taşların birbirlerine bağlanmasını sağlamaktan ziyade blokların doğru ve düzgün şekilde yerlerine yerleşmelerini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Daha sonraki dönemlerde yüksek sıcaklıklara ulaşılarak kireç harcı üretimi yapılabilmektedir. Kireç harcı kullanımına ilk kez Khafaje'de rastlanmıştır. Burada bulunan kireç fırını kalıntıları, kireç kullanımının Mezopotamya'da M.Ö. 2450'ye kadar uzandığını göstermektedir (Polat Pekmezci 2012) Kireç kalkerin 900 °C de pişirilip söndürülmesinden elde edilir. Bu şekilde elde edilen kireç önceleri doğrudan harç olarak kullanılmıştır. Fakat bu şekilde üretilen harcın suya karşı dayanıksız olması insanları bu bağlayıcı üzerinde yeni arayışlara itmiştir. Roma ve Bizans'ta üretilen kireç harcının dayanıklılığının artırılması amacıyla karışıma puzolan malzeme eklenmiş böylece Ca(OH)_2 'in suda erimesi kısmen önlenmiştir. Bu harç ile üretilen bazı yapıların günümüzde hala ayakta kalabilmesi bu harcın etkisini göstermektedir (Akbulut Ekşi 2006).

Daha sonraki dönemlerde bu karışıma tuğla, kiremit gibi malzemeler katılarak horasan harcı üretilmiştir. Kiremit veya tuğla gibi toprağın pişirilmesiyle elde edilen malzemelerin kırılmış öğütülmüş hali "horasan" olarak adlandırılmaktadır. Horasan ile kirecin karıştırılmasıyla elde edilen harç da horasan harcı olarak isimlendirilmiştir. Bu harca kum da karıştırılır. Horasan isminin kökeni İran'ın doğusunda yer alan Horasan bölgesine dayanmaktadır (Kahraman 2008). Batılı kaynaklarda horasan harcı bir Roma-Yunan buluşu olarak gösterilse de aslında bu bağlayıcının hangi kavim veya uygarlık tarafından elde edildiği henüz tam olarak belirlenbilmiş değildir. Osmanlı, Selçuklu ve Bizans yapılarında horasan harcı ve betonunun sürekli kullanıldığı, o dönemde yapılan eserlere bakıldığında görülebilmektedir. Fakat Gizeh piramitlerinde ve Asur yapılarında da Horasan harcı varlığına rastlanmıştır. Bu yapı malzemesinin birbirinden bağımsız yörelerde ve farklı tarihlerde inşa edilen başka yapılarda da kullanıldığı tespit edilmiştir. Örneğin Cava güneyindeki Bali adasında, Hindistan İndus nehri civarında (Surkhi adıyla), Meksika'da El-Tajin piramidinde Horasan harcı bulunmuştur (Akman 2003).

Roma imparatorluğunun ardından ortaçağ Avrupasında puzolanik katkı malzemesi kullanımından vazgeçildiği, yapılarda daha zayıf hidrolik olmayan kireç ile üretilen harçların tercih edildiği görülmektedir. (Swallow ve Carrington 1995). Bu durum 18. Yüzyıla kadar devam etmiş, daha sonra Romalıların puzolanlı kireç bağlayıcısına tekrar dönüşmüştür. Bu dönüşüm ilk olarak marnlı taşların pişirilmesi ile başlamıştır. Marn, kısaca kil ve kireçtaşı kompoziti bir kayaç olarak tanımlanabilir. Sonrasında kil ve kireçtaşlarının belirli oranlarda karıştırılmasıyla çeşitli üretimler yapılmıştır. John Smeaton 1756 yılında kireçtaşları üzerinde çalışmalar yapmış, sonuç olarak yüksek oranda kil içeren kireçtaşlarından elde edilen kireçlerin daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemiştir. Sonrasında bu kireci İtalya'dan getirilen puzolanlarla karıştıran Smeaton bu şekilde bir harç üretmiştir. Bu çalışmadan 40 sene sonra 1796 yılında James Parker "doğal bir hidrolik çimento" için İngiltere'de patent almıştır. Fransa'da da Vicat 1813'de bu çalışmalara benzer yöntemler kullanmış, kil ve kireç taşıı karıştırıp pişirerek bugün hidrolik kireç olarak adlandırdığımız bağlayıcıyı üretmiştir. Üretilen bu bağlayıcılar inşaat teknolojisi için çok önemli olsalar bile; yetersiz sıcaklıktan tam olarak klinkerleşmemeleri, hızlı priz yapmaları, ve yetersiz öğütme (450 µm - 150 µm gibi) gibi nedenlerden dolayı tam anlamıyla günümüz portland çimentoları ile aynı değillerdi.

Bunun yanı sıra üretim yapılan fırınların düşey olması da üretimin süreksiz ve yavaş olmasına sebep olmaktaydı. İngiltere’de 1886’da bu sorunun çözümü olarak ilk dönel fırınlar kullanılmaya başlandı. Hızlı priz alma problemi ise karışıma alçı taşı eklenerek A.B.D.’de 20. yüzyıl başlarında engellendi. Fırın sıcaklığının 1400 °C’nin üstüne çıkması üretilen bağlayıcının minimum ortalama 30 µm ve maksimum 90 µm olacak şekilde öğütülebilmesine olanak tanıdı böylelikle günümüz harçlarında kullanılan portland çimentosu meydana gelmiş oldu (Akman 2003).

2.1.1. Harcı oluşturan malzemeler

Harç ve sıvalar gerek yapım aşamasında gerek sonrasında yapıya sağladığı katkılar dolayısıyla yapılar için çok önemli yapı elemanlarıdır. Harç kullanımının temel amacı yapıyı oluşturan bileşenlerin birbirleri ile bağlantısını sağlamak ve böylece bir bütün oluşturmaktır. Bu şekilde elemanlara gelen basınç yükleri harç tarafından dağıtılarak bu elemanların esnemeleri sağlanır. Ayrıca harç sayesinde yapı bileşenleri havanın bozucu etkilerinden de korunur (Arıkan 2009)

Tarihi yapılarda kullanılan harçlar yapının inşa edildiği bölgeye, döneme, o dönemin teknolojisine, yapının inşa ve kullanım amacına ve buna benzer bir çok etkiye göre farklılık gösterebilmektedir. Bu harçlar genel olarak kireç, su, agrega, puzolan ve çeşitli katkı maddelerinin birbiriyle belli oranlarda karıştırılmasından elde edilmişlerdir.

Kireç

Kireç inorganik bir bağlayıcıdır. Bu bağlayıcı kireçtaşı (CaCO_3) veya dolomitin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 850-1400 °C’de pişirilmesi ile elde edilir ve su ile karıştırıldığında cinsine göre suda veya havada katılaşma özelliği gösterebilir (Kozlu 2010). Kireç elde edilebilmesi için gereken sıcaklığın çok yüksek olması inşaat teknolojisi açısından kireç kullanımını geciktirmiştir. Pliny (Romalı bilgin Gaius Plinius) Mısırlıların kireç ürettiklerini söylese de, en yaygın kireç kullanıma Yunan ve Roma dönemi eserlerinde rastlanmaktadır (Polat Pekmezci 2012). Kirecin bulunması ile ilgili olarak göçebe insanların yemek pişirirken taştan fırınlar yaptıkları ve bu fırınları yaparken kireç taşı kullandıklarında, kullanılan bu taşların fırın sıcaklığından dolayı pişerek biri birlerine yapışma özelliğinin bu insanlar tarafından gözlemlenmiş olabileceği ve böylece bu maddeyi keşfetmiş oldukları düşünülmektedir. Bu şekilde kireç taşı ve onun özelliği olan yapıştırıcı etkisi zamanla yapı inşasında kullanılmaya başlanmış olmalıdır (Rezaei 2007).

Kireçtaşı (kalker), tebeşir taşı vb. gibi kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve magnezyum karbonattan (MgCO_3) oluşan kayalar kirecin hammaddesini oluştururlar. %90 CaCO_3 içeren kireçtaşları “yüksek kalsiyumlu kireçtaşı” olarak adlandırılır. Eğer kireçtaşı içerisindeki MgCO_3 oranı %10’dan fazla ise taş “magnezyumlu kireçtaşı” olarak isimlendirilir. Bu oran %25’i aşarsa kireç taşı “dolomitik kireçtaşı” olarak tanımlanır (Akbulut Ekşi 2006). Oluşumlarına göre ise kireçtaşları şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Kimyasal kireçtaşları (CaCO_3 ’ın suda çökmesi ve karbonatlaşması ile oluşur)
2. Organik kireçtaşları (organizmaların fosilleşmiş kabuklarından oluşur)

3. Klastik kireçtaşları (çökelen karbonat kayaçları veya daha önce oluşmuş kireçtaşı parçalarının depolanmasıyla oluşur) (Kozlu 2010).

Bilinen en eski kireç elde etme yöntemi, toprak içinde açılmış bir çukurdaki ateş kaynağı ile olanıdır. Bu yöntemde ateş kaynağı üzerine kireçtaşı ve kullanılan yakıt (kömür, odun vb.) sırasıyla yerleştirilir, daha sonra üzeri otlarla kapatılır ve hava çıkışı için bir delik bırakılır. Geçen zaman içerisinde bu iş için belli aralıklarla ya da sürekli yükleme ve pişirme yapılabilen çeşitli fırınlar gelişmiştir (Polat Pekmezci 2012).

Vitruvius'a göre (M.Ö. 90-20 yılları arasında yaşamıştır) ocağa atılan kireçtaşı, sonrasında sıcaklığın etkisiyle katı özelliğini kaybetmeye başlar, gözenekleri açılır ve içindeki CO₂ buharlaşır. Daha sonra taş ocaktan çıkarıldığında hacminin değişmediği fakat içindeki CO₂'nin kaybolmasından dolayı ağırlığının 1/3 oranında azaldığı görülür. Bu işlemlerin ardından taş suya atıldığında açılmış gözeneklere nem dolar, sıcaklık kireçten atılmış olur ve sönme işlemi tamamlanır. Kireç, sert ve sağlam bir yapı oluşturur, CO₂ ile katılaşır (Eyice 2006).

Burada ilk etapta kireç taşının sıcaklık etkisi ile gösterdiği değişimden söz edilmektedir. Kireç taşının yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda kalsiyum oksit (sönmemiş kireç) ve karbondioksit açığa çıkar. Bu işlem kalsinasyon olarak da adlandırılır.

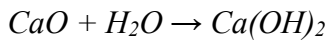


CaCO₃: Kireçtaşı (kalsiyum karbonat)

CaO: Kalsiyum oksit (sönmemiş kireç)

CO₂: Karbondioksit

Daha sonra kirece su katılarak söndürme işlemine geçilir. Söndürme işlemi sırasında su kirece yavaş yavaş eklenir, bu sırada çok yüksek ısı ve buna bağlı olarak da buharlaşma meydana gelir. Eklenen su miktarı yeterli seviyeye ulaştığında, kireç genleşip ayrışır ve kuru bir toz halindeki "hidrate kireç" (Ca(OH)₂) oluşur (Swallow ve Carrington 1995).



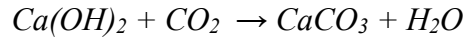
CaO: Kalsiyum oksit (Sönmemiş kireç)

H₂O: Su

Ca(OH)₂: Kalsiyum hidroksit (Hidrate kireç)

Kireçtaşının yakılması için gereken sıcaklık ve söndürme işlemi taşın türüne göre değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin 1000-1100 °C civarında elde edilen çalı kireci kolayca söndürülür fakat 1400 °C civarında üretilen kömür kirecinin söndürülmesi son derece zordur ve bu işlem uzun zaman alır. Daha etkili bir ürün elde edebilmek için, kirecin dikkatle hazırlanarak söndürülmesi gerekir. Bu işlem, sönmemiş kirece ağırlığının 1/3'ü kadar su eklenerek yapılır. Sönmemiş kireç su ile karıştırıldığında hidrate olur. Hidratasyon olayı söndürülme sırasında ve söndürüldükten sonra kireç, kireç kuyusunda bekletilirken devam eder. Bu yüzden de kireç, kireç kuyusunda bekletilmeye devam eder.

Hidrate kireç hava ile temas ettiğinde, havanın karbondioksiti ile birleşir ve meydana gelen karbonatlaşma ile sertleşir (Akman 1987).



Ca(OH)₂: Kalsiyum hidroksit

CO₂: Karbondioksit

CaCO₃: Kalsiyum karbonat (Kireç taşı)

H₂O: Su

Harç yapımında kullanılan kirecin kalitesini etkileyen bir çok faktör vardır. Örneğin kireç taşının gözenekliliği ve bu gözeneklerin dağılımı, yumru büyüklüğü gibi fiziksel özellikleri sönmemiş kirecin aktifliğine etkileyen en önemli etmenlerdir. Bunun yanında sönmemiş kirecin saflığı, parçacık büyüklüğü, sıcaklık, karıştırma, söndürme işlemi sırasında kullanılan su miktarı, bu suyun saflığı elde edilen kireç kalitesini büyük ölçüde etkiler (Böke vd. 2004).

Agrega

Agregalar, harç yapımında bağlayıcı ile birlikte kullanılan kum, çakıl veya kırmataş gibi taneli yapıdaki malzemelerdir. Agregaları, tane çaplarına göre, elde edildikleri kayaçların cinslerine göre, oluşumlarına göre, ağırlıklarına göre veya elde edildikleri bölgelere göre sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmalar içerisinde en çok tercih edileni tane çaplarına göre olanıdır. Agregalar harçların en önemli birleşenleri arasında yer alırlar. Bu nedenle de harcın mukavemeti, hacim sabitliği, dayanıklılığı ve ekonomisi üzerinde kullanılan agreganın önemli bir payı vardır. Kullanılacak agrega sert, mukavemetli, temiz ve dayanıklı olmalı, harç iler zararlı reaksiyona girmemeli, uygun tane büyüklüğüne ve tane şekline sahip olmalarıdır. Ayrıca ekonomik açıdan agreganın üretim alanına olabildiğince yakın olması, uygun bir şekilde elde edilmesi de önemli etkenlerdir (Temizel 1998).

Harç üretiminde kullanılan agreganın boyut dağılımının iyi ayarlanmış olması önemli bir noktadır. Harç içerisindeki agreganın boyut dağılımı iyi ayarlanır ise büyük tanelerin arası küçük taneler ile dolar, böylece daha az miktarda bağlayıcı kullanılarak iyi bir harç elde edilebilir. Harç üretiminde agrega kullanımının bir diğer olumlu etkisi de, agrega sayesinde kuruyan harçtaki büzülmenin en aza indirgenmesidir. Bu tür karışımların sıvalar ya da fresklerde alt tabaka olarak kullanılması ile yapıda oluşacak yüzey çatlaklarının engellenmesi amaçlanmıştır (Polat Pekmezci 2012).

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

Tarihi yapılarda kullanılan harçların yapımında genellikle agrega olarak; kum, çakıl ve tuğla kullanımına rastlanır. Bunlarda doğal agregalar olan çakıl ve kumlar derelerden, eski dere yataklarından, denizlerden ve çöllerden temin edilir. Bunlar temiz,

düzgün tanelerden oluşur. Ocak kumlarında kil (mil) oranı yüksektir. Deniz ve çöl kumları ise tekdüze taneli ve genellikle de ince malzemelerdir. Deniz kumunun kullanılması bazen sorunlar çıkartabilir. Bu kumun içindeki midye veya istiridye kabukları agreganın yerleşmesini zorlaştırabilir, dona karşı dayanımını düşürür, bunun sonucunda düşük mukavemetli harç elde edilmiş olur (Akman 1987). Tarihi yapılarda harç üretiminde kullanılacak olan kumların ocaklardan veya dere yataklarından olması, deniz kumu olmaması, agregaların yuvarlanmamış, köşeli olması önemlidir. Köşeli agregalar yuvarlanmış agregalara kıyasla daha yüksek bir sürtünmeye sahip olacağından harçlar daha sağlam olur (Güleç 1992).

Tuğla ise harç yapımında kullanılan yapay agreganın olması sebebiyle tarihi yapı harçları için (horasan harçları) önemli bir yer tutar. Tuğlanın ana malzemesi kil olduğu ve kolay üretilbildiği için eski dönemlerden beri harç üretiminde agreganın kullanılmaktadır. Tuğla kırıklarıyla hazırlanmış kireç harçları Roma İmparatorluğunun geç zamanlarında ve özellikle Bizans döneminde oldukça popüler olmuş ve taşıyıcı duvarlarda kullanılmıştır. Burada harç bileşeni olarak bazen harca pembe rengini veren tuğla tozu bazen de sadece tuğla kırığı kullanılmıştır. Bu sayede geç Roma Dönemine yatay derzlerdeki kalınlık 1–1,5 cm’den 6–7 cm’ye çıkmıştır. Sonrasında Bizans Döneminde de tuğlanın harç üretiminde kullanılmasıyla Ayasofya’da 7 cm’lik derz kalınlığı uygulanabilmiştir. 5 cm’den büyük derz aralıklarında boyutu 2,5 cm’yi bulan tuğla kırıkları kullanılmıştır. Daha sonra ortaçağa doğru harç üretiminde tuğla kırığı kullanımının azaldığı görülmüştür. Bu duruma sebep olarak ekonominin zayıf olması veya yapı inşaatlarında tuğla kullanımının düşmesi sonucu tuğla üretiminin de düşmesi gösterilebilir (Kahraman 2008).

Bunların yanı sıra tuğla parçalarının harca verdiği rengin ve bu rengin yapıda kullanılan diğer malzemelerle uyumunun da harç üretiminde estetik açıdan da önemli bir yeri olduğu söylenebilir (Akman vd. 1986). Ayrıca tuğla agregalarının yoğunlukları diğer agregalara kıyasla daha düşüktür. Bu da üretilen harçların hafif ve yüksek çekme dayanımına sahip olmasını sağlar (Böke vd. 2004).

Puzolanlar

Tek başına herhangi bir bağlayıcılık özelliği göstermeyen ya da çok az gösteren, fakat ince taneli haldeyken sulu ortamda kalsiyum hidroksitle bir araya geldiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemeler puzolan olarak adlandırılırlar (Erdoğan ve Erdoğan 2007). Kökenlerine göre puzolanlar doğal ve yapay puzolanlar olarak ikiye ayrılırlar:

A. Doğal puzolanlar

1. Piroklastik malzemeler

- a. Gevşek kayalar (ör. Santorin toprağı)
- b. Sıkı kayalar (ör. Alman Ren trası)
 - * Killi madde
 - *Aktif olmayan zeodolitli maddeler

2. Karışık orijinli malzemeler (beyaz İtalyan toprakları)

3. Kırıntılı malzemeler

- a. Organik kökenli maddeler (silisli topraklar)

b. Basit tortul maddeler (killi-aktif maddeler, doğal ortamda pişmiş killer)

B. Yapay puzolanlar

1. Pişmiş şistler
2. Pişmiş killer
3. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu
4. Silis dumanı
5. Pirinç kabuğu külü (Massazza 1989).

Puzolanik bir malzeme, İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek ise ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı en az %70 olmalı), amorf yapıya sahip ise ve doğal haliyle ya da öğütülerek çok ince taneli duruma getilebiliyor ise yeterli bağlayıcılığı gösterebilir (Erdoğan 2004).

Su altında da sertleşebilen ve suya dayanıklı bağlayıcılar hidrolik bağlayıcılar olarak tanımlanır. Bu bağlayıcıların, puzolanların (volkanik kül, volkanik tüf, pişirilmiş kil gibi) sönmüş kireçle sulu ortamda birleştirilmesiyle elde edilirlmesi ve elde edildikten sonra harç ve bir tür beton yapımında kullanılmalsı binlerce yıl öncesine dayanan bir tekniktir. Romalılar, yaklaşık MÖ 3. yüzyıldan itibaren puzolanik malzemeleri yaygın olarak kullanmışlar, bu malzemelerle çok görkemli yapılar inşa etmişlerdir (Erdoğan ve Erdoğan 2007).

Romalı ünlü bir mimar olan Marcus Vitruvius Pollio'nun MÖ 30 - MÖ 20 yılları arasında yazdığı *De Architectura Libri Decem* (Mimarlık Üzerine On Kitap) adlı eserlerinde puzolanik malzemelerin bağlayıcılık özelliğinin Romalılar tarafından farkedildiğini ve bu şekildeki malzemelerin pozzolana (puzolan) olarak adlandırıldığını aktarmaktadır. Vitruvius, Romalılar'ın pişirilmiş kil, öğütülmüş tuğla veya kiremidin puzolanik özellik gösterdiğinin farkında olduklarını yazmıştır. Ayrıca kitaplarda harçlarda kullanılan Napoli yakınlarında bulunan Pozzuoli'den elde edilen bir tozun (alümina, silika, magnezyum ve demir oksitler içeren volkanik küller) kireç ve moloz ile karıştırılmasının yapıların dayanıklılığını arttırdığından ve hatta bu karışımın deniz altında dahi sertleşebilme özelliği bulunduğu bahsedilir. Puzolan isminin kökeni buradan gelmektedir. (Vitruvius 1997; Polat Pekmezci 2012). Romalılar, volkanik kül, volkanik küllü toprak veya pişirilmiş kil ile söndürülmüş kireç ve suyu karıştırarak yaptıkları bu su altında da sertleşebilen bağlayıcıların içerisine taş parçaları da katarak, bugünkü betona benzer betonlar yapmayı başarmışlardır (Erdoğan ve Erdoğan 2007).

Kireçtaşının pişirilmesi esnasında ocaktan çıkan küller kirece karışır. Kireç söndürülürken bu küllerin temizlenmemesi de malzemeye hidrolik özellikler kazandırabilmektedir (Akman 1997). Bu amaçla Osmanlı İmparatorluğu tarafından hamam cüruf ve külleri özellikle Suriye bölgesinde katkı olarak kullanılmış ve bu malzemeye “kozromil” adı verilmiştir (Akman vd. 1986). Ayrıca killi kum çeşitleri de yapılarında bulunan şist, bazalt, feldspat ve mikadan dolayı kısmen puzolanik özellikler göstermektedir (Vicat 1997).

Katkı Maddeleri

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

Tarihi yapılarda harç ve sıvaların dayanımını artırmak için en çok kullanılan katkı malzemeleri lifli katkılardır. Örneğin bitkisel lifler, hayvan kılları ve tüyleri erken dönemlerde yapılarında, kireç harçlarının özellikle de sıvaların çekme mukavemetini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmışlardır. Bu bir tür mikro donatı tekniği olarak da kabul edilebilir. Yapılan çalışmalar, böyle katkılarla yapılan sıva ve harçlarda lifli katkıların plastik rötreği azalttığı, işlenebilirliği artırdığı ve sıva işlemi sırasında dökülmeleri azaltarak ekonomi sağladığını göstermektedir (Gürdal ve Acun 2004).

Harç veya sıvalarda kullanılan lifli katkılar malzemeye daha doygun bir yapı kazandırarak su geçirimsizliğini de artırırlar. Lifli katkılar dışında kireç harcı üretiminde sıvı (bezir yağı) ve katı (domuz yağı, tereyağı) yağlar da kullanılmıştır. Bu malzemelerin harçlara parçalanmaya karşı direnç kazandırmak amacıyla katıldığı düşünülmektedir. Yağ katılı harçlar, özellikle yol kaplamalarında, su ve nemle yüksek seviyede teması olan alanlarda kullanılmıştır. Sıvı ve katı yağlar, genellikle sertleştirilmiş harca uygulanan koruyucu kaplama olarak ele alınmaktadır (Alberti 1965).

Kullanılan katkı malzemeleri kullanım amaçlarına göre sınıflandırılışı aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir:

Çizelge 2. 1. Tarihi yapılarda kullanılan katkı maddeleri (Tekin ve Kurugöl 2012)

Doğal Bileşenler	Harca Etkisi
Yumurta beyazı, kan, lor, şeker, domuz yağı, kazein, nişasta	Sertleşmeyi hızlandırıcı
Yumurta beyazı, kan, şeker, meyve suyu, glüten, pekmez	Sertleşmeyi geciktirici
Süt, yumurta beyazı, yağ, şeker, reçine, gübre, nişasta	Plastikleştirici

Çizelge 2.1'in devamı

Süt, yumurta beyazı, kazein, peynir, kan, şeker, pekmez, yağ, meyve suyu, çavdar hamuru, pirinç nişastası, glüten	Dayanıklılık
Hayvan kılı, saman, deniz yosunu, karaağaç kabuğu, lifli bitkiler, pamuk, pirinç, arpa	Takviye

Batı ülkelerinden farklı olarak Çin'de yapışkan pirinç katkılı kireç harçları kullanılmıştır. Bu coğrafyada kullanılan yapışkan pirinç, bitki yapraklarının suyu, balık yağı, hayvan kanı ve tung ağacının tohumlarından elde edilen ve yağ niteliği taşıyan doğal organik katkıları, kireç harçlarının performansını oldukça geliştirmiştir (Tekin ve Kurugöl 2012).

2.2. Tarihi yapılarda kullanılan harçlarla ilgili yapılan çalışmalar

Bu Kısımda tarihi yapılarda kullanılan harçların özgün niteliklerini belirlemek için yapılan karakterizasyon çalışmaları ile onarım harçlarının özgün malzeme özelliklerine benzer olabilmesi için geçmişten günümüze dek yapılan çalışmaların kronolojik gelişimi aktarılmıştır.

Taş koruma çalışmalarında ilk araştırmacılardan biri Wren olmuştur. 1750 yılında yaptığı bir çalışma sonucunda aşırı kompakt Portland çimentosu harçlarının kullanılmasının taş bozulmalarını hızlandıracağını belirtmiştir (Ersen 1991).

Smeaton 1756 yılında yangın sonucu zarar gören bir deniz fenerinin onarımında kullanılacak olan yeni harç konusunda denemeler yapmıştır. İlk etapta 2 ölçü sönmüş kireç ile 1 ölçü puzolanik toprağı karıştırmış ve mümkün olduğunca az miktarda su katarak bir harç üretmiştir. Fakat daha sonra bu harcın istenilen sonuçları vermediğini görmüştür. Sonrasında kireç türünün değiştirilmesi konusunda araştırmış, farklı bölgelerden aldığı kireçlerle puzolanları karıştırarak denemeler yapmıştır. Bu denemeler sırasında “hidrolik kireç” olarak isimlendirdiği kirecin kullanımının verdiği olumlu sonuçları dile getirmiştir (Lea 1970).

1837 yılında yapılan bir çalışmada Vicat, kireç ve hidrolik harçları detaylı olarak ele almıştır. Çalışmada Vicat puzolanik katkıları ve kireç harcına sağladığı yararları incelemiş, uygulamaya yönelik uygun kireç/agrega oranları vermiştir (Borrelli, 1999). Ruskin tarafından yazılan “The Seven Lamps of Architecture” (Mimarın 7 Klavuzu) isimli kitapta restorasyonlarda yapının özgün malzemesinin, yapım tekniğinin, taşıyıcı sisteminin doğru olarak uygulanmasını ve otantikliğine sadık kalınmasının gerektiğini belirtmiştir (Ruskin 1849).

Jedrzejewska (1960) 2. Dünya savaşında Polonya'da bir çok tarihi yapının yıkılmasını, bu yapılardan harç numuneleri alınabilmesi açısından bir fırsat olarak

görmüş, bölgede kullanılan harç karakterinin analizi amacıyla bir çok yapıdan harç numuneleri almış, bunlar üzerinde çeşitli analizler uygulamıştır.

Winfield (1964) tarafından Niğde Eski Gümüş Kilisesi duvar resimlerinin temizleme ve yenileme çalışmaları yapılmıştır. Kilise duvarlarından dökülen sıvaların yenilenebilmesi için bazı denemeler yapılmıştır. Bunun için sönmüş kireç, kazein, kıtık ve yıkanmış dere kumu farklı oranlarda karıştırılmış, orijinaline uygun renk tonu ve sertlikte bir sıva elde edilmeye çalışılmıştır.

Cliver (1974) harç ve sıvalara asitle muamele etmiş, bunun sonucunda reaksiyona girmeyen parçacıkların renklerinden yola çıkarak sadece çimento veya melez (kireç + çimento) harç ve sıvalar için geçerli olacak şekilde bir sınıflandırma oluşturmuştur.

RILEM (1978) bir teknik rapor yayınlarak tarihi yapılarda kullanılacak harçların kıvamının önemini vurgulamış ve harçların kıvamının belirlenmesinde kullanılabilecek bir yöntem açıklanmıştır. Açıklanan yöntem “Mo-Meter” ismi verilen bir aletle dikey bir tüp içerisine doldurulan harcın damlatılması ve gereken ölçümlerin yapılması yolu ile harcın kıvamının belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

Holmstrom (1981) tarafından yapılan bir onarım çalışmasında orijinaline yakın özellikte yeni onarım harcı karışımları yapılabilmesi için orijinal harçların mekanik ve fiziksel özellikleri analiz edilmeye çalışılmıştır. İskandinavya’da gerçekleştirilen bu çalışmada ilk olarak tarihi yapının onarımı için mevcut kireç harçlarının yerine Portland çimentosu, sentetik reçine veya karışımlar kullanılmış, ancak bu yeni harçların, düşük ısı ve yüksek neme dayanıksızlık, yeterince esnek ve geçirgen olmaması gibi dezavantajları olduğu tespit edilmiştir.

Lewin tarafından yapılan bir çalışmada kireç, su kireci, Portland çimentosu, düşük alkali Portland çimentosu, kum ve puzolan kullanılarak üretilen farklı harç karışımlarının XRD analizleri gerçekleştirilerek SEM fotoğrafları çekilmiş, bu analizlerin harçların karakterizasyonunun saptanmasına katkısı belirtilmiştir (Lewin 1981). 1981’de eski harç ve sıvaların hidrolik ve hidrolik olmayan özelliklerinin belirlenebilmesi için Dupas tarafından Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO ve MgO ile birleşmiş olan silis miktarı tayin edilmiştir (Güleç 1992).

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

1985 yılında Sivas’ın Divriği ilçesinde yer alan Divriği Ulu Camii’nde yapının dolomit taşlarının bozulmalarının araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Bozulan kısımlardan ve sağlam kısımlardan numuneler alınmış, bunlar üzerinde XRD, Infrared Spektroskopisi ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda bozulmaların nedeninin Portland çimentosuyla yapılan bilinçsiz derz onarımları olduğu, çimentonun taş duvarlara fazladan tuz kaynağı eklediği tespit edilmiştir (Caner vd. 1985).

1988 yılında RILEM tarafından bir workshop gerçekleştirilmiş, onarım harçları için belirlenen genel şartların oluşturduğu bir rapor hazırlanmıştır. Rapora göre yeni ve

eski harçlar konusunda yapılan çalışmalar paralel yürütülmelidir. Onarım harcı üretilmesi için yapılması gereken ilk çalışma, eski harçların malzeme karakterizasyonunun belirlenmesidir. Harçların içerikleri ve bileşim oranları belirlendikten sonra orijinal malzemeye 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 (Rossi Doria 1990). Kaviak (1990) tarafından yapılan bir çalışmada, Polonya’da bir 12. yüzyıl kilisesi harçlarının karakterizasyonları yapılmıştır. Kullanılan alçı harçların bileşim oranları ve içerikleri belirlenmiştir.

Güleç (1992) tarafından tamamlanan bir tez çalışmasında Tahtakale Hamamı’ndan 79, Esekapi Medresesi’nden 51, Roma Hamamı’ndan ise 19 adet olmak üzere çeşitli harç ve sıva numuneleri almış, bunlar üzerinde yaş kimya, XRD, SEM, EDAX, porozimetri ve yoğunluk analizleri yapmıştır. Analizler sonucunda Tahtakale Hamamı ve Esekapi Medresesi’nden alınan harçların çeşitli renk, doku ve boyutlardaki agregalar ve bu agregaları birbirine bağlayan bağlayıcılardan oluştuğunu, bunun dışında çok sayıda örnekte kırılarak küçültülmüş ve çok ince tane haline getirilmiş tuğla kırıkları ve tuğla tozunun puzolanik malzeme olarak kullanıldığını gözlemlemiştir.

İrlanda Dublin’de yer alan, taştan inşa edilmiş, 12. yüzyıl yapısı olan Trinity Koleji’nde yapılan bir çalışmada, yıpranmış olan derz harçlarının yenilenebilmesi amacıyla mevcut harçların karakterizasyonları yapılarak yeniden derzleme için uygun harç bileşimleri ve teknikleri tespit edilmiştir (Duffy vd. 1993).

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

1996 yılında yapılan bir çalışmada çeşitli puzolanların puzolanik aktiviteleri araştırılmış ve bu puzolanlarla üretilen harçların dayanımları incelenmiştir. Çalışmada, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi yapay puzolanlar ile tras (doğal puzolan) kullanılmıştır (Kılınçkale 1996).

Güleç ve Tulun (1997) Anadolu’da yer alan Roma, Bizans ve Osmanlı dönemlerinde kullanılan tarihi harç ve sıvalar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında alınan örnekler üzerinde görsel analiz, porozite, ince kesit ve XRD analizleri uygulamışlardır. Bu analizler sonucunda numunelerde kalsit ve kuvarsın daha yoğun bulunduğunu, plajiolaz ve feldspat minerallerinin ise az miktarda olduğunu gözlemlemişlerdir.

Riccardi vd. (1998) Pavia’da (İtalya) bulunan tarihi yapılardan harç örnekleri almış, bunlar üzerinde mikroskobik incelemeler, termal ve XRD analizleri yapmışlardır. Araştırmalar sonucunda Roma, Ortaçağ ve Rönesans dönemleri harçları arasındaki farkları nitelemişlerdir. Buna göre Roma dönemi harçlarda %70 oranında kalsiyum bulunurken, Ortaçağ ve Rönesans dönemlerinde bu oran %80-%90 civarına çıkmıştır. Biotit ve Muskovit türü mikalara Roma ve Rönesans dönemi yapılarında çokça rastlanırken, Ortaçağ’da nadir kullanıldığı görülmüştür. Roma ve Ortaçağ numunelerinde

kalsit, kuvars ve feldspat ana mineraller olarak gözlenirken, Rönesans dönemi harçlarda kalsit olmadığı ancak dolomit ve jips minerallerinin var olduğu belirtilmiştir.

1999 yılında Danimarka’da bulunan Ortaçağ kiliselerinin hidrolik kireç harçları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında 1100 ve 1450 yılları arasında inşa edilmiş olan kiliselerden alınan eski harç örnekleri üzerinde polarizan mikroskop, XRD, XRF ve SEM analizleri yapılmıştır. XRF sonuçlarına göre örneklerin ağırlıkça SiO₂ içerikleri %38-70 arasında, CaO içerikleri % 13-30 arasında bulunmuştur. TiO₂, Fe₂O₃, Mn₃O₄ ve MgO konsantrasyonları tüm numuneler için aynı bulunmuştur. Çıkan bu sonuçlarla, üretilen onarım harçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır(Andersen vd. 1999). Borelli (1999) “Conservation Of Architectural Heritage, Historic Structures And Materials” isimli kitabında tarihi yapı malzemeleri incelemelerinde izlenecek adımları, yapı malzemeleri içerisine giren tuzları ve bu tuzların analiz metotlarını açıklamıştır

Alvarez vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada İspanya’daki Pamplona katedralinden çeşitli harç örnekleri alınmış ve bunlar üzerinde termal, mineralojik ve kimyasal analizler yapılmıştır. Belirli sıcaklık aralıklarındaki kütle kayıplarının dikkate alınmasıyla harçların hidrolik özellikleri tespit edilmiş ve TG/DTA analizlerinin bu tip çalışmalarda önemi açıklanmıştır. XRD analizinde bu harçların ana bileşenlerinin kalsit ve kuvars olduğu, bu bileşenler dışında düşük miktarda kompleks silikatlarında bulunduğu ancak alçının bulunmadığı gösterilmiştir.

Mistakidou vd. (2001) Yunanistan’daki tarihi yapıların restorasyonu ile ilgili bir çalışmada hidrate kireç, tuğla tozu, deniz kumu ve portland çimentosu kullanarak restorasyon harçları hazırlamışlardır. Daha sonra üretilen bu restorasyon harçlarının mineralojik özelliklerini belirlemek için optik mikroskop, XRD ve XRF analizleri yapmışlardır. Yeni onarım harçlarının durabilitesinin ve işlenebilirliğinin çok iyi bir seviyede olduğunu tespit etmişlerdir.

Tunçoku (2001) tarafından yapılan bir tez çalışmasında Konya, Beyşehir ve Akşehir’de bulunan 22 farklı Anadolu Selçuklu Dönemi yığma yapısında uygulanan harç teknolojisi, bu harçlarda kullanılan hammadde kompozisyonları, harçların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında numuneler üzerinde asit kaybı analizi, atomik soğurma spektroskopisi (AAS), kompleksometrik titrasyon, XRD, SEM-EDX, TGA analizleri yapılmıştır. Ayrıca en küçük tanelerin doygun kalsiyum hidroksit çözeltisinde elektrik iletkenliği ölçümleri ile harçların puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. İnce agregaların çoğunluğunun puzolanik aktivitesi yüksek olan Opal-A mineralinden oluştuğu, puzolanik agrega kullanımının harçlarda C-S-H ve silika ağı oluşumu sağladığı, bazik ortamın diğer agregalara yapacağı tahribatı önlediği, mekanik özellikleri geliştirdiği ve kuruma-ıslanma tekrarlarına karşı dayanımı sağladığı anlaşılmıştır.

2002 yılında yapılan bir çalışmada Veracruz’da (Meksika) bulunan San Juan de Ulúa kalesinden, 16-18. Yüzyıllar arasında kullanılan inşaat malzemelerini analiz etmek amacıyla numuneler alınmıştır. Mucara taşı olarak bilinen taş numuneleri üzerinde SEM, XRD ve XRF analizleri uygulamışlar ve XRD analiz sonucunda, aragonit mineralini ana bileşen olarak gözlemlemişlerdir (Zamudio-Zamudio vd. 2003).

Bianchini vd. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada İtalya'nın Emilia-Romagna bölgesinde yer alan Ferrara antik kentinden alınan tarihi harçların kimyasal ve minerolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, numuneler üzerinde, XRF analizleri uygulanmıştır.

Elsen vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada Tournai Katedrali'nden (Belçika) harç numuneleri alınmış, bu numuneler üzerinde kimyasal ve mikroskobik incelemeler yapılmıştır. Mikroskobik çalışmalar sırasında numunelerden ince kesitler alınmış, bunlar mikroskop altında incelenmiş ve numune içeriği hakkında bilgiler edinilmiştir. İnce kesitler hazırlanırken zayıf bir yapıya sahip olan harç numunelerinin kolayca dağılmasını önlemek amacıyla numunelere düşük bir viskozite ile vakum altında emdirme işlemi yapılmıştır.

Özkaya Aslan (2005) tarafından tamamlanan bir tez çalışmasında Serapis Tapınağı'nın inşasında kullanılan tuğla, harç ve sıvaların özellikleri incelenerek o dönemin malzeme teknolojisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda Roma ve Bizans dönemine ait harç ve sıvaların yüksek basınç dayanımına sahip, düşük yoğunlukta ve gözenekli olmasına karşın 1940'lı yıllarda kullanılan onarım harçlarının mekanik özelliklerini tamamen yitirdiği saptanmıştır. Harçların birim hacim kütle (görünür yoğunluk) değerini ortalama 1.5 gr/cm^3 , özgül kütle (gerçek yoğunluk) değerini ise ortalama 2.4 gr/cm^3 olarak tespit etmiştir. 2005 yılında tamamlanmış olan bir başka tez çalışmasında Efes Yamaçevler 2'de 1,2, ve 4 nolu evlerden aldığı Roma Dönemi Harçlarının temel fiziksel, mekanik ve hammadde özellikleri incelenmiştir. Harçlardan uygun boyutlarda numune alınamadığı için noktasal yükleme deneyi ve tek eksenli basınç dayanım testlerini gerçekleştirilememiş, bunun yerine ultrasonik hız ölçümleri ile harçların esneklik modülleri belirlenerek bu değer aracılığı ile temel mekanik özellikler saptanmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda harçlarda kullanılan bağlayıcının saf kireç olduğu ve harç içerisinde %49,3 ile %79,1 arasında değişen bir oranda bulunduğu belirlenmiştir (Kuleli 2005).

Uğurlu ve Böke (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, İzmir'de bulunan bazı Osmanlı hamam yapılarında kullanılan horasan sıvalarının fiziksel özellikleri, hammadde kompozisyonları, sıvalarda kullanılan tuğla kırıklarının minerolojik ve kimyasal kompozisyonları ile puzolanik özellikleri belirlenmiştir. Sıvaların hidrolik özelliklerini, toz haline getirilmiş örneklerin 200-600 °C ve 600-900 °C arasında ısıtılması ile meydana gelen ağırlık azalmalarını ölçmüşler, bu ölçümler sonucunda horasan sıvalarının CO₂/kimyasalsu oranlarını 0.6-0.9 arasında bularak sıvaların hidrolik özelliğe sahip olduklarını saptamışlardır. Ayrıca çalışmada horsan sıva yapımında kullanılan tuğlaların, sıva yapımında kullanılmak üzere özel olarak seçildiklerini belirtmişlerdir.

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

Böke vd. (2008) İzmir yakınlarında bulunan bazı Osmanlı dönemi hamamlarının kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçlarının özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan

çalışmada harçların temel fiziksel özelliklerini, mikroyapılarını, hammadde kompozisyonlarını, hammaddelerin minerolojik ve kimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. Harçların yapımında kullanılan yaklaşık kireç ve agregaların oranlarını, numuneleri % 5 seyreltik hidroklorik asitte (HCl) çözündürerek 1:4 ile 2:3 arasında bulmuşlardır.

Veiga vd. (2009) tarafından yılında yapılan bir çalışmada Portekiz’de Lizbon sahillerinde bulunan tarihi kalenin sıvalarının yenilenebilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Surlar üzerine, yerinde denemeler yapmak üzere 5 farklı çeşit bağlayıcı kullanılarak sıva karışımları oluşturulmuş ve bu sıvaların özellikleri üzerine karşılaştırmalar yapılarak en uygun karışım tespit edilmiştir.

Kurugöl (2010) tarihi Kütahya Kalesi’nin inşasında kullanılmış olan çeşitli orijinal tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile puzolanik karakteristikleri incelemiştir. Tuğlaların puzolanik özelliklerini ölçmek amacıyla, öğütüp toz haline getirdiği tuğlalar ile TS 25 standardına göre kireç harçları üretmiş bu harçlar üzerinden tuğlaların puzolanik özelliklerini araştırmıştır. XRD analizleri sonucunda, bütün tuğla örneklerinde kuvars, çeşitli feldispatlar ve kalsit mineralleri gözlemiştir. Kalsit (CaCO_3) piklerinin hemen hemen her örnekte tespit edilmiş olmasını, tuğlaların 750-900 °C’ler arasındaki sıcaklıklarda pişirilmesinin sonucu olarak yorumlamıştır. Çünkü kalsitin dekarbonizasyonu 800 °C’den daha düşük sıcaklıklarda başlamakta ve 930 °C civarında da kirece dönüşmektedir. Sağın Uğurlu ve Böke (2010) tarafından yapılan bir çalışmada Aigai ve Nysa antik kentlerinde Roma Dönemi’ne ait bazı yapılar ile Osmanlı Dönemi’ne ait bazı hamam yapılarından toplanan harç ve sıvalar incelenmiştir. Horasan harç ve sıvaların saf kireç ile puzolanik tuğla kırıkları kullanılarak hazırlandıkları ve homojen yapılarından dolayı pembemsi bir renge sahip oldukları görülmüştür. Bu yapı kirecin ve tuğla agregaların üretim sırasında çok iyi karıştığını göstermektedir. XRF ve SEM-EDS analizleri sonucunda da tuğla agregaların yüksek oranda SiO_2 , Al_2O_3 , ve daha düşük oranda Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O ve CaO ’den oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca mineralojik analiz sonuçlarında da hem Roma hem de Osmanlı dönemi tuğla agregalarının üretimlerinde düşük miktarda kalsiyum içeren kil kullanıldığı görülmüştür. Çalışmada puzolanik aktivite tespiti amacıyla numunelerde kullanılan tuğla kırığı agregaların elektrik iletkenlikleri ölçülmüş, yapılarda kullanılan tuğlaların elektrik iletkenlikleri de ölçülerek sonuçlar kıyaslanmıştır. Agregaya olarak kullanılan tuğla kırıklarının puzolanik özellik gösterdiği, yapı tuğlalarında ise bu özelliğin olmadığı saptanmış, harç yapımında kullanılmak üzere özel olarak tuğla agregalarının üretildiği sonucuna varılmıştır.

Yüzer vd. (2011) Üsküdar’da bulunan apsidal yapı kalıntısına ait tuğla ve harç numunelerini incelemişlerdir. Çalışma sırasında harçlarda agregaya olarak tuğla kırığı ve kum, bağlayıcı olarak da kireç ve tuğla tozu kullanıldığı görülmüştür. Harçlarda kullanılan bağlayıcının agregaya oranının tespit edilmesi amacıyla asit kaybı analizi yapılmıştır. Bunun için 50 gr numune %10 seyreltilmiş HCl asit ile 60 dk. karıştırılmış ve süre sonunda filtre kağıdı yardımıyla süzülerek bağlayıcı:agrega oranı 1:4 ile 1:9 aralığında bulunmuştur. Yapılan fiziksel ölçümlerde horasan harcının ortalama birim ağırlığı 1,17 gr/cm³, ağırlıkça su emme oranı ortalama % 44.6, hacimce su emme oranı ise ortalama % 52 olarak ölçülmüştür.

Kahraman Altaş vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'da yer alan Erken Bizans Dönemi (Roma) saray yapılarında kullanılan tarihi harçların; fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik özellikleri incelenmiş, agrega boyut dağılımlarını gösteren elek analizi ve suda çözünen tuz analizleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak numuneleri seçerken detaylı bir literatür çalışması yapmışlar böylece yapılar hakkında yapım dönemine ait özgün yerleri bularak buralardan yapıyı iyi temsil edecek örnekler almaya çalışmışlardır. Analizler sonucunda tüm harç horasan harçları olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan fiziksel deneylere göre harçların porozite değerleri %37 ile %48 arasında, kütlece su emme yüzdesi % 23 ile 33 arasında ve birim hacim kütlesi 1,32 ile 1,61 g/cm³ arasında çıkmıştır. Çalışma sırasında harçların puzolanik aktivitelerini elektrik iletkenliğinden yararlanarak ölçmüşler, harçların iyi puzolan oldukları sonucuna varmışlardır. Bu sınıflandırmayı yaparken dikkate aldıkları ölçüt şu şekilde özetlenebilir. Eğer harcın elektrik iletkenlik değerleri arasındaki fark 0,4 mS/cm'den büyük ise harç puzolan, 1.2 mS/ cm'den büyük ise harç iyi puzolan, 0,4 mS/cm'den küçük ise de harç puzolan değildir. Güney (2012) tarafından yapılan bir tez çalışmasında Kahta Kalesi'nin duvarlarının inşasında kullanılan kireç harçlarının özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında tarihi yapıların onarımında kullanılacak puzolanik kireç harçlarının geliştirilmesi amaçlanmış, bu amaçla puzolanik katkı maddelerinin kireç harçlarının fiziksel, fizikomekanik ve mikroyapısal özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. İncelenen harçlarda saf kirecin kullanıldığı, numune içerisindeki bağlayıcı yüzdesinin yüksek olduğu ve ortalama basınç dayanımının 7.4 MPa görülmüştür.

Akcan (2015) tarafından tamamlanan bir tez çalışmasında Harran bölgesinde yer alan tarihi yapılardan alınan harç numunelerinin fiziko-kimyasal ve minerolojik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Urfa Kalesi, Harran Höyüğü, Harran Üniversitesi, Harran Şehir Surları, Harran Kalesi Harran Ulu Camii gibi tarihi yapılardan, her yapı için 3 farklı numune olacak şekilde harç numuneleri alınmıştır. Yapılan nitel gözlemlerde harçların bileşenlerinde dere agregası, tuğla kırıkları, kil, volkanik kül ve hayvan kılları gözlemlenmiştir. Harç numunelerinin görünür yoğunluk değerleri, 1,35-1,42 g/cm³ değerler arasında, gerçek yoğunluk değerleri ise 1,51-2,10 g/cm³ değerler arasında ölçülmüştür. Harç numunelerin SEM görüntülerinde belirgin bir şekilde etrengit, C-S-H ve kalsit mineralleri, EDX analizinde ise kalsiyum (Ca) ve silisyum (Si) elementlerinin yüzde oranlarının diğer elementlere göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Kalsit minerallerinin yoğun olarak bulunması bu harçların kireç bağlayıcılı harçlar olmasından kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Kapur vd. (2016) İspanya'da yer alan Elhamra Sarayı'nın duvar harçlarının fiziksel, kimyasal ve mikroskobik özelliklerini incelemişlerdir. 8 farklı harç numunesi üzerinde yapılan elektron mikroskobu ve X-ray analizleri sonuçlarına göre, numunelerde etkin varlık gösteren kalsit, jips, kuvars ve muskovit mineralleri ve organik liflere rastlamışlardır. Numunelerin yoğunlukları 1,87-2,23 gr/cm³ arasında değişirken poroziteleri de %30 ila %35 arasında değişen değerler almıştır. Ayrıca cami kompleksinden alınan harç numunesinin yüksek basınç dayanımı ve düşük porozitesi sebebiyle önemli oranda bozulmadan kendini koruduğunu tespit etmişler, bunun numunenin içeriğindeki seramik parçalarından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Anadolu'nun güneyinde, Antalya ilinin doğu bölümünü kapsayan düzlük sahil kesimindeki bölge Antikçağ'da Pamphylia olarak adlandırılmıştır. Pamphylia'nın büyük bir bölümü üçgen biçimindeki bir ovalık alandan oluşur. Bu ova doğu, batı ve kuzeyde Toros eteklerine kadar uzanır. Güneyde ise Pamphylion Kolpos (Pamfilya Körfezi) bölgeyi sınırlamaktadır. Bölge ayrıca toroslardan akan Eurymedon (Köprüçay, Köprü suyu), Katarraktes (Düden), Melas (Manavgat Irmağı) ve Kestros (Aksu) ve olmak üzere dört ana ırmakla beslenmektedir. Bu ırmakların bölgenin verimliliğine büyük bir katkısı olmuş, bölgeye Yunanca'da "tüm oymaklar (tüm ırklar) ülkesi" anlamına gelen Pamphylia ismi verilmiştir. Bölgenin en önemli beş kenti Perge, Attalya, Side, Silyon ve Aspendos'tur (Erdoğan 2018).

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

Bu tez çalışması kapsamında Aspendos antik kentinde bulunan ve restorasyonu düşünülen Çeşme Binası, Roma Bazilikası ve Domus'tan alınan harç numuneleri üzerinde analizler yapılmıştır.

3.1.1. Bölgenin ve incelenen yapıların tanıtımı

Çeşme Binası

Aspendos, Roma Tiyatrosunun yanında aynı zamanda şehrin su ihtiyacını karşılamak için inşa edilen görkemli su kemerleriyle de bilinen bir şehirdir. Erken dönemlerde şehirdeki su ihtiyacı sarnıçlarda biriktirilen yağmur suları ve yerel kaynaklarla karşılanmıştır. Sonrasında şehrin büyümesi ve kalabalıklaşmasıyla birlikte hayat standartları ve su ihtiyacı da artmış, bu ihtiyacın karşılanması amacıyla su kemerlerinin inşa edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Şehrin 17 km. kuzeyinde bulunan

dağlardan bu su kemerleri ve kanallar vasıtasıyla Çeşme Binasına (Nymphaeum) taşınan su, bu yapı aracılığıyla orada yaşayan halka sunulmuştur (Bachmann 2016).

Çeşme Binası iki katlı bir yapı olup ve agoranın kuzey kenarı boyunca yükselmektedir. Yaklaşık 15 m. yükseklik ve 32 m. genişliğe sahip olan yapı 1,5 m. kalınlığında duvar örülerek inşa edilmiştir. Duvar üzerinde zaman içerisinde kaybolmuş heykellerle süslü mermer nişlerin izleri bulunmaktadır. Erken Roma Dönemi eseri olan binanın M.S. 160-180 yılları arasında inşa edildiği düşünülmektedir. Yapı üzerinde yapılan son kazılarda sonraki bir dönemde, geç antik çağ veya Selçuklu döneminde, çeşmenin kurnalarının yerine sıva ile yeni bir su depolama havuzunun yapıldığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak yapıda en az iki farklı dönem sıva izlerine rastlanmaktadır (Bachmann 2016).



Şekil 3. 1. Çeşme Binası (Nymphaeum)

Roma Bazilikası

Bazilikalar Roma Döneminde farklı amaçlar için kullanılan kamu binaları olarak tanımlanabilir. Genellikle agoraların kenarında inşa edilen bu yapılar ticaret, toplantı ve mahkeme salonu olarak, hükümet konağı olarak ya da yaygın bir şekilde kilise olarak kullanılmışlardır.

Aspendos antik kent kalıntıları arasında en büyük yapılardan biri de eski Roma Bazilikasıdır. Roma Dönemi öncesinde Agoranın hemen doğu kenarında Helenistik Dönemden kalma market binası yer almaktaydı. Sonrasında Roma Döneminde bu market binası üzerine tipik bir Roma Bazilikası inşa edilmiştir. Yaklaşık 106 m. uzunluk ve 35 m. genişliğe sahip olan bina doğu kenarında devasa tonozlar yapılarak bu tonozlara oturtulmuştur. Bu bina anadolu'ya yabancı bir yapı tarzı olmasının yanı sıra benzer örnekleri de mevcuttur. Yapılan araştırmalar binanın MS 1. y.y'da yapılmış olabileceğini göstermektedir (Köse 2009).



Şekil 3. 2. Roma Bazilikası

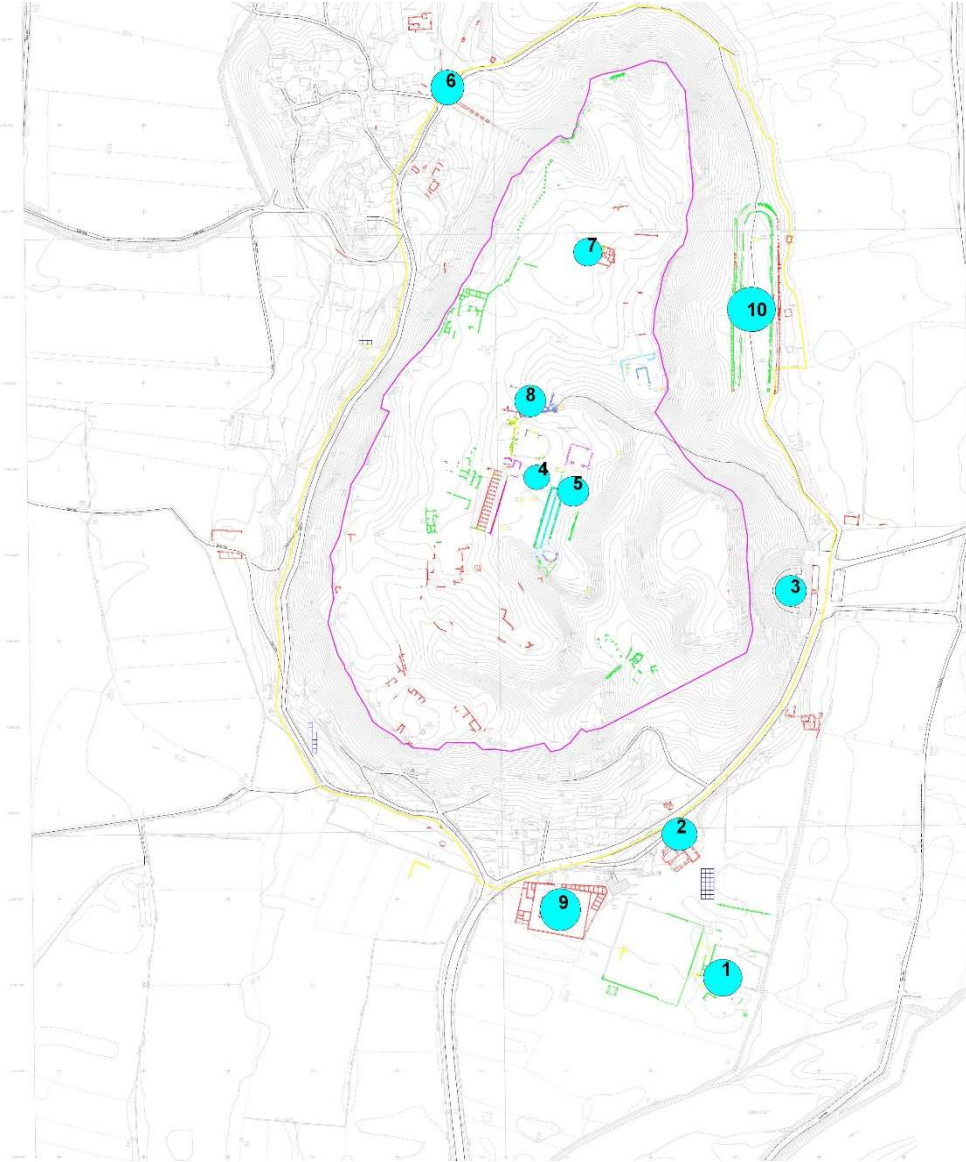
Domus

Eski Roma'da özel konutlar Domus olarak adlandırılmıştır. Dış dünyanın fiziksel etkilerinden uzak, sessiz ve sakin bir ortam elde etmek amacıyla tek ya da iki katlı olarak tasarlanan domuslar, Roma Döneminde İtalya ve Pompeii'de yaygın olarak kullanılmışlardır. Domusların en belirgin özelliği bağımsız aile konutu olması, yani tek aile tarafından kullanılıyor olmasıdır. Bunlar Roma şehirleşmesinde erken dönemlerde geliştirilmiş ve daha sonraki yıllarda yapılan eklemelerle değiştirilerek daha farklı görünümlere sahip olmuşlardır. Domus yapısı kazı ekibi tarafından henüz ortaya

çıkartılan yeni bir yapı olduğu için dönemi ve tarihi hakkında yeterli bilgi mevcut değildir.



Şekil 3. 3. Domus



Şekil 3. 4. Aspendos haritası (Köse 2009)

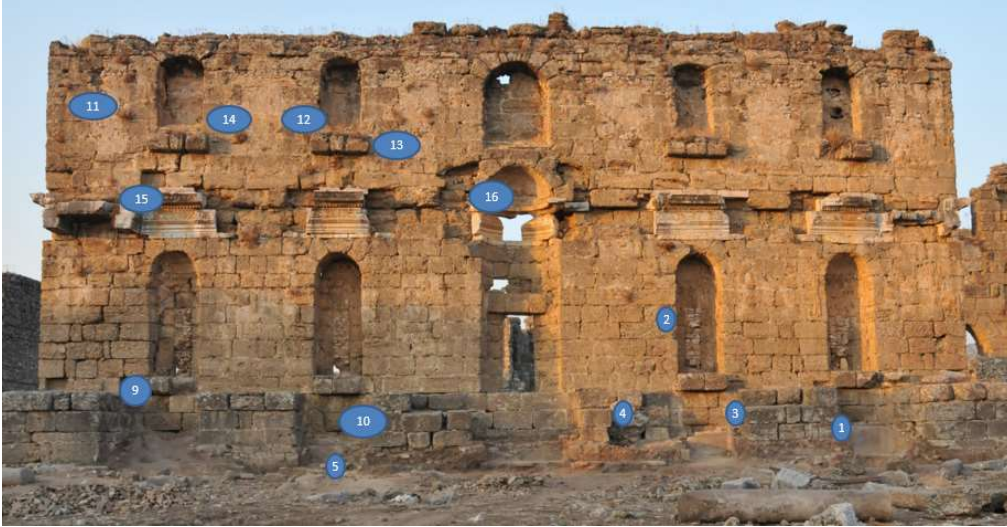
1. Liman Hamamı
2. Küçük Hamam
3. Tiyatro
4. Çeşme Binası
5. Roma Bazilika'sı
6. Su Kemerleri
7. Geç Antik Yapı I (Hamam veya ısıtılmalı ev yapısı)
8. Geç Antik Yapı II (Anıtsal Kapı'nın hemen kuzeybatısındaki yapı)
9. Köprüsu Kervansaray'ı
10. Stadion

3.1.2. Numune alma çalışmaları

İlk olarak üzerinden numune alınacak yapılar arkeolojik bilgilerden de yararlanılarak, saha gözlemleriyle belirlenmiştir. Numune alınacak bölgeler belirlendikten sonra istenen örnekler, yapıya da zarar vermeyecek şekilde, çekiç ve keski yardımıyla, dikkatli bir biçimde yapıdan alınmıştır. Alınan her bir numune, numunenin alındığı yer belli olacak şekilde ayrı ayrı fotoğraflanmış, paketlenmiş ve alındığı yapı dikkate alınarak kodlanmıştır. Sonrasında hazırlanan bu numuneler deneysel çalışmalar için laboratuvara getirilmiştir.

Çeşme yapısı:

Çeşme yapısından 16 tane numune alınmıştır. Numuneler yapının farklı bölgelerinden tüm yapıyı temsil edecek şekilde kazı ekibinin de görüşleri alınarak seçilmiş, alım sırasında yapıya zarar vermeme hususunda titizlik gösterilmiştir.



Şekil 3. 5. Çeşme yapısı ön cepheden alınan numunelerin yerleri



Şekil 3. 6. Çeşme yapısı arka cepheden alınan numunelerin yerleri



Şekil 3. 7. CH1 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 8. CH2 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 9. CP3 kodlu sıva numunesi



Şekil 3. 10. CH4 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 11. CH5 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 12. CH6 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 13. CH7 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 14. CH8 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 15. CH9 kodlu harç numunesi



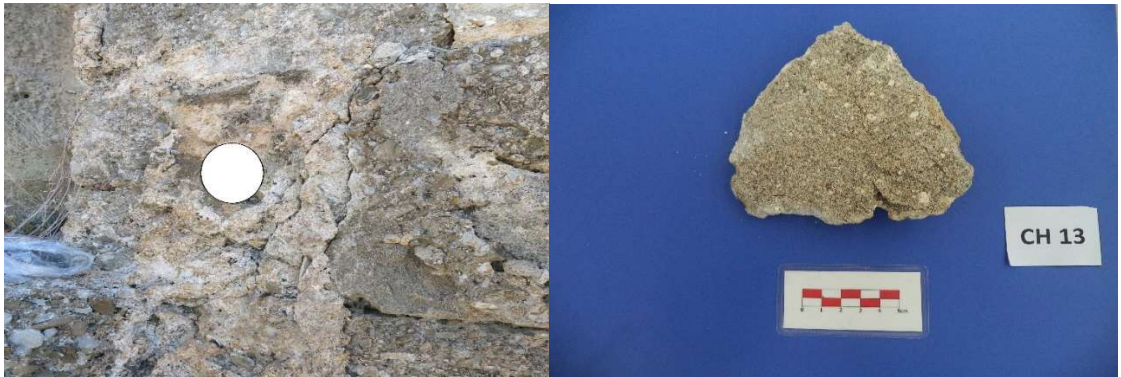
Şekil 3. 16. CP10 kodlu sıva numunesi



Şekil 3. 17. CH11 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 18. CH12 kodlu harç numunesi



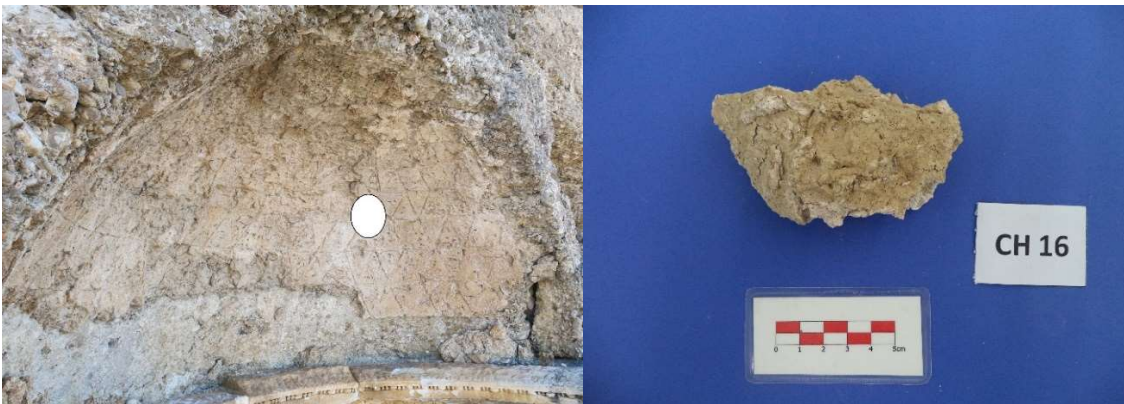
Şekil 3. 19. CH13 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 20. CH14 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 21. CH15 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 22. CH16 kodlu harç numunesi

Bazilika:

Bazilika yapısında kazı ekibinin de görüşleri alınarak 9 bölge belirlenmiş ve buralardan numuneler alınmıştır. Aşağıda bu numunelerin alındığı yerler ve alınan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3. 23. Bazilika yapısından alınan numunelerin yerleri



Şekil 3. 24. BH1 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 25. BH2 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 26. BP3 kodlu sıva numunesi



Şekil 3. 27. BH4 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 28. BP5 kodlu sıva numunesi



Şekil 3. 29. BH6 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 30. BH7 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 31. BH8 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 32. BP9 kodlu sıva numunesi

Domus:

Çalışma kapsamında Domus’da 4 bölge belirlenmiş ve buralardan numuneler alınmıştır. Aşağıda bu numunelerin alındığı yerler ve alınan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3. 33. Domus’ dan alınan numunelerin yerleri



Şekil 3. 34. DH1 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 35. DH2 kodlu harç numunesi



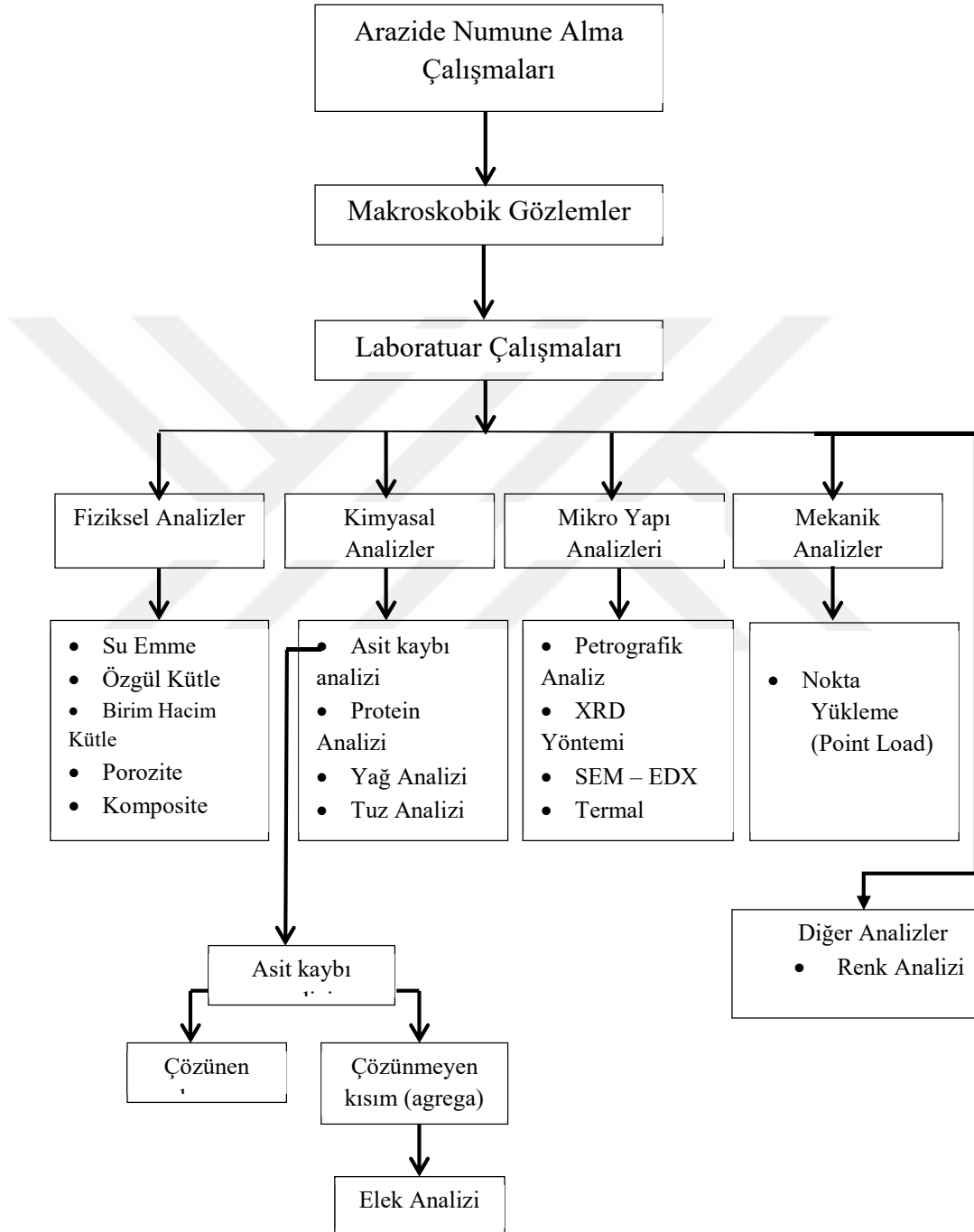
Şekil 3. 36. DH3 kodlu harç numunesi



Şekil 3. 37. DP4 kodlu harç numunesi

3.2. Metot

Tarihi yapılardan alınan harç numuneleri üzerinde yapılan çalışmalar aşağıda verilen deney akış şemasında gösterilmiştir.



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

3.2.1. Makroskobik gözlemler

Alınan harç örnekleri için ön fikir oluşturma amacıyla ilk olarak numunelerin stereo mikroskop altında incelenmesine karar verilmiştir. Mikroskop ile inceleme sonunda, malzemelerin genel yapısı, şekli, rengi, dokusu, bileşenleri, minerallerin cins ve boyutu, boşluk ve çatlakları, harçlarda bağlayıcı malzemeler ve özellikleri belirlenebilir. Numuneyi mikroskop altında inceleyebilmek için öncesinde numuneden lam üzerine ince kesit alınmalı veya belli çapta seçilen numune yüzeyleri pürüzsüzleştirilerek mikroskop altında incelenmelidir. Harç numunelerinin ince kesit alma işlemi sırasında çabuk dağılabilecekleri göz önünde bulundurularak numune yüzeylerinin parlatılmasına karar verilmiştir. Parlatma işlemine her bir numuneden alınan düzgün parçaların Metacut-M250 serisi kesme cihazı altında sulu kesime tabi tutulmasıyla başlanmıştır. Bu işlem sonrasında numune parçalarının birer yüzeyleri düzgünleştirilmiş daha sonra bu yüzeyler Buehler- Metaserv Grinder Polisher marka cihazda üzerinde zımpara ve gümüş tozu bulunan disk yardımıyla parlatılmıştır. Bir yüzeyleri parlatılmış olan harç numuneleri Nikon SMZ 745 T marka trinokuler stereo-mikroskop yardımıyla incelenmiş, mikroskobun görüntüleme aparatı ile her bir örneğin fotoğrafı çekilmiştir. Burada elde edilen sonuçlar mikro yapı analizleri ile de kıyaslanmıştır.



Şekil 3. 39. Makroskobik çalışmalar

3.2.2. Fiziksel analizler

Malzemenin fiziksel deney yöntemleri ile ölçülebilen özellikleri fiziksel özellikler olarak adlandırılır. Bunlar; kütlece ve hacimce su emme oranı, özgül kütle (gerçek yoğunluk), birim hacim kütle (görünür yoğunluk), porozite, kompasite gibi özelliklerdir. Fiziksel analizler malzemelerin karakterizasyonu ve konservasyon çalışmaları için önemli bilgiler verir.

Su emme oranı

Boşluklu bir malzeme içerisinde yer alan boşluk oranının belirlenmesi amacıyla su emme deneyleri yapılır. Yapı malzemeleri içerisindeki boşluklar büyük bir çoğunlukla dışa açık boşluklardır. Bu boşlukların hacmi, onları doldurmak için gerekli sıvının ağırlığından hesaplanabilir. Bu amaçla TSEN 1936 Standardı esas alınarak su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Daha önceden temizlenmiş, düzgün geometrik şekle sahip olmayan numuneler bir etüv içerisinde 60 °C'de 48 saat süresince kurutulmuştur. Kurutma işleminden hemen sonra numune ağırlıkları 0,1 gr. hassasiyetli terazi ile ölçülmüştür (W_{silk}). Daha sonra numuneler, numune yüzeyini 2 cm geçecek şekilde su ile doldurulmuş temiz su kaplarına yerleştirilmiş ve 48 saat emdirme işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlemin ardından sudan çıkartılan numunelerin bir bez yardımıyla yüzeyleri kurulanmış ve bekletilmeksizin ağırlıkları havada tekrar ölçülmüştür. Bu işlem neticesinde numunenin suya doymuş ağırlığı (W_{sd}) belirlenmiştir. Suyu doymuş ağırlıkları ölçülen numuneler daha sonrasında Arşimet terazisi ile su içerisinde tekrar ağırlık ölçüm işlemine tabii tutulmuş ve bu işlem neticesinde de numunelerin su içerisindeki ağırlık değerleri (W_{si}) belirlenmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda bulunan değerler aşağıdaki formüllerde yerine konularak ağırlıkça su emme yüzdesi (S_k) ve hacimce su emme yüzdesi (S_h) değerleri hesaplanmıştır.

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

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

$$S_h = S_k \times \Delta$$

Bu bağıntılarda;

S_k = Ağırlıkça su emme yüzdesi,

S_h = Hacimce su emme yüzdesi,

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

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

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

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





Şekil 3. 40. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Birim hacim kütlesi

Herhangi bir cismin kütlesinin, hacmine oranı o cismin birim-hacim kütlesi olarak adlandırılır. Burada kütlenin oranlandığı hacim cismin bünyesindeki boşluklarıyla birlikte hesaplanan doğal hacmidir. Bundan dolayı birim-hacim kütle değerinin düşük olması incelenen cismin boşluklu bir yapıya sahip olduğunu gösterir (Akbulut Ekşi 2006).

Düzgün geometrik şekillere sahip olmayan numuneler için birim hacim kütle değeri hesaplanırken su emme deneylerinden faydalanılmıştır. Malzemelerin birim hacim kütle değerleri, su emme deneyleri sırasında elde edilen kurutulmuş numunenin ağırlığı, suya doymun haldeki numunenin havadaki ağırlığı, suya doymun haldeki numunenin su içindeki ağırlığı değerleri kullanılarak TSEN 1936 standartlarına göre aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

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

Bu bağıntıda:

Δ = Birim hacim kütle (görünür yoğunluk)

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

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

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

Özgül kütle (gerçek yoğunluk)

Özgül kütle, cismin içerisinde boşluklar olmayacak şekilde hesaplanan birim-hacim kütleye verilen isimdir. Bir malzemedeki boşluk oranı ne kadar azsa bu malzemenin özgül kütle ve birim-hacim kütle değerleri o kadar birbirine yakın çıkar. Örneğin metaller

ve sıvılar boşluksuzdur, bu nedenle özgül kütle ile birim-hacim kütleleri genellikle eşittir. Fakat taş, tuğla ve beton gibi malzemeler gözenekli yapıdadır bu nedenle bu malzemelerin özgül kütleleri ile birim-hacim kütleleri arasında bir fark vardır. Özgül kütle ve birim-hacim kütle arasındaki fark malzemedeki doluluk-boşluk oranının belirlenmesine yarar (Oğuz 2013).

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

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

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

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

Bu bağıntılarda;

V = Hacim,

G_k = Kuru numune ağırlığı,

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

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

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

Porozite

Bir malzemenin içinde bulunan makro ve mikro boyuttaki gözeneklerin ve kılcal tüm boşlukların hacminin o malzemenin tüm hacmine (boşluklar dâhil olmak üzere) oranına porozite denir. Bu oran, malzemenin birçok fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkilidir. Eğer porozite değeri küçük ise, malzemenin kompakt ve az boşluklu olduğunu, büyük ise de malzemedeki boşluk yüzdesinin fazla olduğunu gösterir. Porozite arttıkça boşluk oranı artacağı için, buna bağlı olarak birim ağırlık ve ısı iletkenliği azalır (Akbulut Ekşi 2006).

Birim hacim kütle (görünür yoğunluk) ve özgül kütle (gerçek yoğunluk) yardımıyla numunelerin porozite değeri :

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

bağıntısı yardımı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıda;

p = Numunenin boşluk oranı (porozite) (%)

Δ = Birim hacim kütle (Görünür yoğunluk)
 δ = Özgül Kütle (Gerçek Yoğunluk)'dir.

Kompasite

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

$$k+p=1.0$$

Bu bağtıda ;

k = Numunenin doluluk oranı (kompasite) (%)

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

3.2.3. Kimyasal analizler

Alınan harç numunelerinin bileşenlerinin belirlenmesi amacıyla numuneler üzerinde; asit kaybı, tuz, pH, protein, yağ ve puzolanik aktivite analizleri yapılmıştır.

Asit kaybı ve elek analizi

Asit kaybı analizi, harç numunelerindeki bağlayıcı ve agregayı birbirinden ayırmak amacıyla yapılır. Yaklaşık 50 gr ağırlığındaki harç numunesi asit ile çözünme sürecini hızlandırmak için bir tokmak yardımıyla hafif bir biçimde inceltirilmiştir. Bu işlem sırasında numune içerisindeki agregaların zarar görmemesine dikkat edilmelidir. Daha sonra ilk ağırlığı bilinen ince numune ile %10 seyreltilmiş hidroklorik asit (HCl) kullanılarak her bir 1gr. numuneye 5 ml HCl gelecek şekilde karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım manyetik balıklı karıştırıcı içerisinde 1 saat boyunca karıştırılmış harç numunesindeki bağlayıcının çözünmesi sağlanmıştır. 1 saatin sonunda çözelti süzgeç kâğıdından süzülendiğinde kâğıt üzerinde bağlayıcıdan ayrılmış agregalar kalmıştır. Süzme işleminden sonra ayrılmış agregalar 24 saat süresince 105 °C'de etüvde bekletilmiştir. 24 saatin sonunda etüvden çıkartılan numuneler tekrar tartılmış ve çıkan sonuç ilk tartımla kıyaslanarak asitteki kayıp oranı (bağlayıcı miktarı) hesaplanmıştır.



Şekil 3. 41. Asit kaybı analizi

Asitteki kayıp oranı hesaplandıktan sonra agregalar sırasıyla üst üste konulmuş 8mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m göz açıklığındaki eleklerden en üstteki eleğe dökülmüş her elek üzerinde kalan agrega miktarı tartılmıştır. Bu tartımlar sonucunda elekten geçen malzeme yüzdeleri bulunmuş ve buna göre harç numunesinin tane boyutu dağılım eğrisi (granülometri eğrisi) çizilmiştir.



Şekil 3. 42. Asit kaybı sonrası yapılan elek analizi

Tuz Analizleri

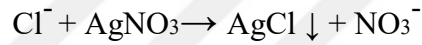
Su, atmosferin ya da suyun içerisindeki kirletici bileşikler, mikroorganizmalar hatta malzemenin kendisi bile malzemede bozulmalara neden olmaktadır. Bozulma bileşenler arasındaki reaksiyonla ortaya çıkan suda çözünen tuzlar şeklinde gözlemlenir. Malzeme içerisinde bulunan tuzlar, malzemeye penetrasyonla girmiş ya da malzeme yapısında meydana gelen kimyasal değişmelerle oluşmuş olabilir (Oğuz 2013).

Bu çalışma kapsamında numuneler içerisinde var olan ve malzemelerde bozulmalara neden olabilecek çeşitli tuzların varlıklarının tespit edilebilmesi amacıyla numuneler üzerinde sırasıyla; klorür, nitrat, sülfat ve karbonat iyonları tespitlerini kapsayan tuz analizleri yapılmıştır. Klor, sülfat, karbonat ve nitrat gibi suda çözünen tuzların bulunma oranları belirlemek için analizlere başlanmadan stok çözelti hazırlanmıştır. Stok çözelti toz haline getirilmiş 1 gr numune ile 100 ml saf sudan oluşan çözeltidir. Numune içerisinde yer alan suda çözünebilen tuzların iyon haline gelmesi için hazırlanan bu karışım 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Klorür analizi Cl^- :

Yapının üzerine inşa edildiği toprak, üzerine etki eden deniz suyu, kullanılan çimento veya inşa aşamasında kullanılan ve yeterince temizlenmeyen deniz kumu gibi sebeplerden dolayı yapı malzemelerinde klorür tuzu varlığına rastlanabilir. Klor (Cl), malzeme içerisinde genelde sodyum klorür (NaCl) veya kalsiyum klorür (CaCl_2) olarak bulunur. Klor tuzu kaynağı zeminse belli seviyeye kadar çıkar, denizse bütün yüzeyde oluşur fakat yağmur etkisiyle yüzeydeki tuz miktarı azalabilir. Kaynak çimento veya onarım malzemesi ise onarım yapılan bölgelerin yakın çevresinde tuz varlığı tespit edilir.

Klorür varlığını tespit etmek amacıyla stok çözeltiden 2 ml alınarak test tüpüne konmuştur. Daha sonra test tüpüne 1-2 damla nitrik asit (HNO_3) ve 1-2 damla gümüş nitrat (AgNO_3) damlatılmıştır. Bu işlem sonucunda Cl^- içeren numunelerde:



Cl^- = Çözeltideki klorür iyonu

AgNO_3 = Gümüş nitrat

AgCl = Gümüş klorür (beyaz çökelek)

NO_3^- = Nitrat iyonu

reaksiyonunun gerçekleşmesi beklenir. Bu reaksiyon test tüpünde oluşan beyaz çökelti şeklinde kendini gösterir (Borrelli 1999).

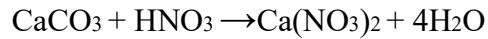


Şekil 3. 43. Cl⁻ Analizi

Nitrat analizi NO₃⁻:

Yapının içerisinde veya çevresinde yaşayan canlıların (kuşlar, mikroorganizmalar vb.) atıkları, eserin konumu ve çevresel faktörler (yapı çevresinde kullanılan gübreler, atık sistemlerinin eserle ilişkilenmesi vb.) gibi nedenler yapı malzemelerine nitrat tuzlarının girmesine sebep olur.

Numune içerisindeki NO₃⁻ varlığını tespit etmek için önceden saf su ile arındırılmış cam çay tabağına 1-2 damla stok çözelti, üzerine de 1 kristal difenilamin ((C₆H₅)₂NH) eklenerek karıştırılmıştır. Sonrasında hazırlanan karışım laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan karışım üzerine 1 damla yoğunlaştırılmış sülfürik asit (H₂SO₄) damlatılarak mavi-mor renk oluşumu gözlemlenmiştir. Mavi-mor renk oluşumu numunede NO₃⁻ varlığını gösterir (Borrelli 1999).



CaCO₃ = Kalsiyum karbonat

Ca(NO₃)₂ = Kalsiyum nitrat

HNO₃ = Nitrik asit

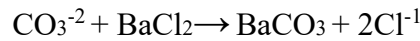
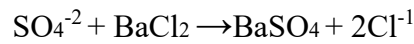


Şekil 3. 44. Nitrat analizi

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

Sülfat tuzu; nem rüzgar ve sıcaklık etkisiyle yapı elemanlarının yüzeyine taşınan, kimyasal ve aşındırıcı özelliği bulunan tuzdur. Bu tuz, hava kirliliğine maruz kalmış karbonatlı malzemelerden, onarımlardan veya bağlayıcının cinsinden kaynaklanabilir. Bu tuzun varlığı, sülfatın kaynağının (boya, astar veya alçıtaşı oluşumu) bulunarak koruma yönteminin önerilmesi amacıyla tespit edilir (KUDEB 2011).

Baryum klorür ($BaCl_2$) ve sülfatın reaksiyona girmesi ile baryum sülfat ($BaSO_4$), karbonat ile reaksiyona girmesi ile de baryum karbonat ($BaCO_3$) oluşur. Her iki durumda kendini sıvı çözelti içerisinde beyaz çökelme olarak gösterir. Analiz esnasında ilk olarak, tuz analizleri için hazırlanmış stok çözeltiden 2 ml alınmıştır. Alınan stok çözeltinin üzerine 1-2 damla %10 seyreltik baryum klorür çözeltisi ($BaCl_2$) eklenmiştir. Sonrasında beyaz çökelek oluşumu takip edilmiştir (Borelli 1999).



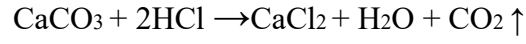
SO_4^{2-} = Çözeltideki sülfat iyonu

$BaCl_2$ = Baryum klorür

$BaSO_4$ = Baryum sülfat (beyaz parçacıklar)

Cl^{-1} = Klor iyonu

Sülfat ya da karbonat içeren numuneler belirlendikten sonra beyaz çökelme oluşan numuneler santrifüj edilerek çöken kısım üzerindeki berrak kısım alınmıştır. Berrak kısım alındıktan sonra dipte kalan çökelek üzerine 1-2 damla hidroklorik asit (HCl) damlatılmış bunun sonucu olarak meydana gelebilecek gaz çıkışı gözlemlenmiştir. Eğer tüm bu işlemler sonrasında test tüpünde sadece beyaz çökelek kalmış ise bu durum sülfatın, beyaz çökeleğin tamamı kaybolmuş ise bu durum sadece karbonatın, hem çökelme hem gaz çıkışı olmuş ise de sülfat yanında karbonatın varlığını göstermektedir (Borelli ve Urland 1999).



CaCO_3 = Kalsiyum karbonat (katı faz)

HCl = Hidroklorik asit

CaCl_2 = Kalsiyum klorür (sıvı faz)

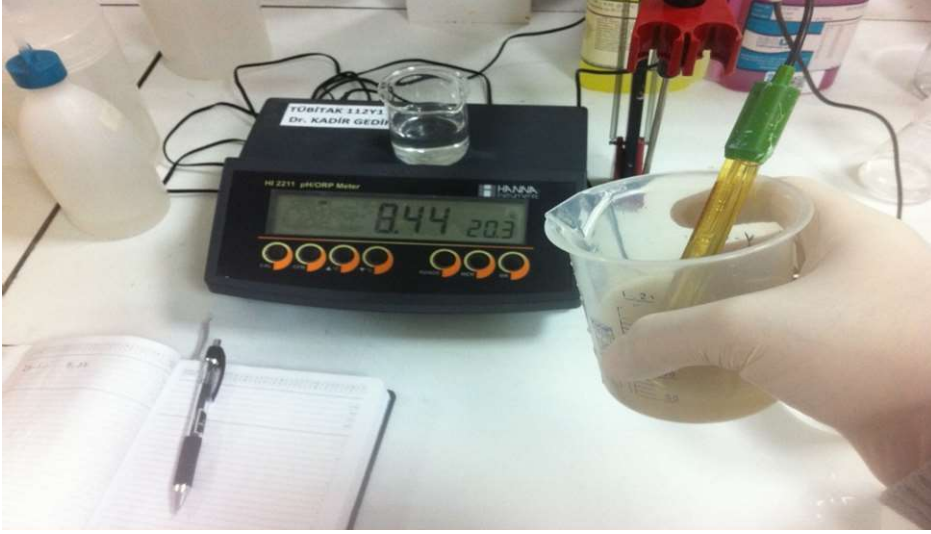
CO_2 = Karbondioksit gazı



Şekil 3. 45. Sülfat ve karbonat analizi

pH analizi

Daha önceden hazırlanmış olan stok çözeltinin pH'ı malzemenin asidik veya bazik olduğunun belirlenmesi amacıyla ölçülmüştür. Bu ölçümlere HANNA Instruments HI2211 marka pH/ORP metre kullanılmıştır. Ölçümlere başlanmadan önce, herhangi bir hataya mahal vermemek için pH metrenin kalibrasyonu yapılmıştır.



Şekil 3. 46. pH analizi

Protein analizi

Harçlarda protein varlığının sebebi; genellikle yumurta, kan, kazein, kırıntı, bitki lifleri, hayvan kılları gibi malzemenin içinde bulunan protein esaslı katkı maddeleridir. Bu protein varlığı örneğin cinsine göre değişkenlik gösterebilmektedir (KUDEB 2011).

Harçlardaki protein varlığını tespit edebilmek amacıyla öncelikle 1 gram para dimetilamino benaldehit 100 ml % 33,5'luk hidroklorik asit (HCl) ile çözülerek reaktif hazırlanmıştır. Önceden toz haline getirilmiş harç numunesi deney tüpüne yaklaşık 3-5 mm yüksekliğinde olacak kadar doldurulmuştur. Bir parça süzgeç kâğıdı hazırlanmış olan reaktife batırılmış sonra da kâğıt deney tüpünün açık olan ucuna yerleştirilmiştir. Daha sonra hazırlanan tüp alt kısmından ısıtılmış ve kâğıtta oluşan renk değişimleri gözlenmiştir. Isıtılan örnekten çıkan gazların kâğıtta pembe - mor renk oluşturması örnekte protein varlığının göstergesidir.



Şekil 3. 47. Protein analizi

Yağ analizi:

Cam çay tabağı üzerine bir miktar toz örnek konulmuş üzerine de birkaç kristal bakır sülfat (CuSO_4) ve birkaç damla konsantre hidrojen peroksit (H_2O_2) eklenerek karışması sağlanmıştır. Son olarak hazırlanan bu karışım üzerine birkaç damla konsantre amonyak (NH_3) çözeltisi eklenmiş ve kalıcı sabun köpüğü oluşumu gözlenmiştir. Numune üzerindeki kalıcı sabun kabarcıkları yağ varlığını göstermektedir.



Şekil 3. 48. Protein analizi

İletkenlik ölçümü ve puzolanik aktivite analizi:

Çözeltinin elektrik akımını iletme yeteneği iletkenlik olarak adlandırılır. Toz haline getirilmiş sıva veya harç örneklerinden daha önce hazırlanmış olan stok çözeltilerin ilgili tuz testleri yapıldıktan sonra son olarak iletkenlikleri ölçülmüştür.

Bu çalışma kapsamında numunelerin puzolanik aktiviteleri, iletkenlikten yararlanılarak ölçülmüştür. Bunun için HQ40d model multimetre cihazı kullanılmıştır. İlk olarak doymuş sönmüş kireç (Ca(OH)_2) çözeltisi hazırlanmış ve iletkenliği ölçülmüştür. Daha sonra hazırlanan Ca(OH)_2 çözeltisi ve önceden toz haline getirilmiş harç numunesi 1gr/50 ml oranında karıştırılarak bir karışım oluşturulmuş ve bu karışımın tekrar iletkenlik değeri ölçülmüştür. Ölçülen iki iletkenlik değeri arasındaki fark, harcın puzolanlık özelliğini vermektedir:

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

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

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



Şekil 3. 49. Puzolanik aktivite ve iletkenlik analizi

3.2.4. Mikro Yapı Analizleri

Tarihi yapı malzemeleri, bölgesel değişkenlik gösteren geleneksel malzemeler ve tekniklerle üretilmişlerdir. Aradan geçen süre zarfında etkilendikleri çevre koşulları da göz önünde bulundurulursa, günümüzde uygulanan standartlar çerçevesindeki deneylerin bu malzemeleri analiz etmek için yetersiz olduğu gerçeği karşımıza çıkar. Bunun yanında günümüz yapı malzemeleri üzerinde uygulanan standart deneylerde amaç malzeme kalitesi hakkında fikir edinmek iken tarihi yapı malzemelerinde amaç malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesidir. Ayrıca tarihi yapı malzemelerinden standart deney yöntemlerinin gerektirdiği ölçütlerde numune almak da çok zordur. Tüm bu koşullar göz önünde bulundurulduğunda tarihi yapı malzemelerinin özelliklerinin belirlenmesinde sadece geleneksel yöntemler yeterli olmayacaktır. Bu amaçla çalışma kapsamında numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) , X-ışınları difraksiyonu (XRD) ve termal analizler (TG/DTA) yapılmıştır.

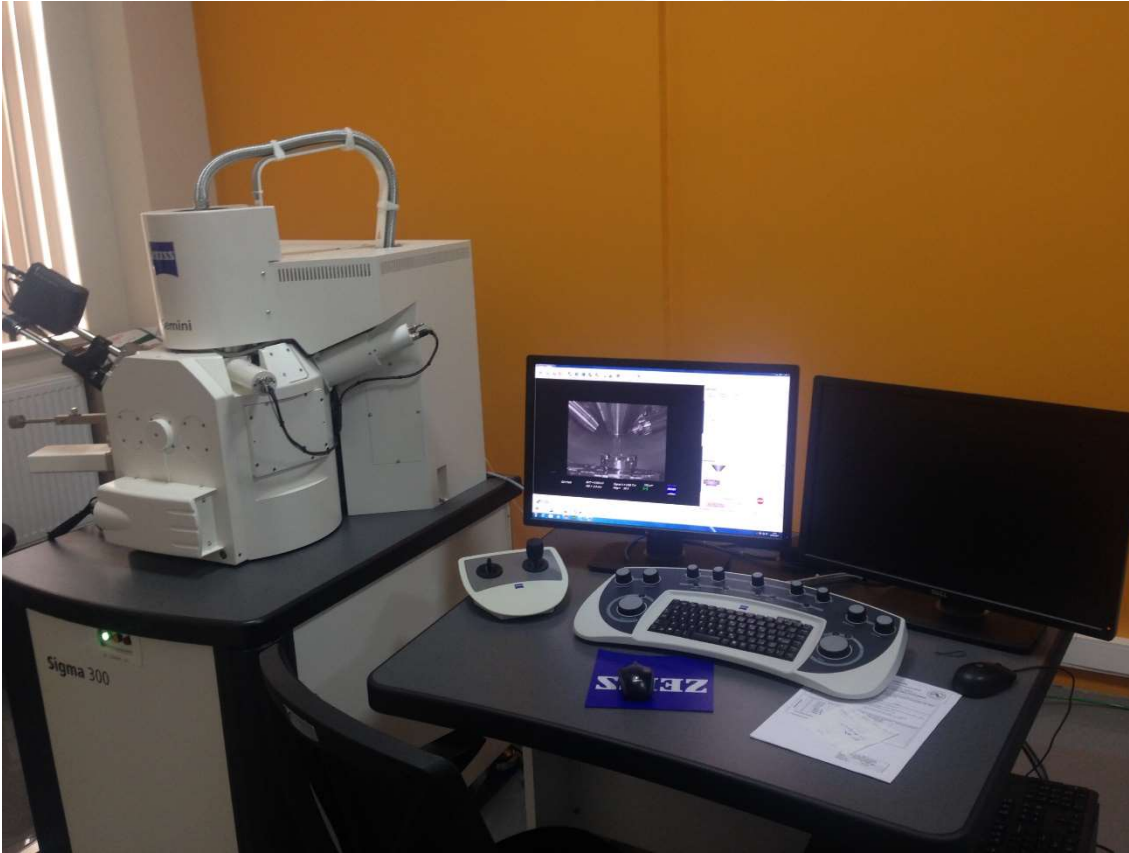
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)- X-ışınları spektroskopisi (EDX) analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) tekniği, kaynak olarak ışık yerine elektronların kullanıldığı bir görüntüleme tekniğidir. Taramalı elektron mikroskobu,

görüntülemenin yanı sıra görüntü üzerinde kimyasal analiz yapma olanağı sağlayan bir tekniktir. (Arıkan 2009).

Mikroskop, analiz aşamasında odaklanmış bir elektron demeti aracılığıyla numune yüzeyini tarar. Elektronlar numune içerisindeki atomlarla etkileşir ve numune yüzeyindeki kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. Daha sonra elektron demeti yüzeyi tarar ve demetin konumu algılanan sinyalle karşılaştırılarak görüntü oluşturulur.

Çalışma kapsamında Zeiss Sigma 300 marka elektron mikroskopları ve bu mikroskoplara bağlı olan EDAX Elements modelde EDX dedektörü kullanılmıştır. EDX (Elemental Dispersive Analyses XRay Diffraction), ile numunelerin bileşenlerinin içindeki kimyasal maddeler yarı nicel olarak belirlenir. EDX ile malzemelerin mikrosal bünyesi, şekli, kristal yapısı diyagramlar şeklinde görülür. Öncelikle analiz yapılacak numuneler yaklaşık 10 mm kenarlı küp şeklinde kırık yüzey olarak hazırlanmıştır. Sonrasında numune neminin uzaklaştırılması amacıyla numuneler 70 °C'lik etüvde bir süre bekletilmiştir. Nemi uzaklaştırılan numuneler Emiteck K550X Sputter Coater cihazında, elektrik şarjının alınmasının kolay olması amacıyla, altın ile kaplanmıştır.



Şekil 3. 50. SEM/EDX analizi

X-ışınları difraksiyonu (XRD)

Doğada bulunan maddelerin büyük bir çoğunluğu bileşik halinde ve bunların da %95'e yakını kristal yapıda bulunur. Her bir kristal fazın kendine özgü atomik bir dizilimi vardır. X-Işını kırınım yöntemi (XRD), X-ışınlarının her bir kristal faz tarafından, o fazın kendine özgü karakteristik düzeni içerisinde kırınması esasına dayanır. Her faz için farklı olan bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar (Anonim 1).

İşlem sırasında öncelikle hızlandırılmış elektron demeti bakır levhaya çarptırılarak karakteristik bir X-ışını demeti elde edilir. Daha sonra elde edilen X-ışını demeti numuneler üzerine gönderilir ve numuneden yansıyan ya da kırınımına uğrayan ışınlar dedektör yardımı ile kaydedilir. Oluşan kırınım desenleri numunelerin yapısal ve kimyasal özelliklerini belirlemek için kullanılır (Anonim 2).

Çalışma kapsamında XRD analizleri Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu İleri teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır. Önceden öğütülerek toz haline getirilmiş numuneler üzerinde XRD çekimleri PANalytical marka Empyrean model cihazla gerçekleştirilmiştir.

Termal Analizler

Malzemelerin fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin incelendiği analiz yöntemleri termal analizler olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemlerde malzeme kontrollü bir şekilde ısıtılır veya soğutulur ve bu esnada fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler sıcaklığın vir fonksiyonu olarak ölçülür.

Termal analiz yöntemleri:

- Termogravimetrik analiz (TGA)
- Diferansiyel Termal Analiz (DTA)
- Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)
- Termomekanik Analiz (TMA)
- Dilatometri

olarak sınıflandırılabilir. Harç ve sıvaların analizi sırasında yukarıda sayılan yöntemler içerisinden ağırlıklı olarak Termogravimetrik Analiz ve Diferansiyel Termal Analiz teknikleri kullanılmaktadır.

TGA yönteminde numune kütlelerinde artan sıcaklık sonucu meydana gelen değişiklikler gözlemlenir. Sıcaklık etkisiyle meydana gelen kütle değişimlerinin sebepleri:

- Uçucu bileşenlerin buharlaşması; kuruma, gaz Emilimi ya da buharlaşması vb.
- Hava ya da oksijen ortamında metalin oksitlenmesi
- İnert gaz bulunan ortamlarda termal bozunma; organik bileşikler.

- Heterojen kimyasal reaksiyonlar
- Ferromanyetik malzemeler; sıcaklıkla bazı malzemelerin manyetik özelliklerin değişimi olarak gösterilebilir (Akcan 2015).

Ayrıca yapılan ölçümlerde zaman da göz önünde bulundurulduğu için, bu yöntemle malzemedeki kütle değişiminin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak grafiği elde edilebilir.

DTA tekniğinde ise düzgün olarak yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılan bir maddede meydana gelen termik reaksiyonların derecesi, böyle reaksiyonların büyüklüğü ve genel karakterini tayin edilir. Bunun için bir referans malzemesi kullanılır.

Numune ve referans malzemesi aynı koşullarda ısıtılır. Isıtma sırasında numune kimyasal reaksiyonlar ve hal değişimleri ile sıcaklık değişimleri oluşur, böylece aynı ısıya maruz kalan referans malzemesiyle numune arasında bir sıcaklık farkı oluşur (Δt).

$$\Delta T = T_r - T_n$$

T_r : Referans malzemenin sıcaklığı

T_n : Numune sıcaklığı

Bu farkın pozitif olması meydana gelen değişimin egzotermik, negatif olması ise endotermik olduğunu gösterir.

Çalışma kapsamında termal analizler PerkinElmer/STA 8000 cihazı ile Akdeniz Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Numunelerin analizi 30 °C ile 1100 °C sıcaklık aralığında ve 10 °C/dk tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 51. Termal analizler

3.2.5. Mekanik özellikler

Uygulanan kuvvetler karşısında malzeme tarafından gösterilen tepki mekanik davranış olarak tanımlanır. Mekanik davranışı saptamak için malzeme üzerinde, değişik tür zorlamalar altında oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerini ölçmek ve gözlemlemek gerekir (Özer 2011).

Yeni malzemelerin mekanik özelliklerin belirlenmesi için geçerli olan deneylerin tarihi yapı malzemeleri için uygulanması çoğu zaman güçtür. Bunun sebebi bu standartlarda belirlenen boyutlardaki numunelerin tarihi yapılardan elde edilmesinin zor olmasıdır. Taş ve tuğlalardan gerekli boyutlarda numune alınabilse bile harçlarda bu durum çoğunlukla mümkün değildir. Bu çalışmada harç numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numuneler üzerinde nokta yükleme deneyi yapılmıştır.

Nokta Yükleme Deneyi

Bu deney, konik uçlu nokta yükleme aletinin deney başlıkları arasına yerleştirilen numunelerin, hidrolik el pompası yardımıyla kırılması esasına dayanır. Bu çalışmada Yüksel Kaya Makina CAS CI-1580A Indicator model nokta yükleme aleti kullanılmıştır. Nokta 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.

TS699/Mart 2009'da deney şu şekilde açıklanmıştır: “Çapı ve doğrultusu kumpas ile ölçülen numune, nokta yükleme deney cihazının konik uçları arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilir. Konik uçlar ile numune arasında açıklık kalmaması için silindirik yükleme tablası yükseltilir ve konik uçların numuneye temas noktaları arasındaki mesafe cetveldен + - %2 yaklaşımla okunur. Numune 10-60 saniye arasında kırılacak şekilde yükleme yapılır ve kırılma anındaki yük, yük göstergesinden okunur. Eğer kırılma yüzeyi tek bir yükleme noktasından geçerse deney geçersiz sayılır.” Deneysel çalışma bu açıklama doğrultusunda yapılmıştır.

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

$$\begin{aligned} A &= W.D \\ De^2 &= 4A / \pi \\ Is &= P / De^2 \end{aligned}$$

Is: Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)

P: Kırılma yükü (kN)

De: Eşdeğer karot çapı (mm)

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

W: Örneğin yükleme yönüne dik kalınlığı (mm)
D: Yükleme başlıkları arasındaki uzaklık (mm)

Tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanım indeksi arasında bir oran vardır. Bu oran “dayanım dönüşüm faktörü indeksi (K)” ile ifade edilmektedir. Tarihi yapı harçları üzerinde yapılmış çalışmalarda bu oranın 6-12 arasında değerler aldığı görülmüştür. K değeri için zayıf kayalarda 10,6471 değeri geçerlidir (Oğuz 2013). Ulukaya yapmış olduğu çalışmada harçlar için K değerini 11 olarak önermiş ve bu değer kullanılarak elde edilen sonuçların gerçeğe yakın olduğunu belirtmiştir (Ulukaya 2016).

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s$$

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

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)
F: Boyut düzeltme faktörü



Şekil 3. 52. Nokta yükleme deneyi

3.2.6. Diğer analizler

Renk analizi

Restorasyon ve yineleme çalışmalarında üretilen onarım malzemelerinin özgün malzeme ile görsel olarak uyuşması da çok önemlidir. Bu uyumu sağlamak için mevcut malzemelerin diğer özelliklerinin yanında renksel özelliklerinin ve rengin zaman içinde

nasıl değişeceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Burada malzemenin görsel özellikleri daha önceden bulunmuş, belirli renk sistemleri aracılığı ile tanımlanarak, onarımda kullanılacak malzemenin renk uyumu araştırılmalıdır. Bunun için nesnel renk ölçüm yöntemleri belirlenir ve bu belirlenen yöntemle göre ölçümler yapılır (Akbulut Ekşi 2006).

Çalışma kapsamında öncelikle numuneler görsel olarak incelenmiş ve renk ölçümü için birbirinden farklı özelliklere sahip olan numuneler seçilmiştir. Seçilen numunelerin yüzeyleri yumuşak bir fırça yardımıyla temizlenmiştir. Yüzeyi her türlü yabancı maddeden arındırılan numuneler üzerinde renk ölçümleri, MINOLTA CM2500d model spektrofotometre ile yapılmıştır.

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

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

L^* : Açıklık Koordinatını [0 (siyah) – 100 (beyaz) arasında],
 a^* : Kırmızı / Yeşil Koordinatını (+a kırmızılığı, -a yeşilliği gösterir),
 b^* : Sarı / Mavi Koordinatını (+b* sarılığı, -b* maviliği gösterir) belirtmektedir.



Şekil 3. 53. Renk ölçümü

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

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

Denklemden:

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

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

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



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aspendos veya Belkıs Antalya ili Serik ilçesinde bulunan Belkıs köyünde yer alan antik tiyatrosuyla meşhur bir antik kenttir. Bu antik kentte yer alan Helenistik ve Roma dönemlerine ait tarihi yapılardan harç ve sıva gibi yapı malzemesi örnekleri alınmış, bu malzemelerin ne tür karakteristik özelliklere sahip olduğu araştırılmıştır. Bunun için belirlenen deney akış şeması göz önüne alınarak 29 adet numune üzerinde deneysel çalışmalar uygulanmıştır. Uygulanan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular, bu bulguların benzer çalışmalarla kıyaslamalarıyla birlikte bu bölümde sunulmuştur.

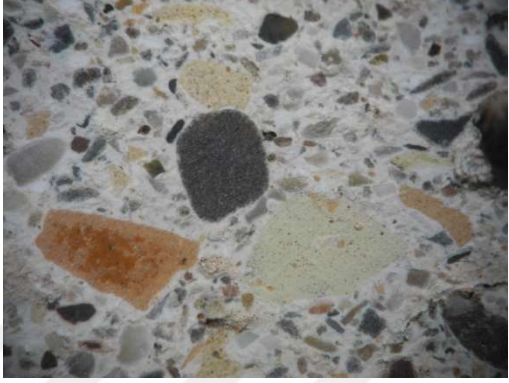
4.1. Makrosopik Gözlemler

Kesme ve zımparama işlemleri ile bir yüzeyleri parlatılan numuneler Bölüm 3.2.1’de anlatıldığı şekilde mikroskop altında incelenmiş, çıkan sonuçlar aşağıda çizelgeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 4. 1. Numunelerin makroskobik incelenmesi

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CH1	Açık bir renge sahiptir. Kırmızı kahverengi kiremit taneleri mevcuttur. Agreg a bileşenleri köşeli yapıdadır. Yer yer kılcal çatlak oluşumuna rastlanmıştır.	
CH2	Kırmızıdan griye değişen genel renge sahiptir. Kırmızımsı kahve, açık kahverengi, beyazımsı taneler içerisinde bulunmaktadır. Boşluklu yapıya sahip, harcı oluşturan taneler CH1’e göre daha iri tanelidir.	

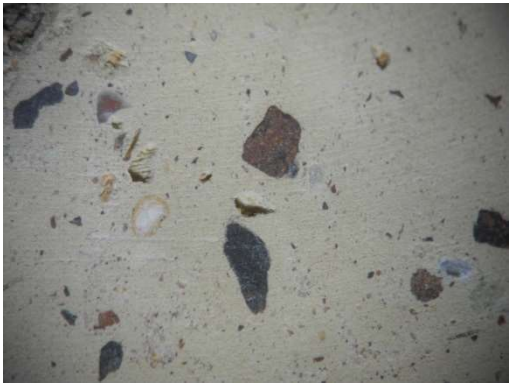
Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CH3	Genel olarak grimsi-beyaz renkli, siyah taneler çok belirgin durumdadır. Beyaz, krem, koyu kahve, kırmızımsı kahve, yeşil, taneler vardır. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. İnce tanelerin arasında karbonatlı ara malzemenin bağ kurduğu gözlenmektedir.	
CH4	Boşluklu bir yapıya sahiptir. Siyah, krem ve beyazımsı taneler baskın, nadiren kahverengimsi taneler gözlenmekte, beyazımsı renkli matrikse sahiptir. Kum ile silt arasında taneler içermektedir.	
CH5	İri klastlar beyaz renkli, kahverengi, siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CH6	Oldukça boşluklu yer yer iri taneler vardır. Taneler arasında çok ince taneler gözlenmektedir. Siyah bileşenler çok azdır. Krem renkler baskın durumdadır (bileşenler). Boşluklar taneye göre daha baskındır.	
CH7	Boşluklu ve diğer numunelere göre oldukça farklı bir yapıya sahiptir. Kırmızımsı kahverengi, siyah ve beyaz taneler içerse de yeşil parçalar daha baskındır.	
CH8	Daha iri harç bileşenlerine sahiptir. Siyah renkli kum boyundaki harç bileşeni çok baskın krem renkli taneler içerisindeki boşluklar vardır. Boşluklarda 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.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CH9	CH1 ve CH2'ye benzemektedir. Kırmızı kahverengi kiremit taneleri vardır. Krem, kırmızı, kırmızımsı kahverenkli tane bileşenleri mevcuttur. Tane bileşenleri köşeli yapıdadır.	
CH10	İri klastlar beyaz renkli, kırmızımsıkahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler köşeli durumda bulunmaktadır. Gaz boşluğu nispeten azdır.	
CH11	Siyah, kahverengi ve beyaz taneler içermektedir. İri tane oranı oldukça düşüktür. İri taneler arasında çok ince siyah ve kahverengi taneler mevcuttur.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CH12	Pembe ve kırmızımsı kahve görünüme sahiptir. Kırmızı kahverengi kiremit taneleri vardır. Krem, kırmızı, kırmızımsı kahverenkli tane bileşenleri mevcuttur. Tane bileşenleri köşeli yapıdadır.	
CH13	CH5 ile aynı özelliklere sahiptir.	
CH14	Esas olarak krem ve kiremit renkli tanelerden oluşmaktadır. Krem renkli harç fazı bağ kurmaktadır. Taneler belirgin köşeli yapıya sahiptir.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
CH15	Beyaz, krem, koyu kahve, siyah, ve yeşil taneler vardır. Yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır	
CH16	Kırmızı kahverengi kiremit taneleri vardır. Krem, kırmızı, kırmızımsı kahverenkli tane bileşenleri mevcuttur. Tane bileşenleri köşeli yapıdadır. Yer yer Gaz boşlukları içermektedir.	
BH1	İri ve ince harç bileşenlerine sahiptir. Harcın içerisinde siyah, gri, krem, kırmızımsı ve yeşilimsi taneler vardır. Siyah renkli harç bileşeni daha baskındır. Krem renkli taneler içerisinde boşluklar bulunmaktadır. Taneler köşeli bazı kesimlerde köşelerden arınmış yarı-yuvarlak olarak görünmektedir.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
BH2	Tane bileşenleri bakımından BH1 ile aynı özellikleri taşımaktadır. Fakat boşluk oranı daha yüksektir. Bazı kesimlerde iri boşluklara rastlanmaktadır. Bu boşlukların çeperlerinden kristalleşmeler gözlenmektedir. Boşluklar genelde düzensizdir.	
BH3	Pembe ve kırmızımsı kahve görünüme sahiptir. Kırmızı kahverengi kiremit taneleri vardır. Kırmızı, kırmızımsı kahverenkli ve siyah tane bileşenleri mevcuttur. Tane bileşenleri köşeli yapıdadır.	
BH4	Turuncu ve kırmızımsı taneler içerisinde krem renkli taneler bulunmaktadır. Harcın içerisinde siyah, gri, krem, kırmızımsı ve yeşilimsi taneler vardır. Genelde köşeli görünmektedir.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
BH5	BH3 numunesine oldukça benzemektedir, aynı tane bileşenleri gözlenmektedir. Farklı olarak küçük tane içeriği biraz daha yoğundur.	
BH6	Bazilikadan alınan diğer numunelere göre biraz daha farklıdır. Koyu renkli ve yuvarlak köşeli agrega içeriği oldukça baskındır. Ayrıca yüksek oranda gaz boşlukları içermektedir.	
BH7	Kırmızımsı kahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
BH8	Açık kahverenkli köşeli – yarı köşeli parçalara sahiptir. Siyah beyaz ve açık kahve taneler bulunmaktadır. Beyazımsı krem renkli taneler daha yuvarlak iken koyu renkli taneler nispeten daha köşelidir Bağlayıcı oranı oldukça yüksektir.	
BH9	İri klastlar beyaz renkli, kırmızımsı kahverengi (kiremit parçası) siyah ve yeşil renkli tanelerden oluşmaktadır. Taneler yine köşeli durumda bulunmaktadır. Bağlayıcı kısımda yer yer gaz boşlukları mevcuttur.	
DH1	Oldukça boşluklu yer yer iri taneler vardır. Boşlukların çapı 5 mm'yi bulmaktadır. Siyah bileşenler mevcuttur. Krem renkler baskın durumdadır (bileşenler). Boşluklar taneye göre daha baskındır.	

Çizelge 4.1'in devamı

NUM. ADI	DEĞERLENDİRME	STEREO MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ
DH2	DH1'e göre daha taneli ve nispeten daha az boşluklu bir yapı söz konusudur. Siyah, kırmızımsı kahverengi ve gri bileşenler içermektedir.	
DH3	Boşluklu bir yapıya sahiptir. İri boşlukların çapları 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.	
DH4	Domustan alınan diğer numunelere göre farklı bir yapıya sahiptir. Tuğla kırıkları içermektedir. Diğer Domus numunelerine nispeten daha yüksek bir bağlayıcı oranına sahip olduğu söylenebilir.	

4.2. Fiziksel analizler

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

Çizelge 4. 2. Sıva numunelerinin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUMUNE ADI	Δ (gr/cm ³)	Sk (%)	Sh (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	CP3	1,58	21	33	2,35	33	67
2	CP10	1,60	20	32	2,34	32	68
3	BP3	1,10	60	65	3,15	65	35
4	BP5	1,29	35	46	2,38	46	54
5	BP9	1,28	36	46	2,38	46	54
6	DP4	1,23	39	48	2,37	48	52

Sıva numunelerin fiziksel özellikleri göz önüne alındığında (Çizelge 4.7); birim hacim kütlelerinin 1.10-1,60. gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.34-3,15 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 20-60, hacimce su emme yüzdesinin % 32-65, porozitesinin % 32-65, kompasitesinin % 35-68 aralığında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. 3. Harç numunelerinin fiziksel analiz sonuçları

SN	NUMUNE ADI	Δ (gr/cm ³)	Sk (%)	Sh (%)	δ (gr/cm ³)	POROZİTE p (%)	KOMPASİTE k (%)
1	CH1	1,21	38	46	2,27	47	53
2	CH2	1,28	32	41	2,18	41	59
3	CH4	1,78	12	22	2,26	21	79
4	CH5	1,77	13	22	2,28	22	78
5	CH6	1,64	17	28	2,29	28	72
6	CH7	1,83	12	23	2,37	23	77
7	CH8	1,78	15	26	2,41	26	74
8	CH9	1,30	34	44	2,32	44	56
9	CH11	1,43	29	41	2,45	42	58
10	CH12	1,45	27	39	2,37	39	61
11	CH13	1,77	14	24	2,34	24	76
12	CH14	1,55	23	35	2,39	35	65
13	CH15	2,33	4	10	2,58	10	90
14	CH16	1,30	33	43	2,31	44	56

Çizelge 4.3'ün devamı

15	BH1	1,43	26	37	2,28	37	63
16	BH2	1,60	18	29	2,27	30	70
17	BH4	1,20	41	49	2,35	49	51
18	BH6	1,59	19	30	2,26	30	70
19	BH7	1,25	37	46	2,32	46	54
20	BH8	1,15	44	51	2,34	51	49
21	DH1	1,62	18	29	2,28	29	71
22	DH2	1,78	14	25	2,36	25	75
23	DH3	1,67	14	24	2,19	24	76

Harç numunelerinin fiziksel özellikleri analiz edildiğinde çeşme numuneleri için (CH kodlu) genel olarak; birim hacim kütlelerinin 1.21-1.83 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.18-2.45 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 12-38, hacimce su emme yüzdesinin % 22-46, porozitesinin % 21-47, kompasitesinin % 53-79 aralığında olduğu belirlenmiştir. Fakat bu aralıklara aykırı olarak CH15 numunesinin sonuçları; birim hacim kütlelerinin 2.33 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.58 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 4, hacimce su emme yüzdesinin % 10, porozitesinin %10, kompasitesinin % 90 değerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sebebinin içerdiği yüksek iri agrega oranından kaynaklandığı sanılmaktadır.

Bazilikadan alınan numunelerin fiziksel özellikler incelendiğinde; birim hacim kütlelerinin 1.15-1.60 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.27-2.38 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 18-44, hacimce su emme yüzdesinin % 29-51, porozitesinin % 30-51, kompasitesinin % 49-70 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde bazilika numunelerinin fiziksel özelliklerinin daha dar bir aralıkta değiştiği görülebilir.

Domlus numunelerinin fiziksel özellikleri analiz edildiğinde ise: birim hacim kütlelerinin 1.62-1.78 gr/cm³, özgül kütlelerinin 2.19-2.36 gr/cm³, kütlece su emme yüzdesinin % 14-18, hacimce su emme yüzdesinin % 24-29, porozitesinin % 24-29, kompasitesinin % 71-76 aralığında olduğu görülmüştür.

Efes Yamaçevler 2'de Roma Harçları üzerine yapılan çalışmada harçların birim hacim kütlelerinin 1,30 gr/cm³- 1,91 gr/cm³ aralığında, porozitelerinin % 24,96 ile % 45,18 aralığında olduğu bulunmuştur (Kuleli 2005). Andriake Limanı'nda bulunan bazı tarihi yapılardan alınan harçların analizlerinde Roma Dönemi harçlarının birim hacim kütlelerinin 1,54 gr/cm³ ile 1,86 gr/cm³ arasında, kütlece ve hacimce su emme değerlerinin sırasıyla % 14,60-% 23,59 ve % 27,11- % 37,77 arasında, özgül kütlelerinin 2,50 gr/cm³ ile 2,63 gr/cm³ arasında, porozite ve kompasite değerlerinin ise sırasıyla % 29 - % 40 ve % 60 - % 71 aralığında olduğu bulunmuştur (Oğuz vd. 2015). İstanbul'da bulunan Roma Dönemi saray yapılarında kullanılan horasan harçlarının incelendiği bir çalışmada harçların porozite değerleri %37 ile %48 arasında, kütlece su emme yüzdesi % 23 ile 33 arasında, birim hacim kütleleri 1,32 ile 1,61 g/cm³ arasında bulunmuştur (Kahraman Altaş vd. 2012). Bu sonuçlar çizelge 4.2'deki sonuçlara benzer niteliktedir.

4.3. Kimyasal Analizler

4.3.1. Asit kaybı ve elek analizleri

Numuneler üzerinde asit kaybı analizleri Bölüm 3.2.3’de belirtildiği şekilde uygulanmıştır. Harç numunelerinde bağlayıcı ve agreganın asit yardımıyla ayrışması neticesinde kalan agrega miktarı baz alınarak harçlarda bağlayıcı oranı tespit edilmiştir. Harçlarda bağlayıcı/agrega oranının 1/2 ile 1/0,33 arasında değiştiği görülmüştür. Sonuçlar çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4. 4. Çeşme numunelerinin asit kaybı analizi Sonuçları

No	Numune Adı	Asitteki Kayıp Oranı (%)	Bağlayıcı/Agrega (1/x)
1	CH1	50,7	1
2	CH2	54,9	1
3	CP3	46,2	1
4	CH4	58,3	1
5	CH5	52,3	1
6	CH6	54,0	1
7	CH7	63,3	1
8	CH8	67,1	0.49
9	CH9	56,0	1
10	CP10	51,9	1
11	CH11	54,2	1
12	CH12	54,4	1
13	CH13	54,1	1
14	CH14	40,6	1
15	CH15	50,7	1
16	CH16	46,4	1

Numunelerin büyük bir çoğunluğunda numune yüzdesinin yarısını bağlayıcı oluşturmaktadır. Asitteki kayıp oranı % 40,6 ile %67,1 arasında değişmiştir. Bağlayıcının agregaya oranı ise genel olarak 1/1 şeklindedir. Tabloda CH8 numunesinde bu oran 2/1 olarak görülmektedir. Burada agreganın yaklaşık iki katı kadar bağlayıcı kullanılmıştır.

Çizelge 4. 5. Bazilika numuneleri asit kaybı analizi sonuçları

No	Numune Adı	Asitteki Kayıp Oranı (%)	Bağlayıcı/Agrega (1/x)
1	BH1	48,0	1
2	BH2	45,0	1
3	BP3	42,2	1

Çizelge 4.5'in devamı

4	BH4	45,2	1
5	BP5	37,0	2
6	BH6	54,2	1
7	BH7	52,6	1
8	BH8	75,3	0,33
9	BP9	49,0	1

Bazilika numunelerinde de yine çeşme numunelerinde olduğu gibi numune yüzdesinin yarısını bağlayıcı oluşturmaktadır. Bağlayıcının numune içerisindeki yüzdesi genel olarak %42,2-%54,2 aralığında değişmektedir. Bu numunelerde Bağlayıcı/agrega oranı 1/1 olarak ölçülmüştür. Genel aralığın dışında istisna olarak BP-5 numunesine asitteki kayıp %37, bağlayıcı/agrega oranı ise 1/2 olarak ölçülmüştür. Yine aralığın dışında olan BH-8 numunesinde BP5 'e zıt olarak asitteki kayıp %75,3 bağlayıcı/agrega oranı ise 3/1 olarak bulunmuştur.

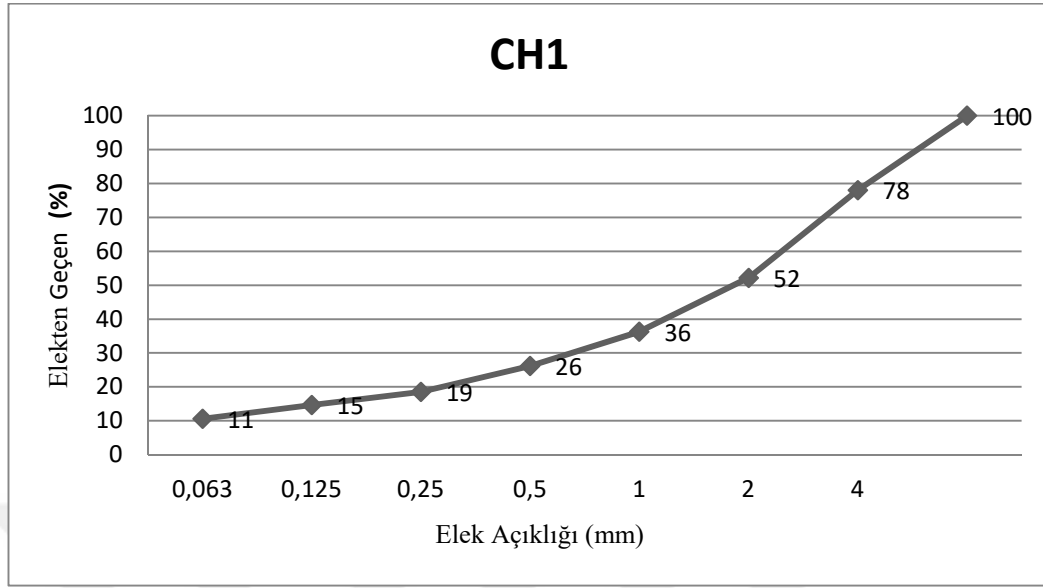
Çizelge 4. 6. Domus numuneleri asit kaybı analizi sonuçları

No	Numune Adı	Asitteki Kayıp Oranı (%)	Bağlayıcı/Agrega (1/x)
1	DH1	56,9	1
2	DH2	48,9	1
3	DH3	52,9	1
4	DP4	43,6	1

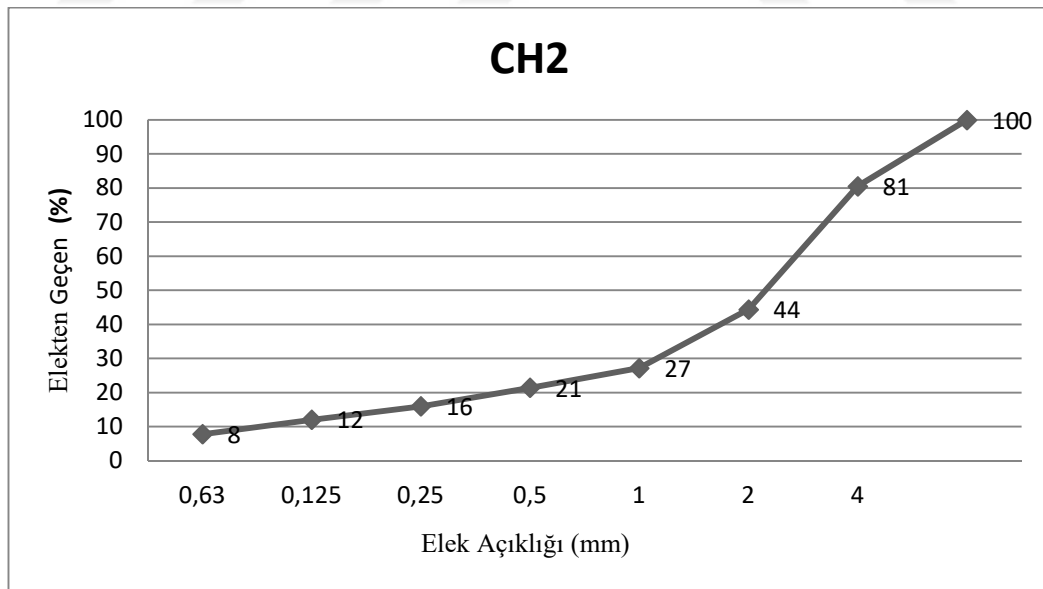
Domus numunelerinde de diğer yapılarda olduğu gibi numune yüzdesinin yarısını bağlayıcının oluşturduğu saptanmıştır. Numune içerisindeki bağlayıcı yüzdesinin %43,6-56,9 aralığında değiştiği bağlayıcı/agrega oranının 1/1 olduğu görülmüştür.

Roma ve erken Bizans Dönemi harçları üzerine yapılan çalışmalar, bu harçlarda kullanılan bağlayıcı/agrega oranının genelde 1/3 olduğunu göstermektedir (Kahraman 2008). Pergamon (Bergama) antik kentinde bulunan Roma Dönemi eseri Serapis Tapınağında kullanılan harçlarda bağlayıcı/agrega oranı 1/4 olarak bulunmuştur (Özkaya 2005). Andriake Limanı'nda bu oran ortalama 1/6 olarak bulunmuştur. Bu durumun olumsuz hava koşullarından kaynaklanmış olabileceği, yağışların zaman içerisinde harç yapısındaki kalsiti aşındırdığı düşünülmektedir (Oğuz vd. 2015). Çizelge 4.4-4.6'da bulunan bağlayıcı/agrega oranları daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslandığı zaman, yüksek olmakla birlikte Roma Dönemi harçlarında karşılaşılabilen değerlerdir. Efes Yamaçevler 2'de yapılan çalışmada harç içerisindeki bağlayıcı kireç oranının ortalama % 45,6 ile % 79,1 arasında olduğu, bağlayıcı/agrega oranının ortalama olarak 1/1 den daha yüksek çıktığı görülmüştür (Kuleli 2005).

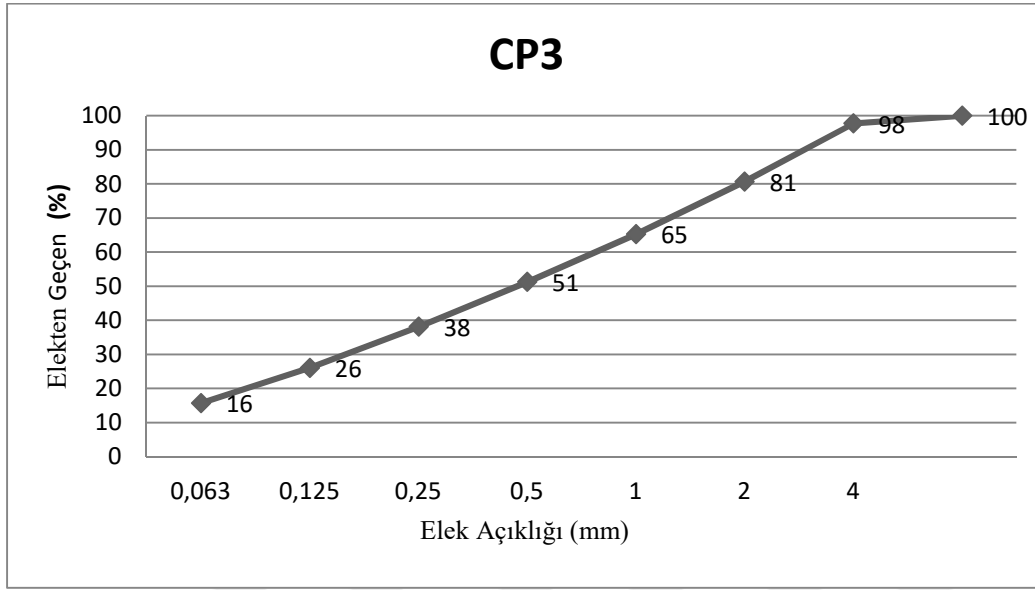
Bağlayıcı/agrega oranı tespit edildikten sonra süzgeç kağıdı üzerinde kalan numuneler bölüm 3.2.3.'de belirtildiği şekilde elek analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları grafik olarak (Şekil 4.1-4.29) verilmiştir.



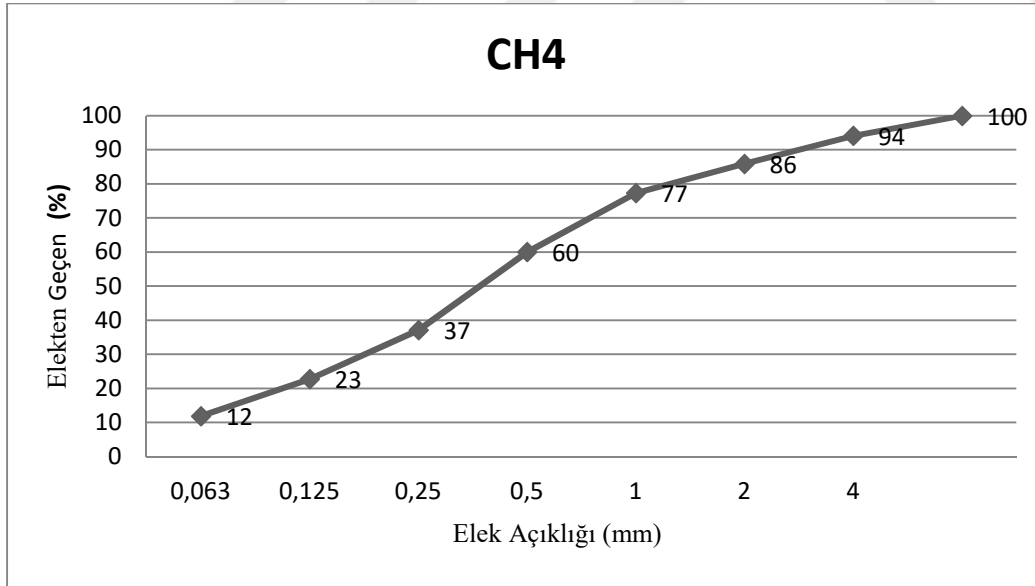
şekil 4. 1. CH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



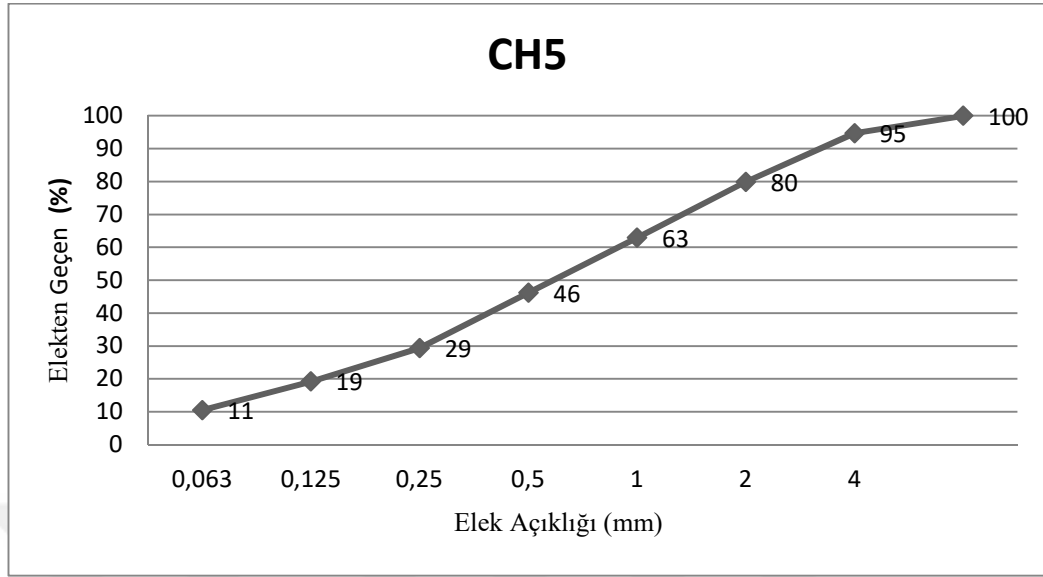
şekil 4. 2. CH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



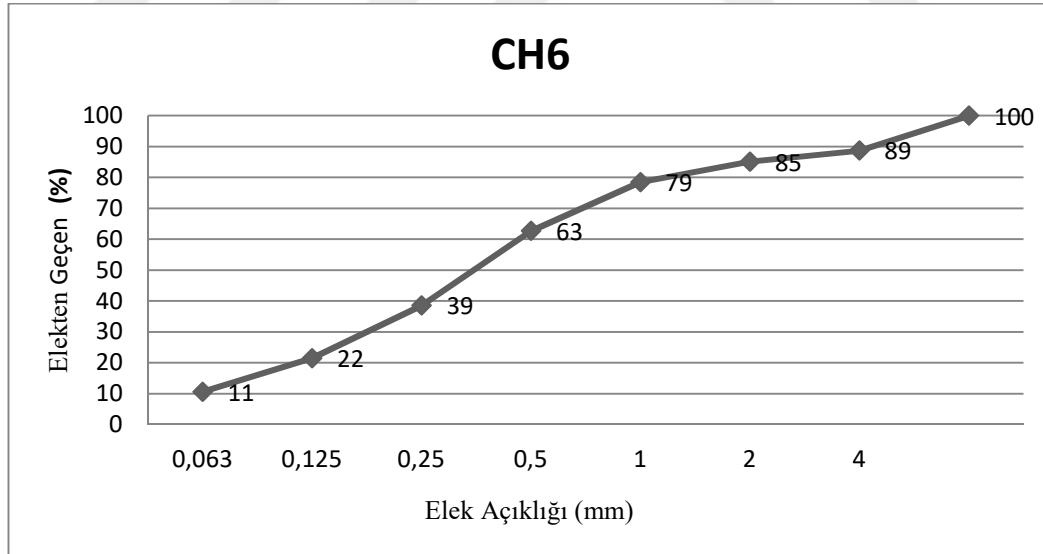
Şekil 4. 3. CP3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



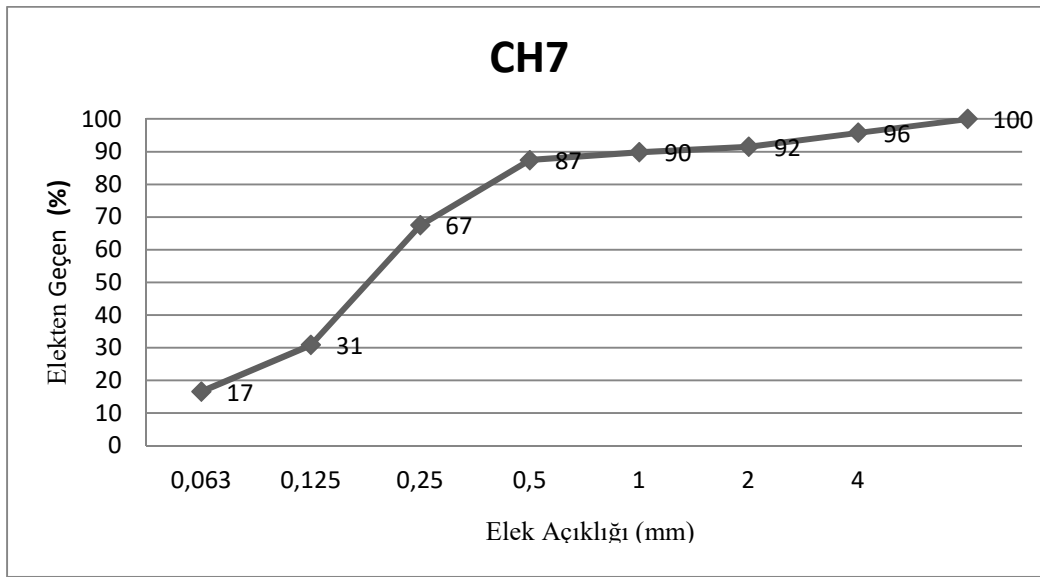
Şekil 4. 4. CH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



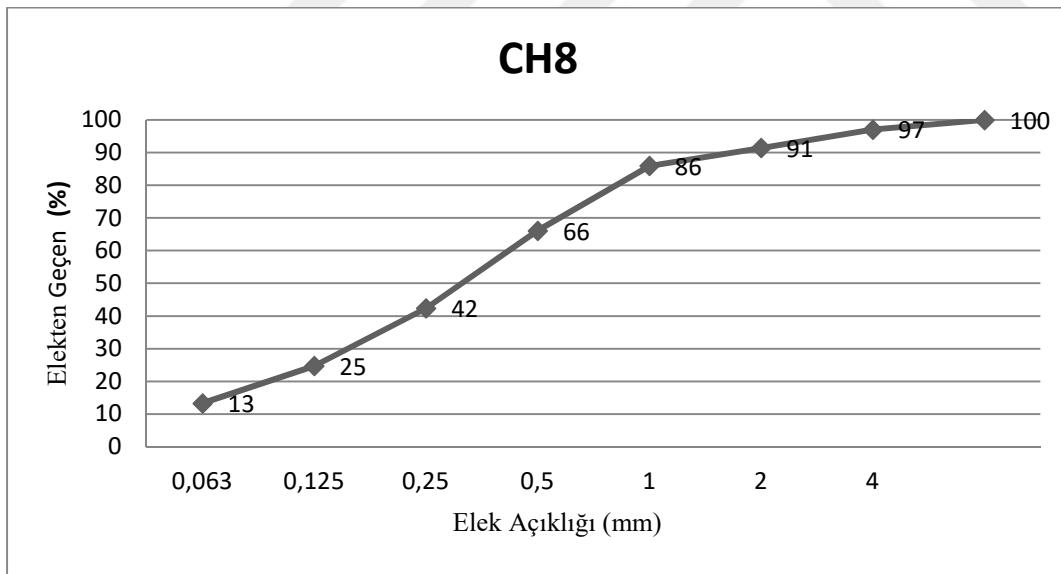
şekil 4. 5. CH5 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



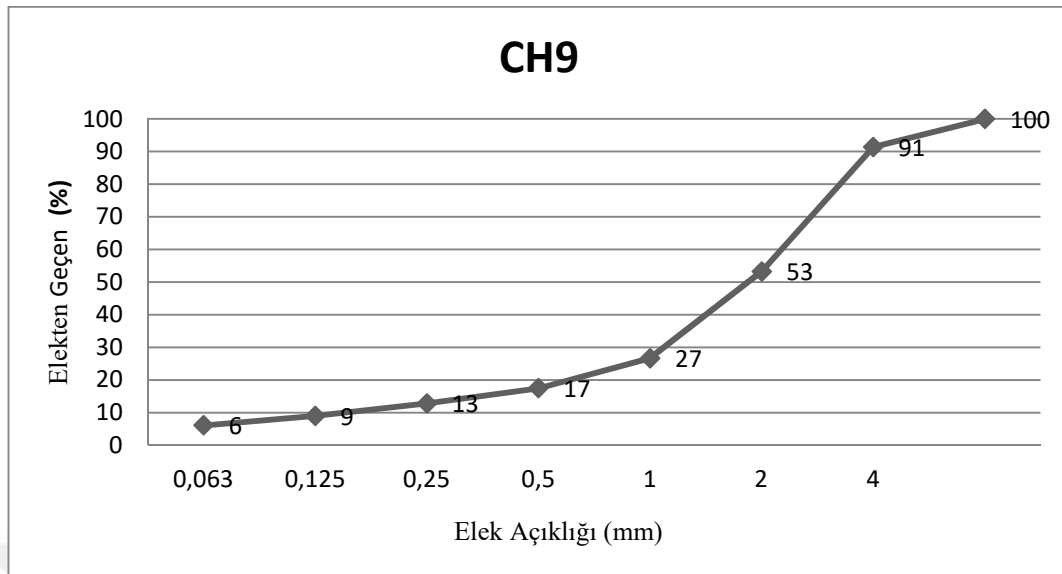
şekil 4. 6. CH6 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



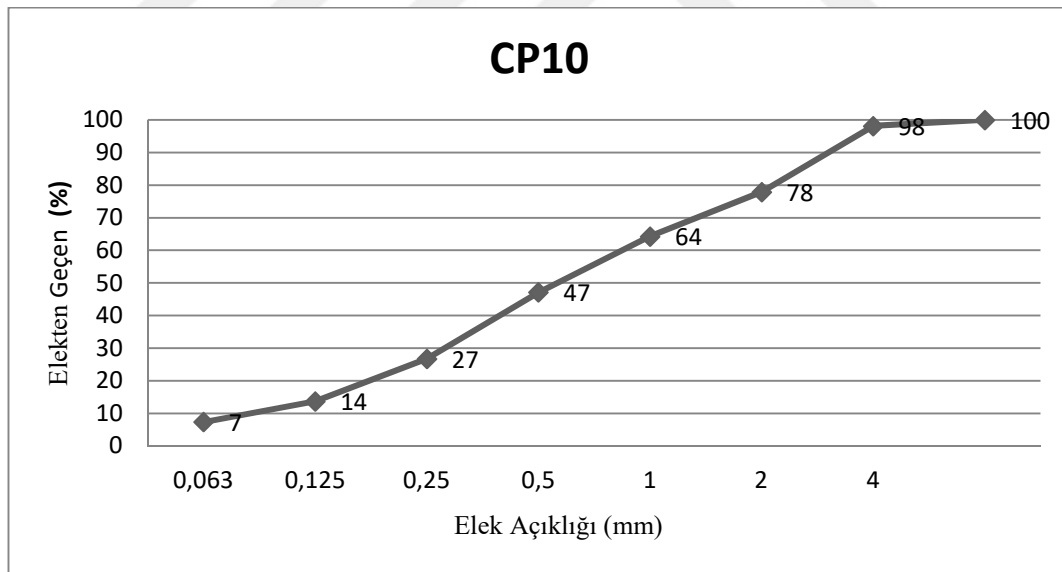
Şekil 4. 7. CH7 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



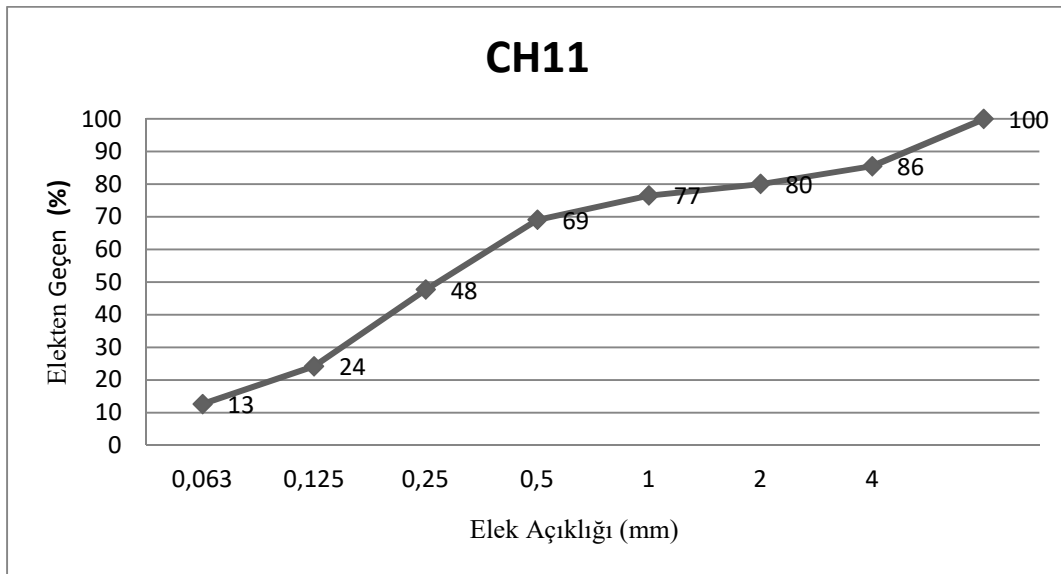
Şekil 4. 8. CH8 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



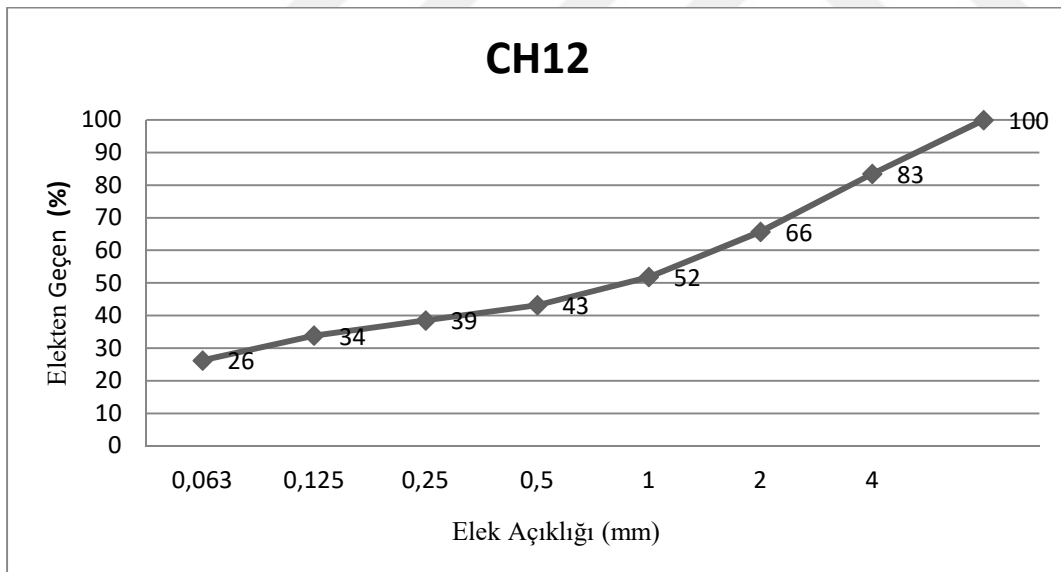
Şekil 4. 9. CH9 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



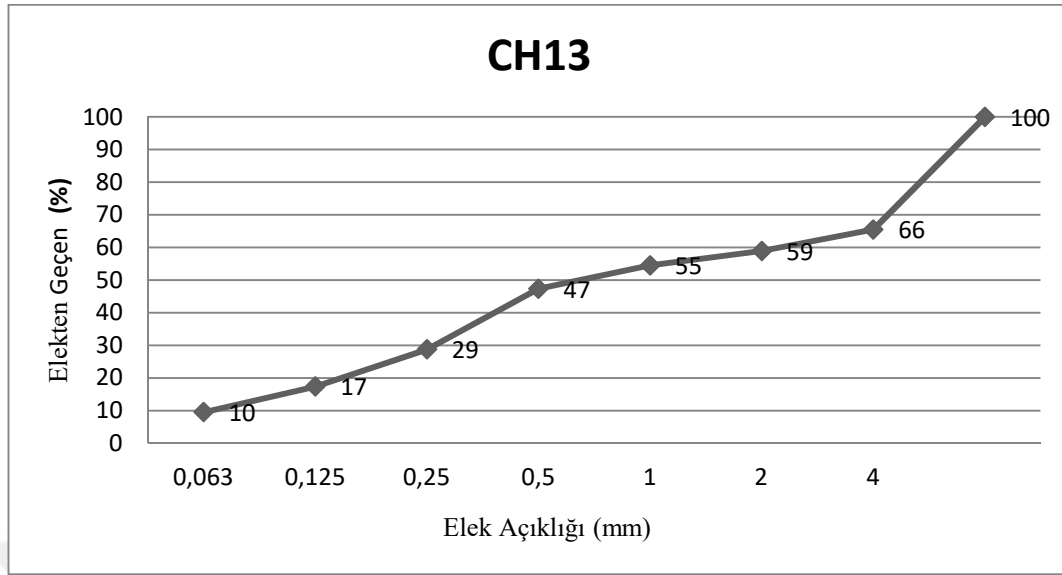
Şekil 4. 10. CP10 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



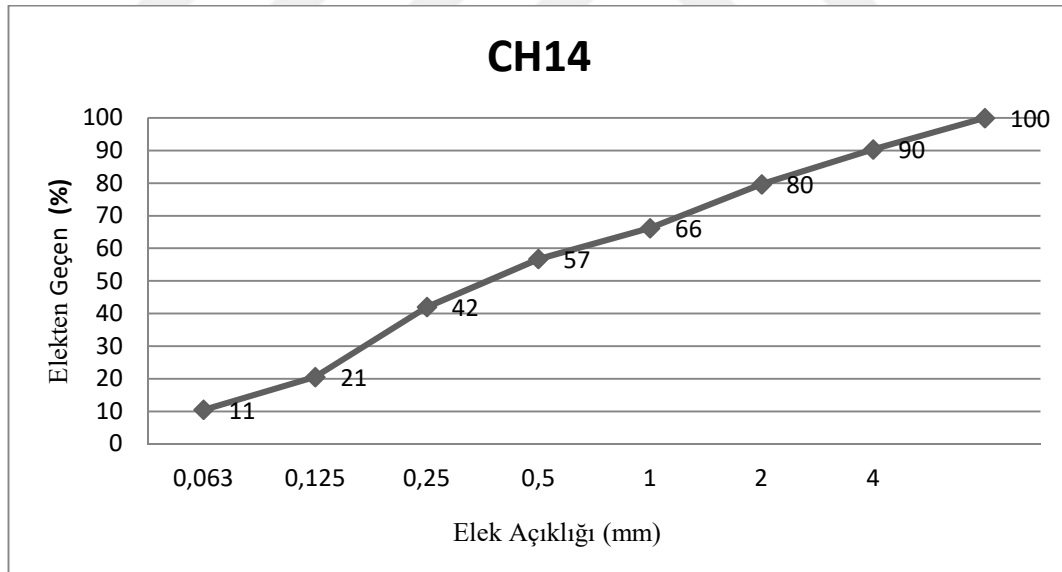
Şekil 4. 11. CH11 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



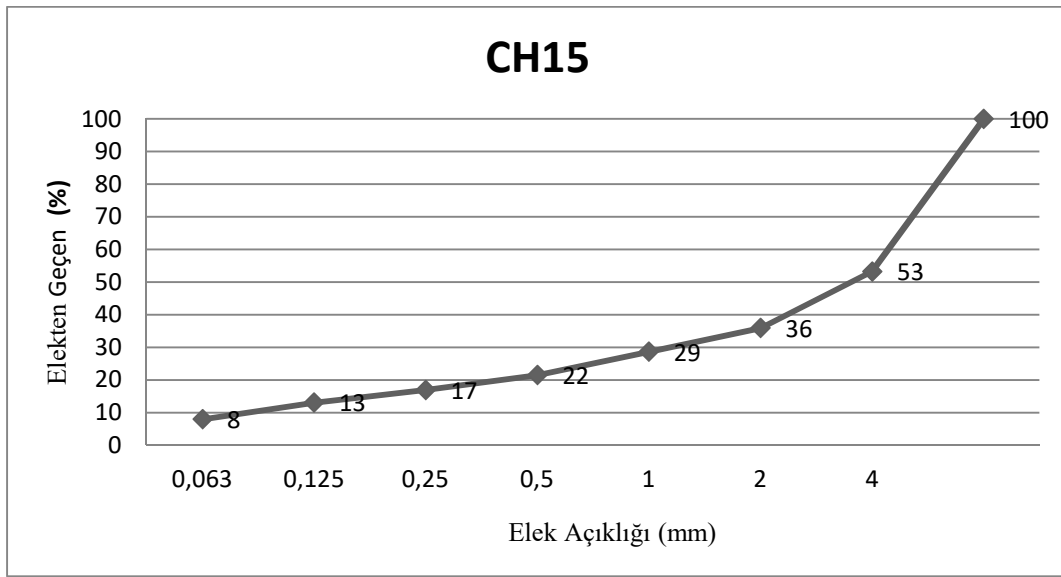
Şekil 4. 12. CH12 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



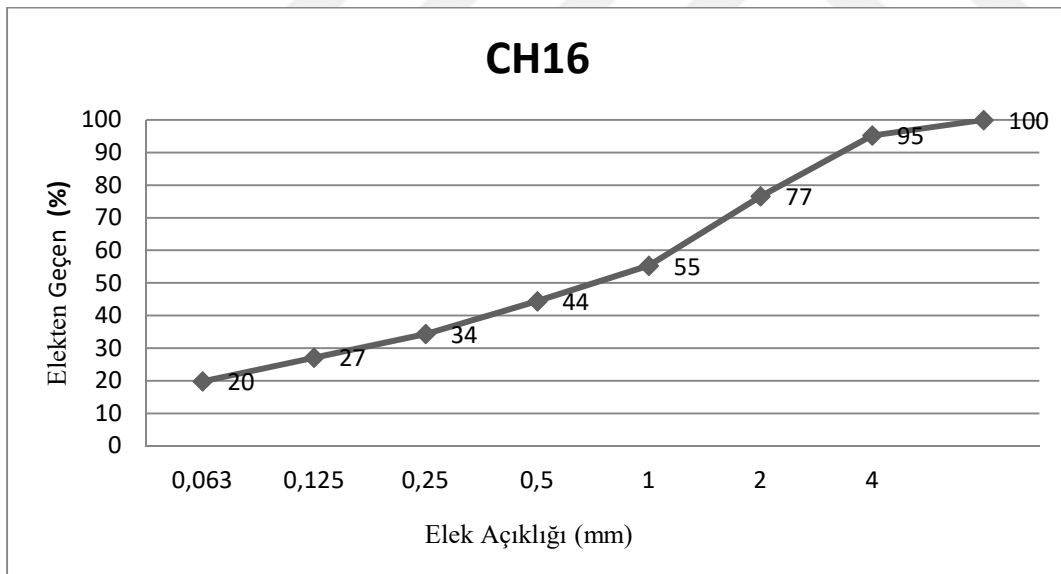
şekil 4. 13. CH13 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



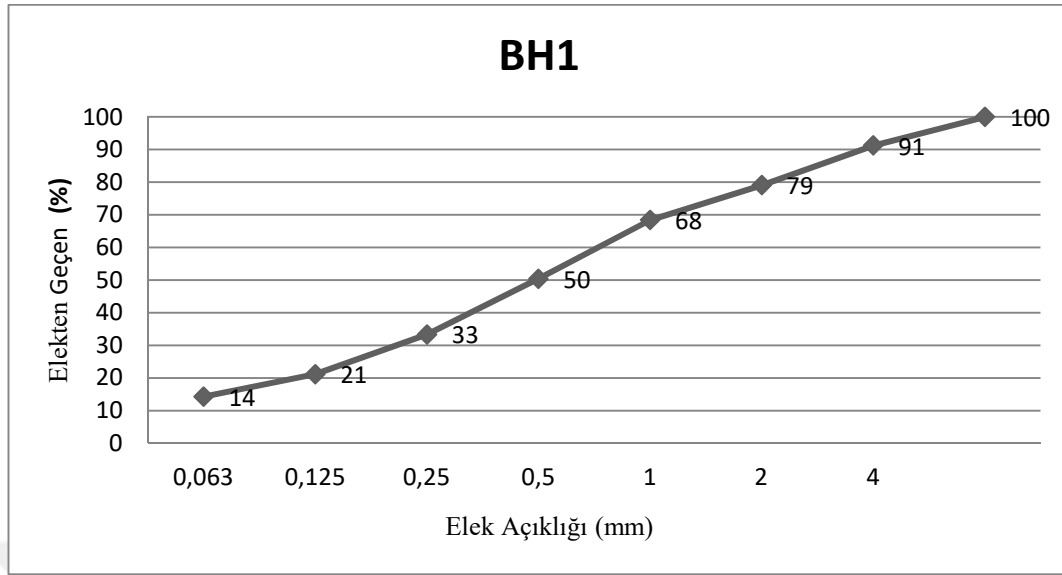
şekil 4. 14. CH14 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



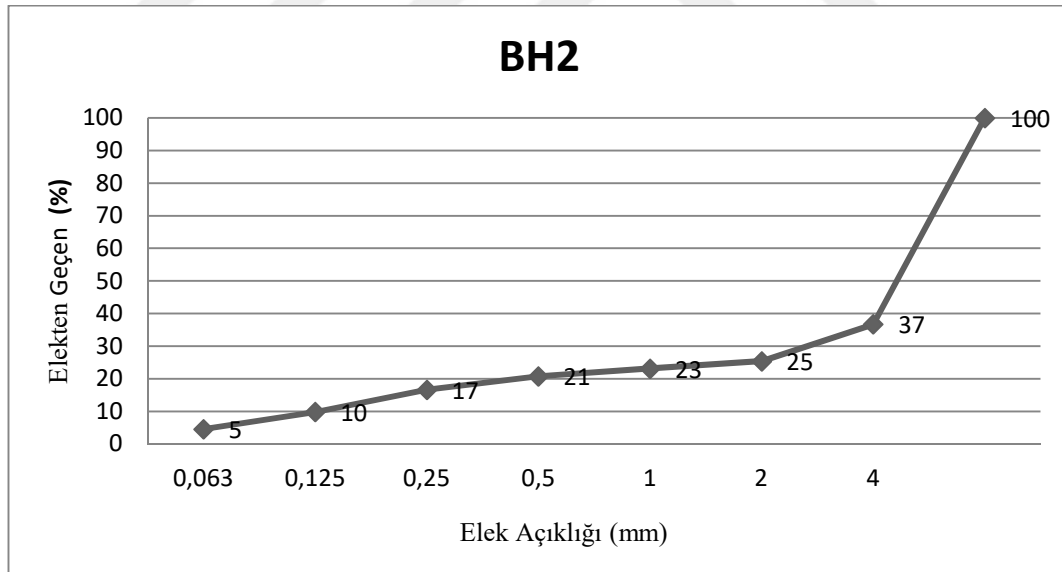
Şekil 4. 15. CH15 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



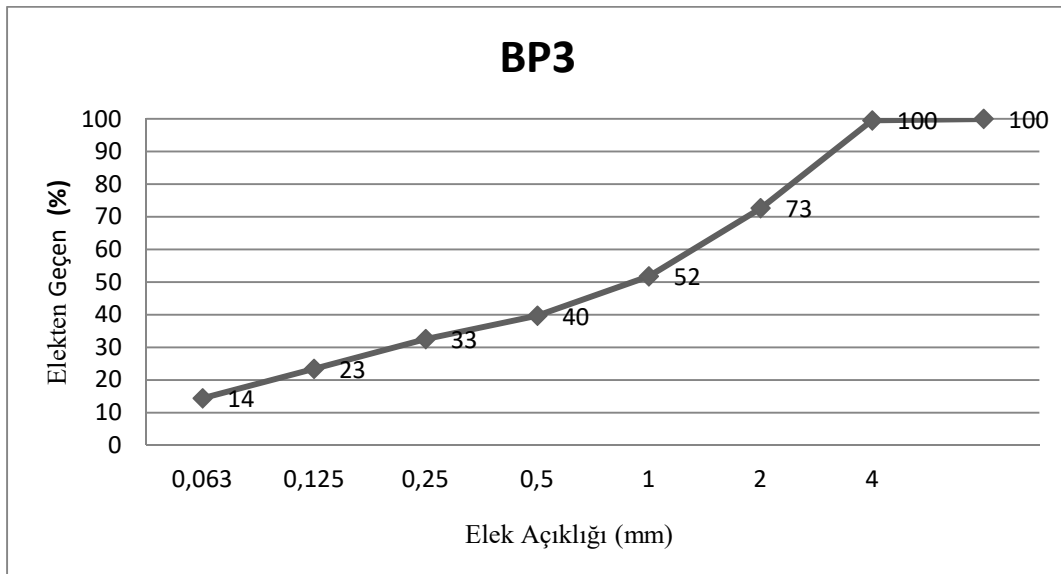
Şekil 4. 16. CH16 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



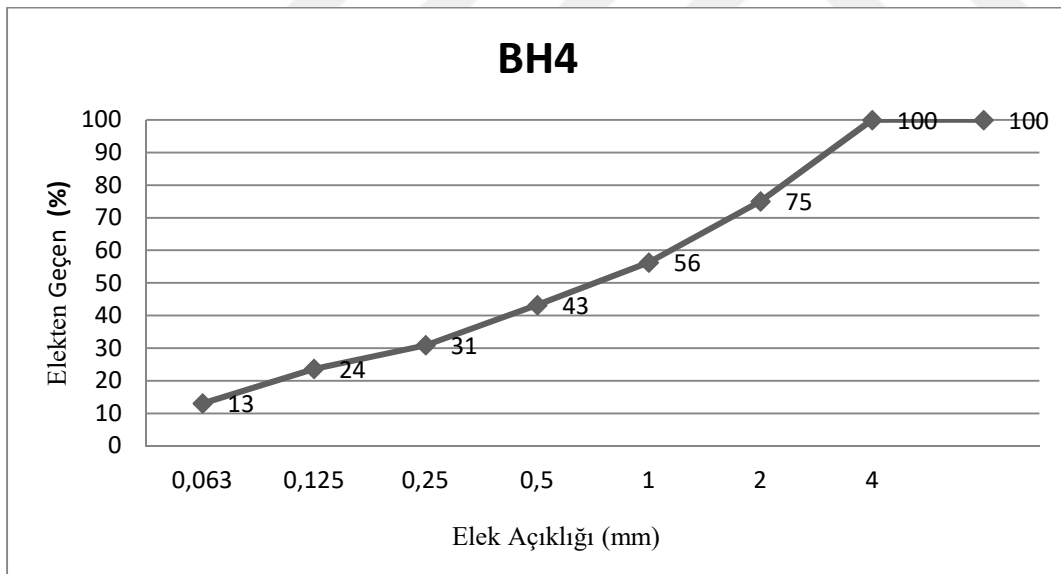
Şekil 4. 17. BH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



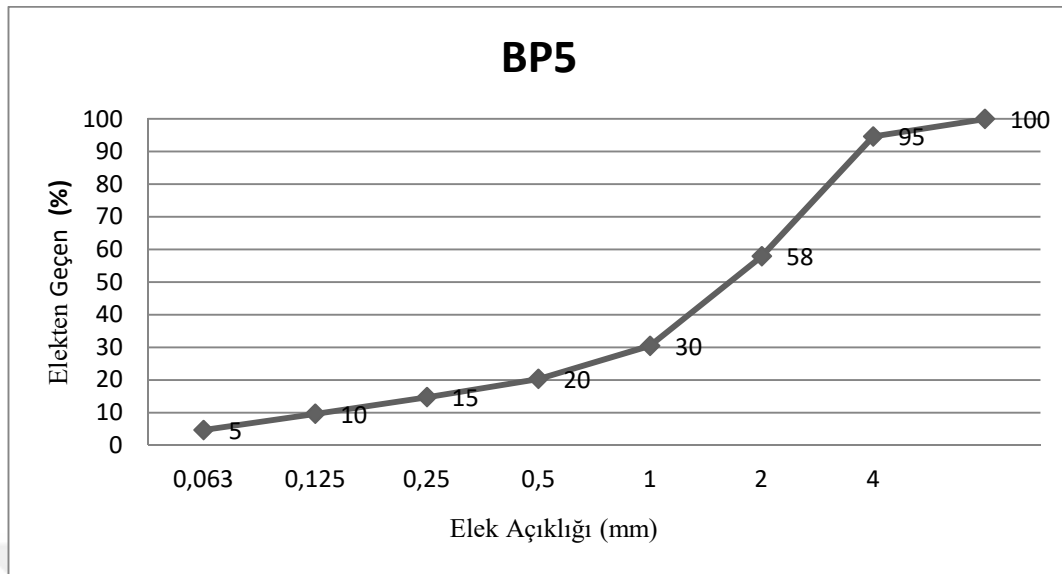
Şekil 4. 18. BH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



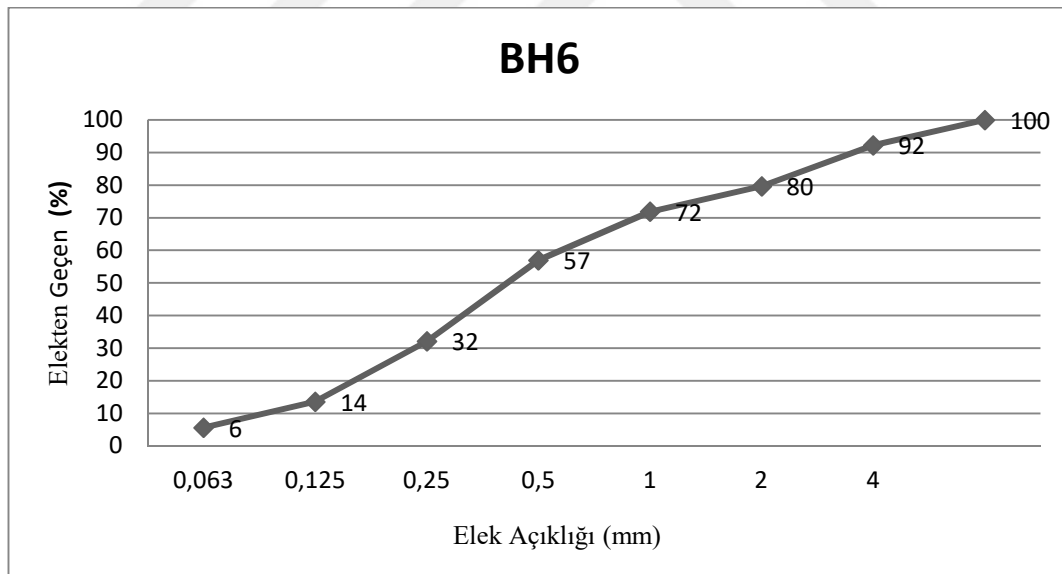
Şekil 4. 19. BP3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



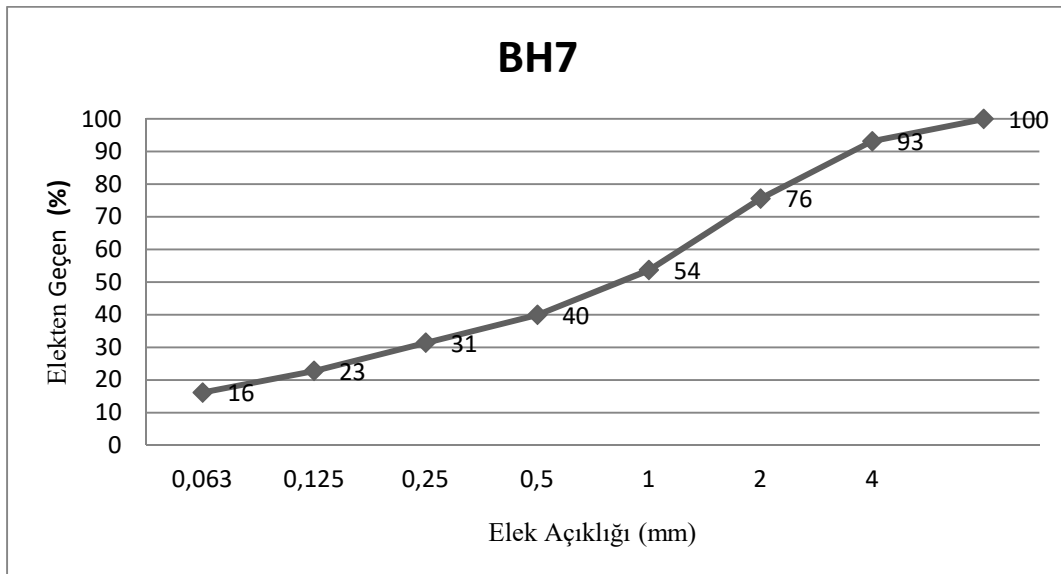
Şekil 4. 20. BH4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



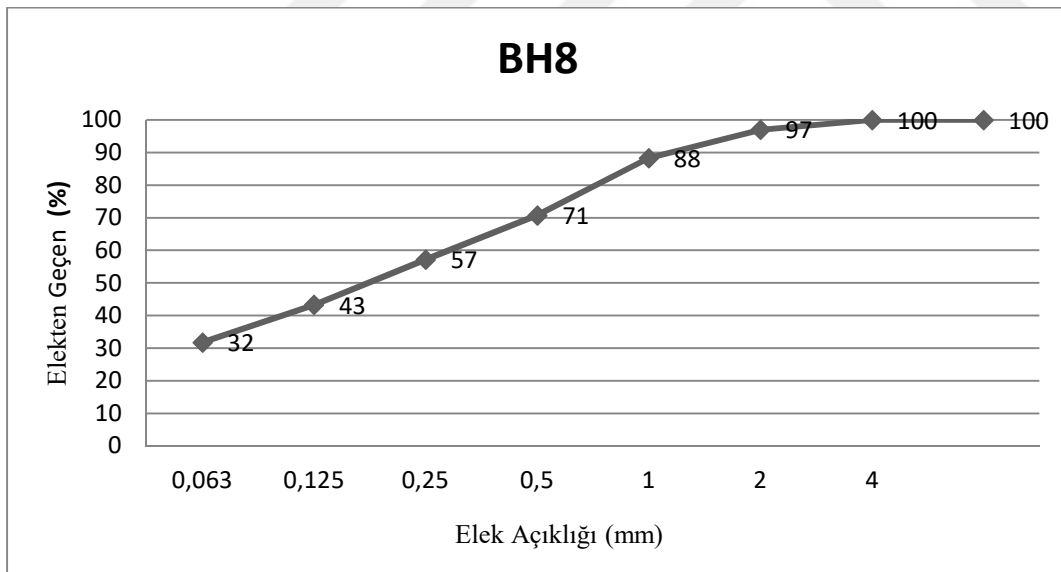
Şekil 4. 21. BP5 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



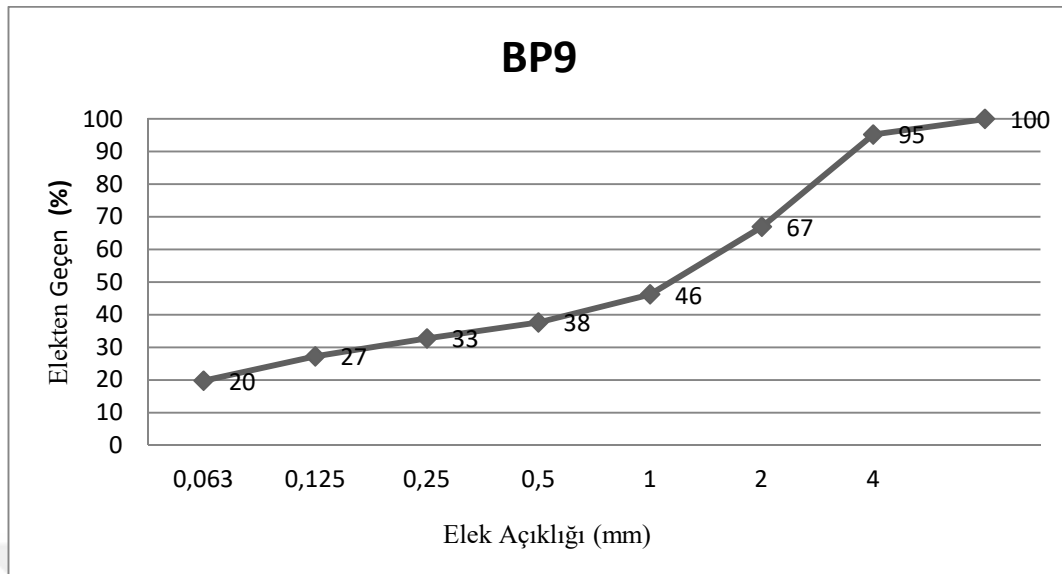
Şekil 4. 22. BH6 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



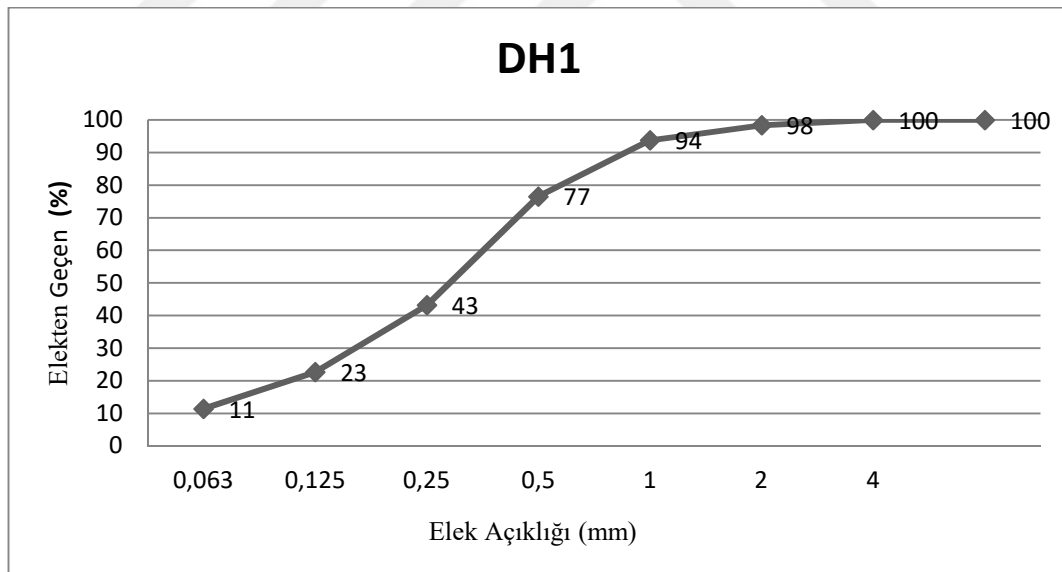
Şekil 4. 23. BH7 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



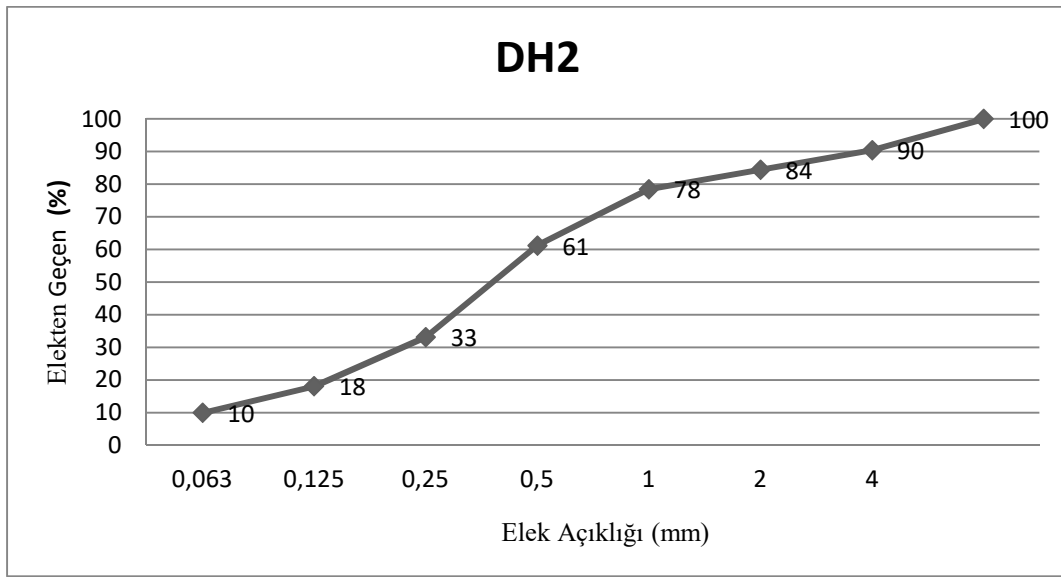
Şekil 4. 24. BH8 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



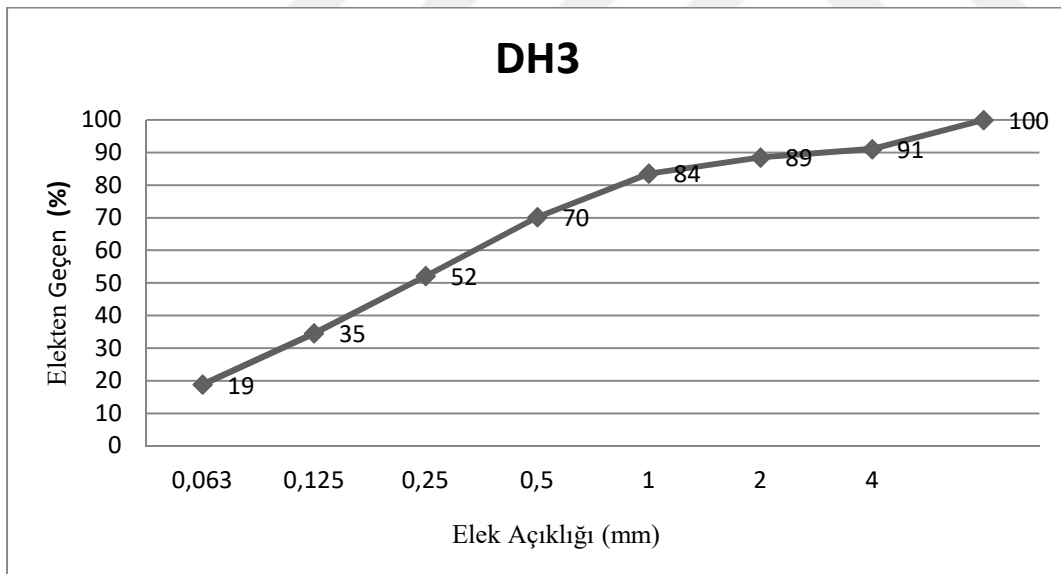
Şekil 4. 25. BP9 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



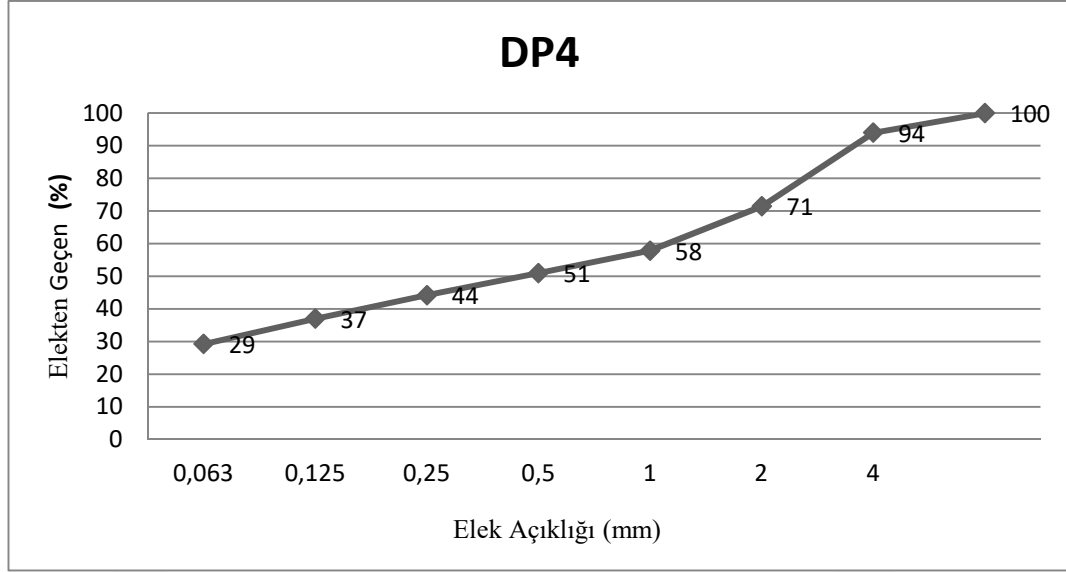
Şekil 4. 26. DH1 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



Şekil 4. 27. DH2 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



Şekil 4. 28. DH3 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları



Şekil 4. 29. DP4 kodlu numuneye ait elek analizi sonuçları

4.3.2. Tuz analizleri

Malzeme içerisindeki tuzlar zamanla bozulmalara neden olur. Bozulmalara neden olan bu tuzların varlıklarının tespit edilmesi amacıyla numuneler üzerinde tuz analizleri Bölüm 3.2.3.'de belirtildiği şekilde yapılmış ve numunelerin bünyelerinde barındırdığı klorür (Cl^-), sülfat (SO_4^{2-}), karbonat (CO_3^{2-}) ve nitrat (NO_3^-) iyonları tespit edilmiştir. Analiz sonuçları numune içerisinde var olan tuzun miktarı hakkında da bilgi vermesi amacıyla göreceli olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar “+” ve “-” olarak Çizelge 4.7’de gösterilmiştir. “+” sayısının fazlalığı numune içerisindeki tuz miktarının diğerlerinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. 7. Harç numunelerinin tuz analizleri sonuçları

NUMUNE ADI	NUMUNE TİPİ	Klorür Cl^-	Sülfat SO_4^{2-}	Karbonat CO_3^{2-}	Nitrat NO_3^-
CH1	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
CH2	harç (taş-taş arası)	-	-	-	+
CH4	harç (taş-taş arası)	++	++	+	++
CH5	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
CH6	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
CH7	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
CH8	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
CH9	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
CH11	harç (tuğla-tuğla arası)	-	-	-	-
CH12	harç (tuğla-tuğla arası)	-	+	+	-
CH13	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-

Çizelge 4.7'nin devamı

CH14	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
CH15	harç (taş-taş arası)	-	+	-	+
CH16	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
BH1	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
BH2	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
BH4	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
BH6	harç (taş-taş arası)	+	-	-	-
BH7	harç (taş-taş arası)	+	+	+	+
BH8	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
DH1	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
DH2	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-
DH3	harç (taş-taş arası)	-	-	-	-

Harç numuneleri üzerinde yapılan tuz analizlerinin sonuçları (Çizelge 4.7) incelendiğinde CH4 numunesinde daha yoğun olmak üzere CH4 ve BH7 numunelerinde tüm tuzların varlığı tespit edilmiştir. Yine BH6 numunesinde klorür, CH2 numunesinde ise nitrat varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca CH12 numunesinde sülfat ve karbonat, CH15 numunesinde ise sülfat ve nitrat varlığına rastlanmıştır.

Yerleşim merkezlerinin uzağında yer alan yapılarda tarım arazilerine yakın olmaları, bu yapıların çöplük veya ahır olarak kullanılması, güvercinler veya başka hayvanlar tarafından yuva olarak kullanılmaları gibi sebeplerden dolayı klor, karbonat, nitrat ve sülfat iyonlarına maruz kaldıkları görülmektedir (Kozlu 2010). Çizelge 4.7 incelendiğinde, bu tür dış etkilere maruz kalabilecek konumda bulunan harç örneklerinde tuz iyonları varlığına rastlandığı görülmüştür.

Sıva numuneleri üzerinde yapılan tuz analizlerinin sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Yapılan analizlerde herhangi bir tuz varlığına rastlanmamıştır.

Çizelge 4. 8. Sıva numunelerinin tuz analizleri sonuçları

NUMUNE ADI	NUMUNE TİPİ	Klorür Cl	Sülfat SO ₄	Karbonat CO ₃	Nitrat NO ₃
CP3	Sıva	-	-	-	-
CP10	Sıva	-	-	-	-
BP3	Sıva	-	-	-	-
BP5	Sıva	-	-	-	-
BP9	Sıva	-	-	-	-
DP4	Sıva	-	-	-	-

4.3.3. İletkenlik, pH, protein ve yağ analizleri:

Numunelerin içerisinde var olan organik maddeler protein ve yağ analizleri yardımıyla tespit edilebilmektedirler. Analiz sonuçları tuz analizlerinde (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de) olduğu gibi göreceli olarak verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde alınan 29 numuneden 14 tanesinde (% 48) protein, 6 tanesinde (% 20) yağ, 3 tanesinde (% 10) hem protein hem de yağ varlığı gözlenmiştir. 11 numunede (% 38) ise herhangi bir protein veya yağ varlığına rastlanmamıştır. Fakat burada numune içerisinde var olmuş olabilecek protein veya yağın zaman içerisinde bozunmuş olma ihtimalini de göz önünde bulundurmak gerekir.

Çizelge 4. 9. Harç numunelerin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri sonuçları

NUMUNE ADI	Numune Tipi	iletkenlik (mS/cm)	PH	Protein	Yağ
CH1	harç (taş-taş arası)	0,5	8,12	+++	-
CH2	harç (taş-taş arası)	0,25	8,15	++	-
CH4	harç (taş-taş arası)	-0,24	7,88	-	-
CH5	harç (taş-taş arası)	0,44	8,16	+	-
CH6	harç (taş-taş arası)	0,36	8,1	++	-
CH7	harç (taş-taş arası)	0,29	8,19	-	-
CH8	harç (taş-taş arası)	0,27	8,11	++	++
CH9	harç (taş-taş arası)	0,41	8,1	++	-
CH11	harç (tuğla-tuğla arası)	0,25	8,16	-	-
CH12	harç (tuğla-tuğla arası)	0,41	8,1	+++	-
CH13	harç (taş-taş arası)	0,33	8,16	-	-
CH14	harç (taş-taş arası)	0,53	8,09	++	-
CH15	harç (taş-taş arası)	0,12	8,01	-	-
CH16	harç (taş-taş arası)	0,25	8,14	-	-
BH1	harç (taş-taş arası)	0,41	8,1	-	-
BH2	harç (taş-taş arası)	0,45	8,01	-	-
BH4	harç (taş-taş arası)	0,68	8,13	-	-
BH6	harç (taş-taş arası)	0,19	8,35	-	+
BH7	harç (taş-taş arası)	-0,14	8,05	-	-
BH8	harç (taş-taş arası)	0,3	8,36	+	+
DH1	harç (taş-taş arası)	0,47	8,98	++	-
DH2	harç (taş-taş arası)	0,44	8,36	-	+
DH3	harç (taş-taş arası)	0,64	8,31	-	+

Çizelge 4. 10. Sıva numunenin iletkenlik, pH, protein, yağ analizleri sonuçları

NUMUNE ADI	Numune Tipi	iletkenlik (mS/cm)	PH	Protein	Yağ
CP3	sıva	0,96	8,13	+	-
CP10	Sıva	0,55	8,03	+	-
BP3	Sıva	0,91	8,05	-	-
BP5	Sıva	0,48	8,17	-	-
BP9	Sıva	0,37	8,3	++	-
DP4	sıva	0,95	8,18	++	+

Çeşme Yapısından alınan duvar ve sıva harcı örneklerin büyük bir çoğunluğunda protein varlığına rastlanmıştır. 16 numuneden sadece 6 tanesi protein içermemektedir. Burada numune içerisinde var olan proteinin zaman içerisinde bozunmuş olabileceği ihtimali de düşünülmelidir.

Çizelge 4.9 ve 4.10’da alınan malzemeler üzerinde yapılan pH ve iletkenlik ölçüm sonuçları da verilmiştir. Alınan numunelerin asidik veya bazik olma durumlarının tespiti amacıyla pH ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları 7,88 ile 8,98 aralığında çıkmıştır. Kirecin baz içeriği nedeniyle numunelerin zayıf baz özelliği göstermesi beklenen bir sonuçtur.

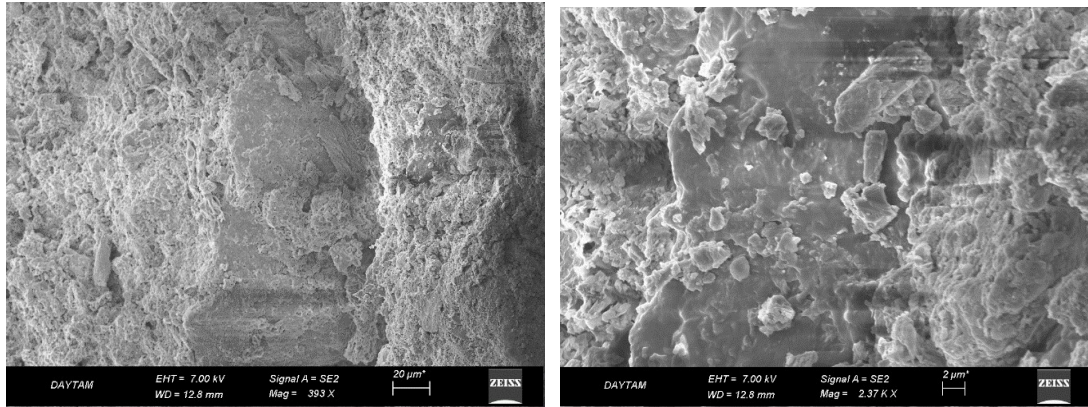
Çizelgedeki iletkenlik değeri ise harç ve sıva numunelerinin puzolanlık derecelerinin tespit edilmesi amacıyla ölçülmüştür. Bölüm 3.2.3’de belirtildiği şekilde ilk olarak doymuş $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çözeltisi hazırlanarak bunun iletkenlik değeri ölçülmüş, sonrasında ise çözeltiye bir miktar toz numune karıştırılarak ikinci bir iletkenlik değeri tekrar ölçülmüştür. Elde edilen iki iletkenlik değeri arasındaki fark bize numunelerin puzolanlıklarıyla ilgili fikir verecektir. 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 değil anlamı taşımaktadır. Çizelge 4.9 ve 4.10’a göre numunelerden 16 tanesi (%55) puzolan geriye kalan 13 numune (% 45) ise puzolan değil sonucu çıkmaktadır.

4.4. Mikro Yapı Analizleri

4.4.1. SEM/EDX analizi

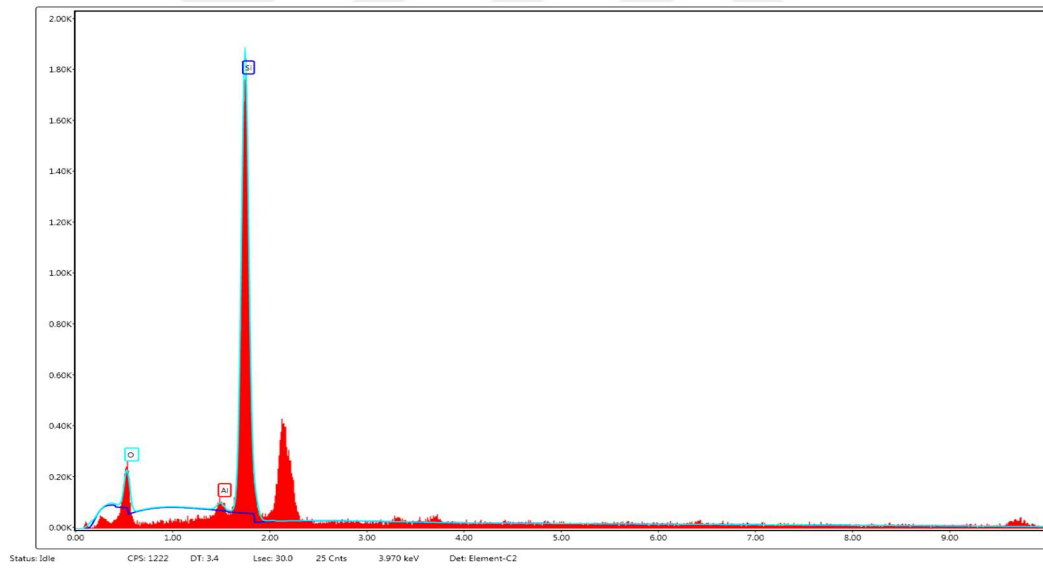
Fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak 29 numuneyi en iyi şekilde temsil edebilecek 18 numune belirlemiş, belirlenen bu numuneler üzerinde SEM/EDX analizleri Bölüm 3.2.4’de aktarıldığı şekliyle yapılmıştır. Deney yapılırken harç numunelerinin agreg ve bağlayıcı kısımları ayrı ayrı değerlendirilmiş her birine ait sonuçlar Ek-2’de sunulmuştur. Bu bölümde Çeşme, Bazilika ve Domus sonuçlarına birer örnek gösterilerek bunlara ait değerlendirmelere yer verilmiştir.

CH5 Numunesi :



Şekil 4. 30. CH5 numunesi SEM görüntüleri

CH5 Agrega kısmı

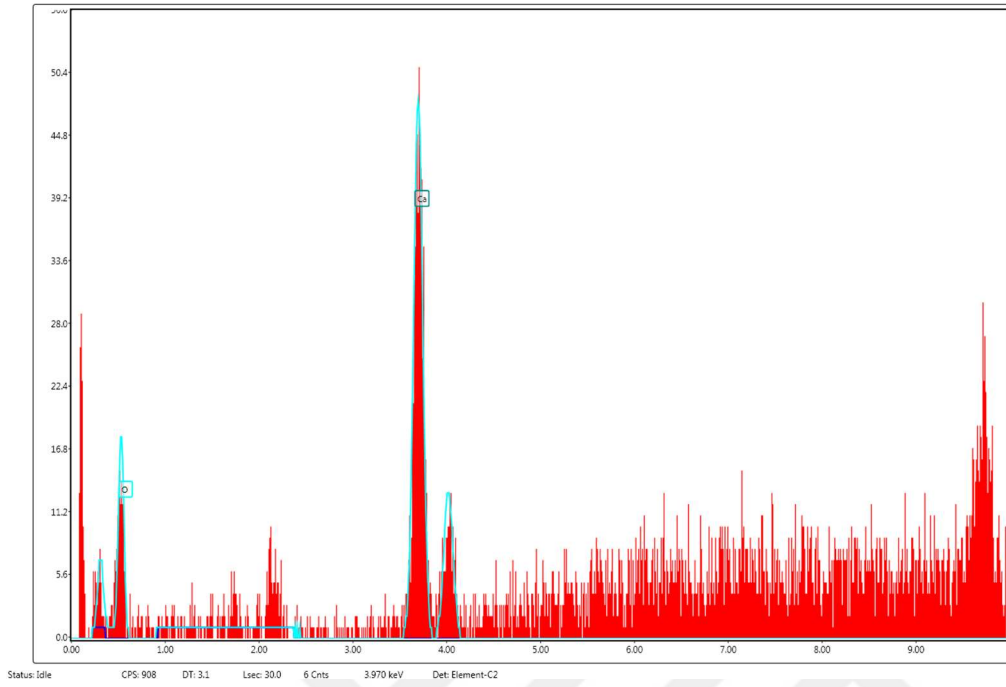


Şekil 4. 31. CH5 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı

Çizelge 4. 11. CH5 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Al	Si
Wt %	15,1	1,2	83,7

CH5 Bağlayıcı kısmı

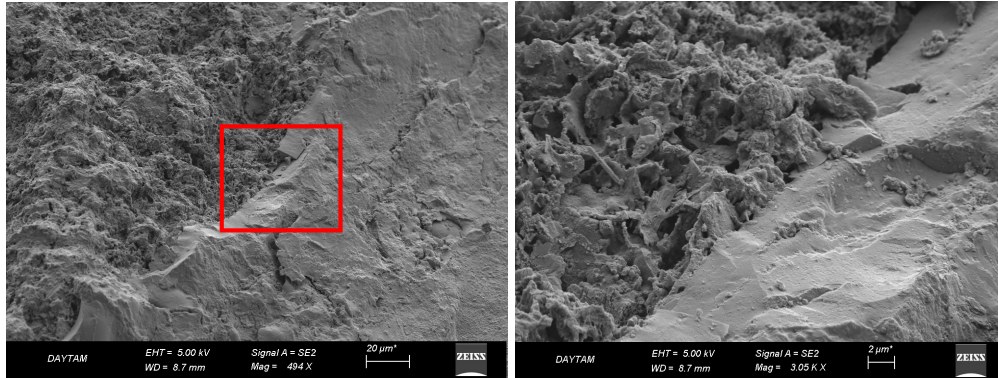


Şekil 4. 32. CH5 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge 4. 12. CH5 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

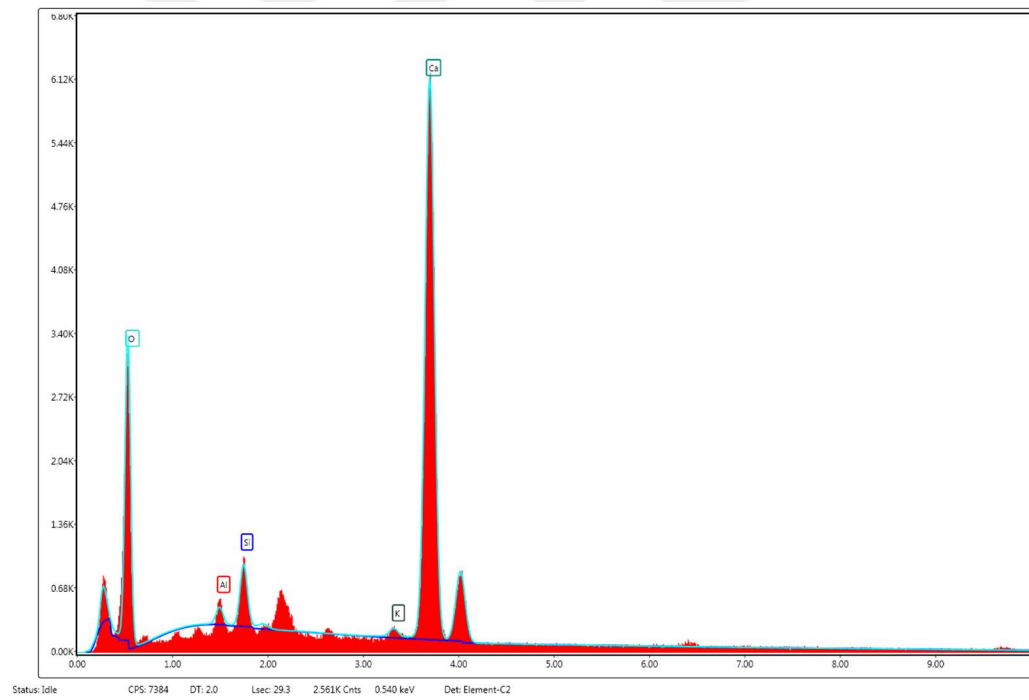
Element	O	Ca
Wt %	37,7	62,3

BH6 Numunesi Sonuçları:



Şekil 4. 33. BH6 numunesi SEM görüntüleri

BH6 numunesi agrega kısmı sonuçları

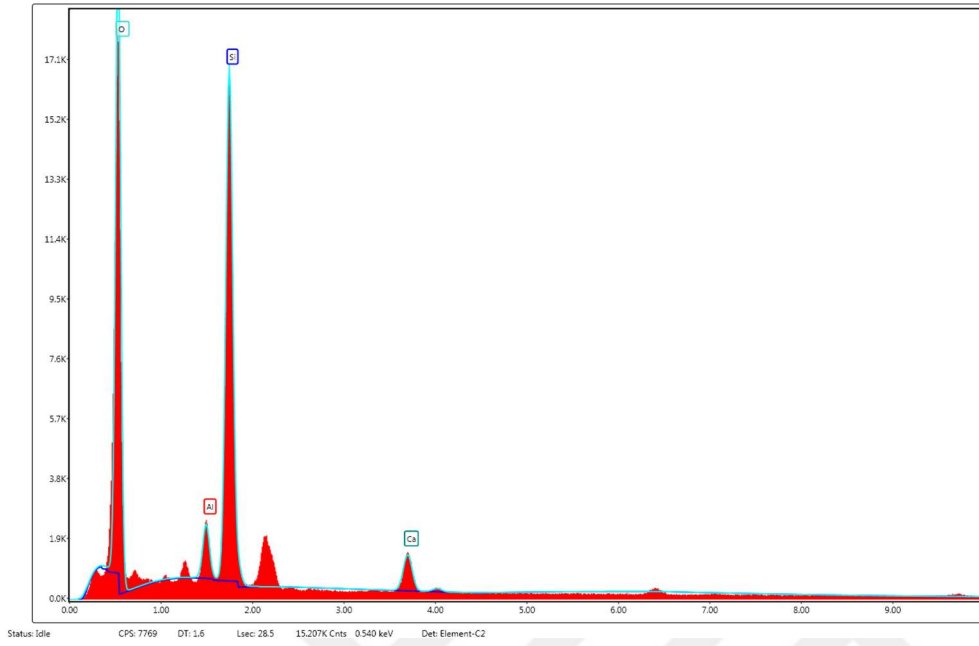


Şekil 4. 34. BH6 numunesi agrega kısmı EDX diyagramı

Çizelge 4. 13. BH6 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Al	Si	Ca
Wt %	58,5	3,4	32	6,1

BH6 numunesi bağlayıcı kısmı sonuçları:

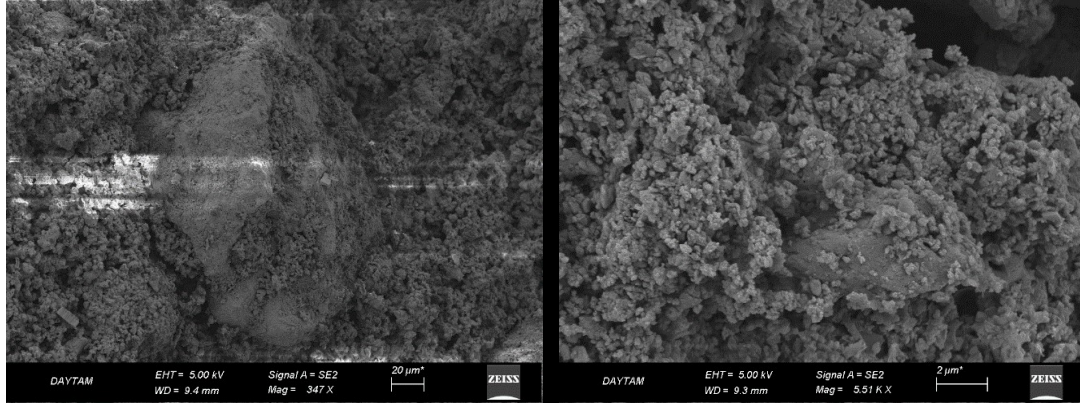


Şekil 4. 35. BH6 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge 4. 14. BH6 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

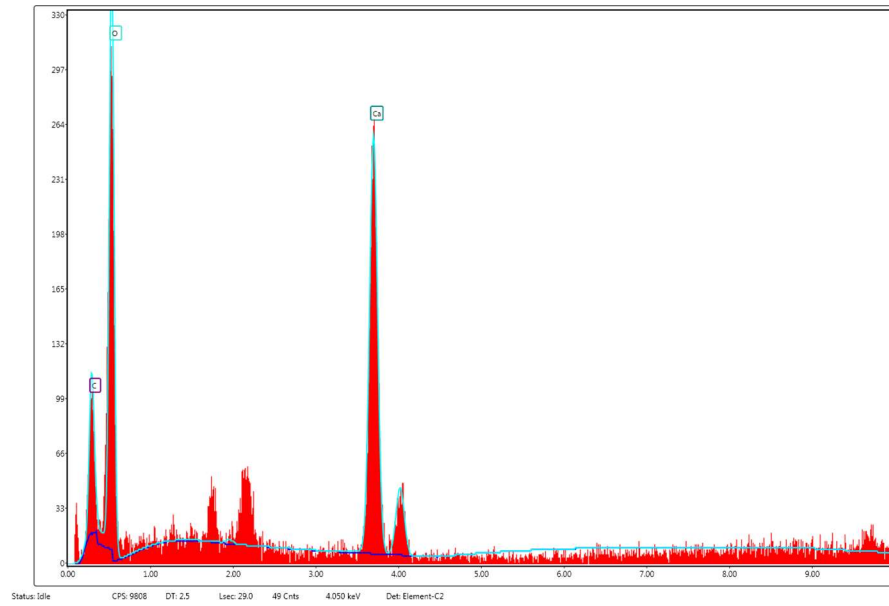
Element	K	O	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	0,5	44,7	19,4	0,7	2,3	51,8

DP4 Numunesi Sonuçları:



Şekil 4. 36. DP4 numunesi SEM görüntüleri

DP4 numunesi agrega kısmı sonuçları:

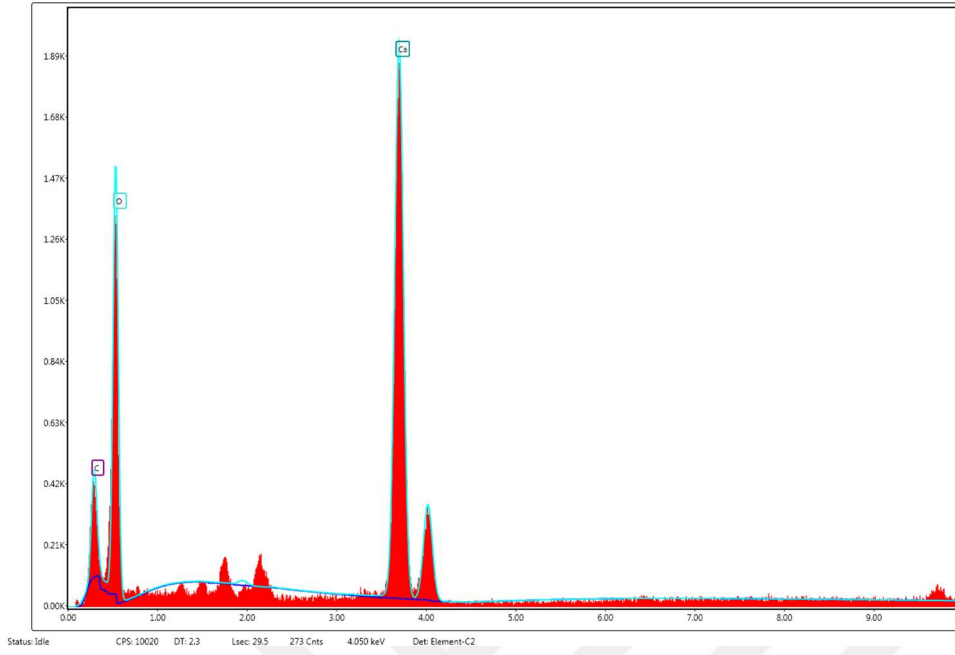


Şekil 4. 37. DP4 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları

Çizelge 4. 15. DP4 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları

Element	C	O	Ca
Wt %	6,8	58,2	35

DP4 numunesi bağlayıcı kısmı sonuçları:



Şekil 4. 38. DP4 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Çizelge 4. 16. DP4 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Element	C	O	Ca
Wt %	4,4	50,4	45,2

Çizelge 4. 17. Çeşme numunelerinin EDX analizi sonuçları

Numune Adı		Atomik %								
		O	Si	Ca	Al	K	Mg	Fe	C	Nb
CH2	B	36,1	-	63,9	-	-	-	-	-	-
	A	27	32,1	13,7	9,3	-	5,4	12,5	-	-
CP3	B	55,8	10,2	32,4	1,6	-	-	-	-	-
	A	50,7	30,9	10,3	6,4	1,7				
CH5	B	37,7	-	62,3	-	-	-	-	-	-
	A	15,1	83,7	-	1,2	-	-	-	-	-
CH7	B	35,7	0,9	63,4	-	-	-		-	-
	A	19,5	5,7	20,6	-	-	-	54,2	-	-
CH8	B	31,7	2,6	65,7	-	-	-	-	-	-
	A	50,3	12,9	27,5	-	-	-	-	9,3	-
CH11	B	31,3	0,9	57,8	-	-	-	-	-	10
	A	70,1	6,5	23,4	-	-	-	-	-	-
CH12	B	70	12,1	17,9	-	-	-	-	-	-
	A	-	52,7	36,6	10,7	-	-	-	-	-
CH13	A	66,5	11	22,5	-	-	-	-	-	-
CH15	B	51,6	3,2	41	1	-	-	-	3,2	-
	A	37	15,1	28,7	1,9	-	10,9	-	-	6,4
CH16	B	47,4	10,9	18,7	3,3	-	1,4	-	-	18,3
	A	39,6	28,9	22,1	6,8	2,6	-	-	-	-

Çizelge 4.17 incelendiğinde çeşme numunelerinin hemen hepsinde yüksek oranlarda kalsiyum (Ca), silisyum (Si) ve bu elementlerin yanı sıra önemli bir kısmında alüminyum (Al), birkaç tanesinde de demir (Fe), magnezyum (Mg), potasyum (K), niobyum (Nb) ve karbon (C) elementlerine rastlanmıştır. Üzerinde analiz yapılan 10 numuneden 6'sında alüminyum, 3'ünde magnezyum, 2'sinde potasyum, 2'sinde demir, 3'ünde niobyum ve 2'sinde de karbon varlığı gözlenmiştir.

Bağlayıcı kısımlardan alınan sonuçlarda kalsiyum, agregalarda ise silisyum miktarı daha yüksektir. Buradan, kireç ve puzolanik agregaların reaksiyona girerek ara yüzeylerde kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) ve kalsiyum-alüminat-hidratları (C-A-H) oluşturduğu sonucu çıkartılabilir. Ayrıca bu numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde mikroskop altında görülen ağsı ve iğnemsî dokular ara yüzeylerde kalsiyum-silikat-hidrat ve kalsiyum-alüminat-hidrat oluştuğunu göstermektedir. Ara yüzeylerde oluşan bu hidrolik reaksiyon ürünleri harçların mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Böke vd. 2004).

Çıkan sonuçlar numunelerin puzolanik aktivite değerleriyle birlikte değerlendirildiğinde yapısında yüksek oranlarda silisyum ve alüminyum elementi bulunduran numunelerin puzolanik özellik gösterdiği söylenebilir. CH2 numunesi dışında tüm çeşme numuneleri için bu durum geçerlidir. CH2 numunesinin düşük puzolanik

aktivite gösterme sebebi olarak yapısında demir ve bundan kaynaklı demir oksit olması olarak açıklanabilir.

Karbon elementi harç yapımında kullanılan organik maddelerden kaynaklanabileceği gibi numune hazırlanması sırasında farklı dış etkenlerden de analiz edilecek numuneye nüfus edebilmektedir (Oğuz 2013; Arıkan 2009). Protein ve yağ analizleri göz önünde bulundurulduğunda CH8 numunesi içerisinde hem protein hem de yağ varlığı tespit edilmiştir. Numune bünyesindeki karbon varlığı bu şekilde açıklanabilir. CH15 numunesinde ise ağırlıkça % 3,5 oranında bir karbon varlığı tespit edilmiştir. EDX analizi sırasında % 5'in altındaki oranlarda rastlanabilecek hata payının yüksek olması da göz önüne alındığında buradaki karbonun numune hazırlanması sırasında dışarıdan kaynaklanması muhtemeldir.

Çizelge 4. 18. Bazilika numunelerinin EDX analizi sonuçları

Numune Adı		Atomik %									
		O	Si	Ca	Al	K	Mg	Fe	C	Ne	Na
BH2	B	55,7	7,6	29,1	3,1	-	-	-	-	1,8	2,7
	A	57	7,6	17,4	-	-	-	-	18	-	-
BP3	B	13,4	-	86,6	-	-	-	-	-	-	-
	A	31,4	68,6	-	-	-	-	-	-	-	-
BP5	B	60,4	17,8	21,8	-	-	-	-	-	-	-
	A	49,9	24,9	20,2	1,9	-	3,1	-	-	-	-
BH6	B	44,7	2,3	51,8	0,7	0,5	-	-	-	-	-
	A	58,5	32	6,1	3,4		-	-	-	-	-
BH7	B	24,3	-	75,7	-	-	-	-	-	-	-
	A	65,4	5,1	29,5	-	-	-	-	-	-	-
BH8	B	53,7	5,3	33,6	3	4,4	-	-	-	-	-
	A	45,2	12,4	34,7	4,5	-	-	3,2	-	-	-

Bazilikadan alınan numuneler üzerinde yapılan EDX analiz sonucunda elde edilen element yüzdeleri (Ağırlıkça %) incelendiğinde Çeşme Yapısıyla benzer sonuçlar elde edildiği, bunlardan farklı olarak sadece BH2 numunesinde düşük miktarlarda neon (Ne) ve sodyum (Na) elementlerinin gözlemlendiği görülebilir. Harç bünyesindeki sodyum, içerisine nüfus etmiş sodyum klorür (NaCl) tuzundan kaynaklanabilir.

Çizelge 4. 19. Domus numunelerinin EDX analizi sonuçları

Numune Adı		Atomik %						
		O	Si	Ca	Al	Mg	C	Ne
DH1	B	63,1	9,5	27,4	-	-	-	-
	A	57,6	13	23,4	3,4	1,1	-	1,5
DP4	B	50,4	-	45,2	-	-	4,4	-
	A	58,2	-	35	-	-	-	6,8

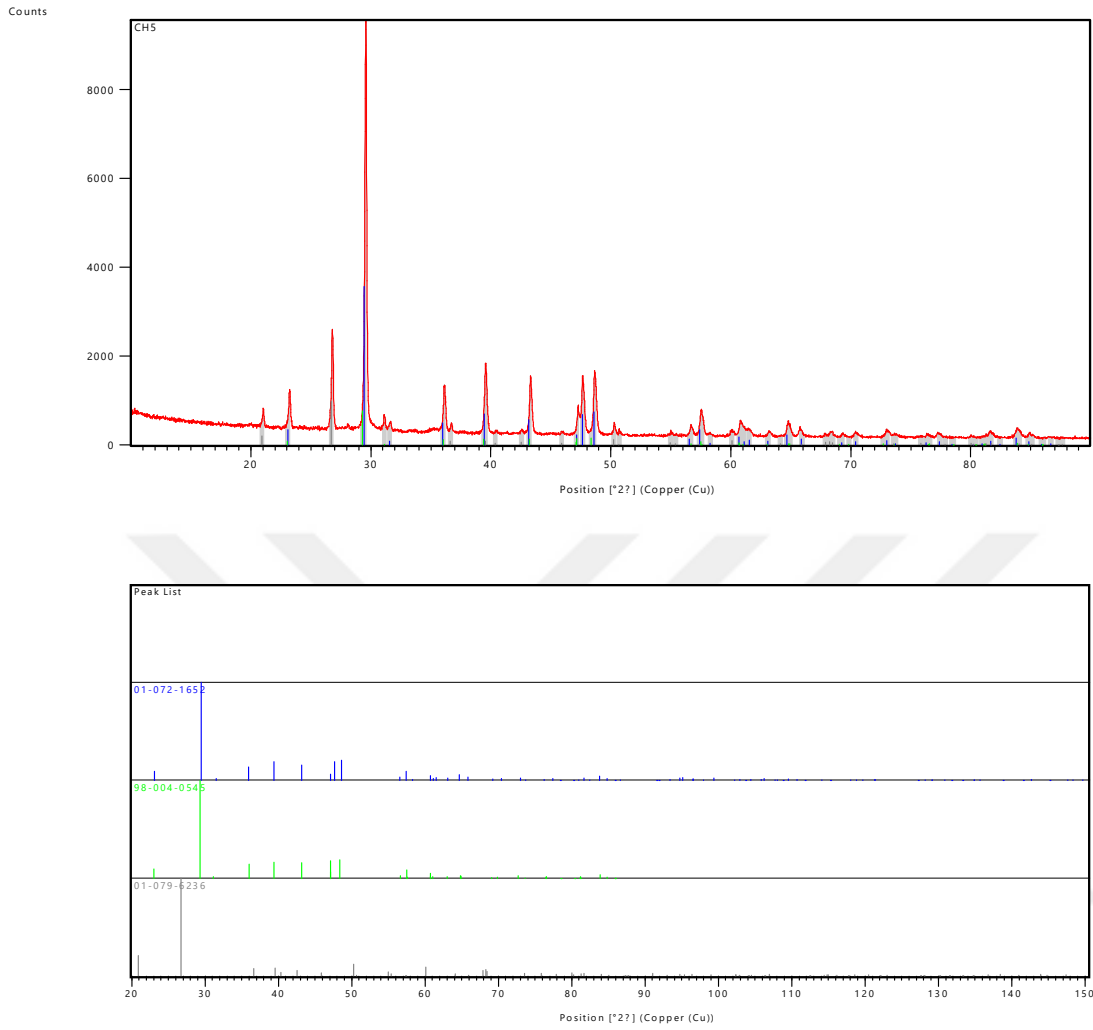
Domus numunelerinin sonuçlarına bakıldığında sıva numunesinde (DP4) daha yüksek oranlarda kalsiyuma rastlanırken hiç silisyum olmadığı gözlenmiştir. DH1 duvar harcı numunesinde ise daha düşük oranlarda kalsiyum ve bunun yanında önemli ölçüde silisyum vardır.

Kireç, kireçtaşıdan elde edilir. Kireçtaşı yüksek oranda kalsit (CaCO_3) içeren tortul bir kayadır. Kireçtaşı kalsiyum ile beraber magnezyumunda (Mg) yer alması ile oluşan mineral dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) olarak adlandırılır. İçeriğindeki dolomit miktarına göre kireçtaşları; dolomit taşı (dolomit oranı % 50'den fazla ise), dolomitik kireç taşı (dolomit oranı, %10 ile %50 arasında), tabii kireçtaşı (dolomit oranı %10'nun altında ise) olarak sınıflandırılırlar (Arıkan 2009). SEM/EDX analizi sonuçlarına bakıldığında numunelerde görülen magnezyum miktarının %10'un altında kaldığı görülmüştür. Buradan kullanılan kireçtaşlarının tabii kireçtaşları olduğu sonucuna varılabilir.

4.4.2. XRD analizi

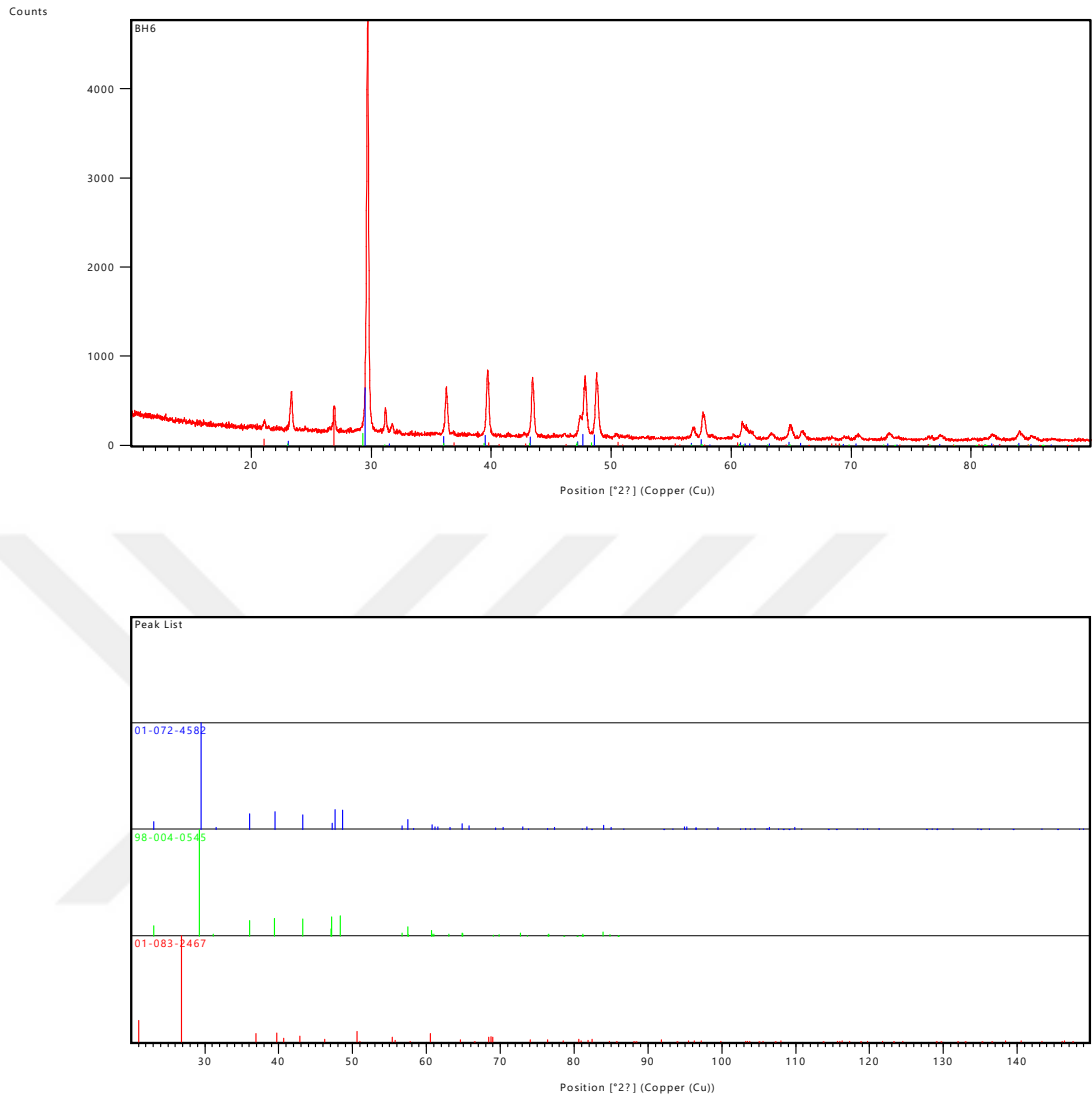
SEM/EDX analizleri için seçilmiş 18 numune üzerinde XRD analizleri Bölüm 3.2.4'de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Ayrıntılı deney sonuçları Ek-3'de verilmiş olup bu bölümde Çeşme, Bazilika ve Domus yapılarının sonuçlarından birer tane örnek ele alınarak yorumlanmıştır.

3 numuneye ait deney sonuçları Şekil 4.39, 4.40 ve 4.41'de verilmiştir. Yapılan XRD analizleri neticesinde numunelerin kalsit ve kuvars (SiO_2) içerdikleri gözlenmiştir. Kalsit minerali, bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını göstermektedir. Kuvars minerali ise kullanılan agregalarının genellikle silisyum mineralini içerdiğini göstermektedir (Oğuz 2013).



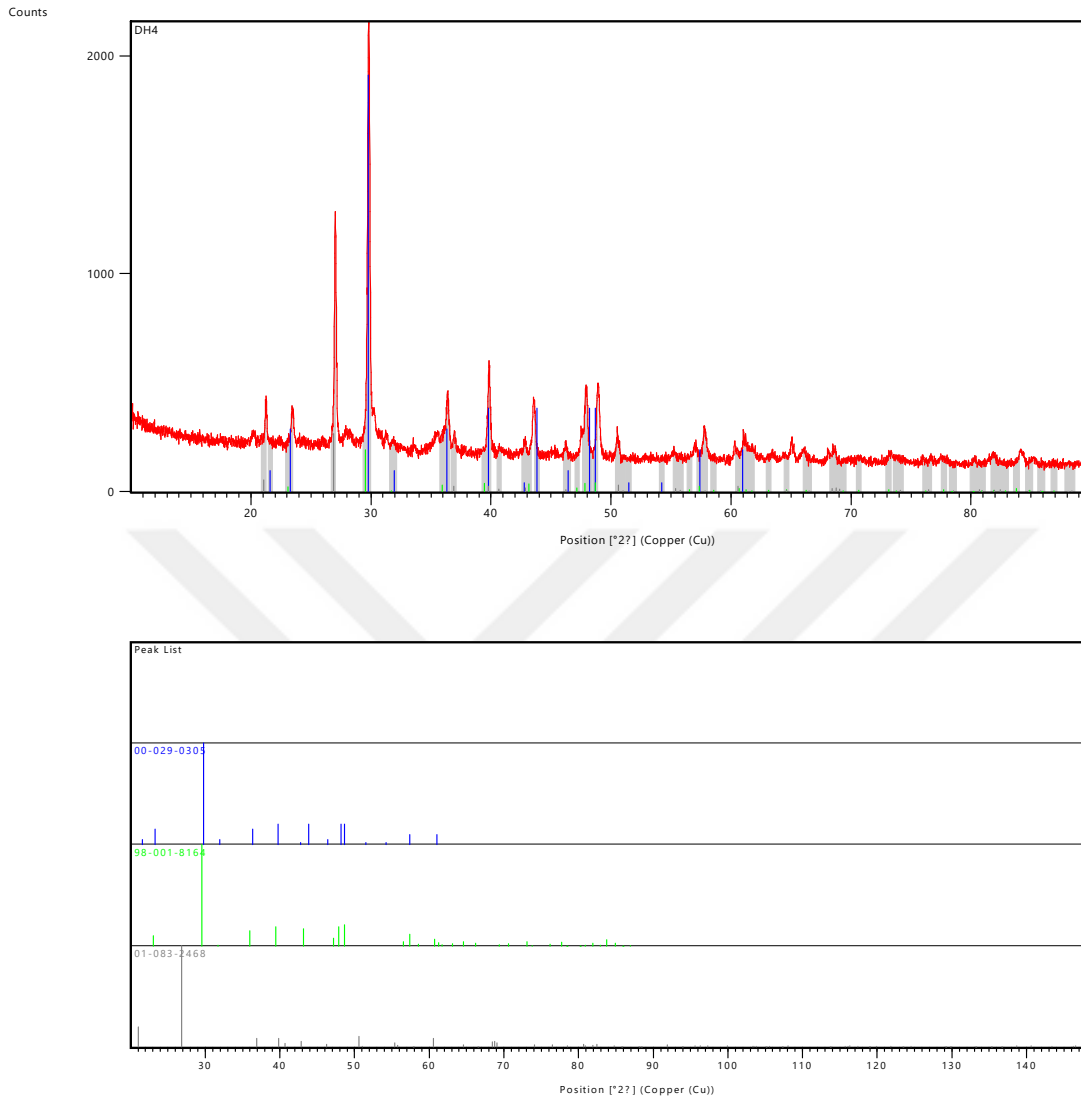
Bileşiğin rengi	Referans Kodu	Skor	Bileşiğin Adı	Kristal Yapısı	Ölçek Faktörü	Kimyasal Formülü
*	01-072-1652	82	Calcium Carbonate	Rhombohedral	0.372	Ca(CO ₃)
*	98-004-0545	73	Calcite	Rhombohedral	0.080	CaCO ₃
*	01-079-6236	69	Silicon Oxide	Hexagonal	0.102	SiO ₂

Şekil 4. 39. CH5 numunesi XRD analizi sonuçları



Bileşimin rengi	Referans Kodu	Skor	Bileşimin Adı	Kristal Yapısı	Ölçek Faktörü	Kimyasal Formülü
*	01-072-4582	81	Calcium Carbonate	Rhombohedral	0.135	Ca(CO ₃)
*	98-004-0545	53	Calcite	Rhombohedral	0.028	CaCO ₃
*	01-083-2467	35	Silicon Oxide	Hexagonal	0.069	SiO ₂

Şekil 4. 40. BH6 numunesi XRD analizi sonuçları

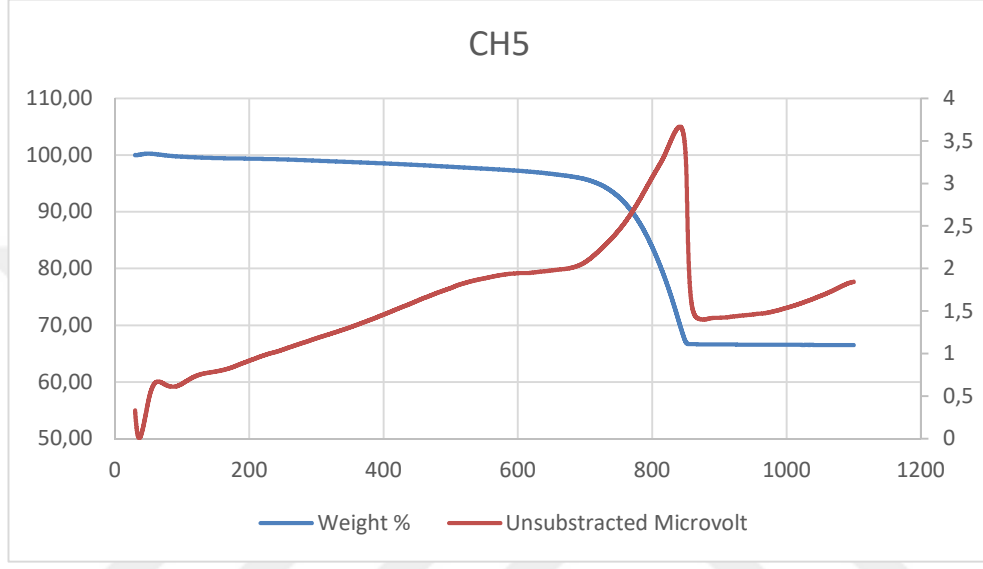


Bileşiğin rengi	Referans Kodu	Skor	Bileşiğin Adı	Kristal Yapısı	Ölçek Faktörü	Kimyasal Formülü
*	00-029-0305	40	Calcium Carbonate	Rhombohedral	0.884	Ca(CO ₃)
*	98-001-8164	26	Calcite	Rhombohedral	0.088	CaCO ₃
*	01-083-2468	36	Silicon Oxide	Hexagonal	0.122	SiO ₂

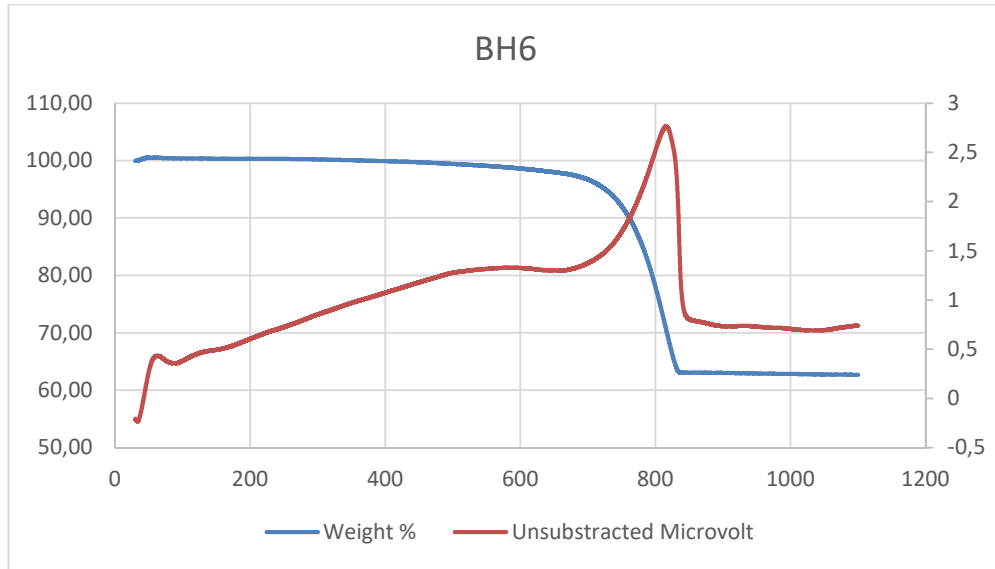
Şekil 4. 41. DP4 numunesi XRD analizi sonuçları

4.4.3. Termal analizler

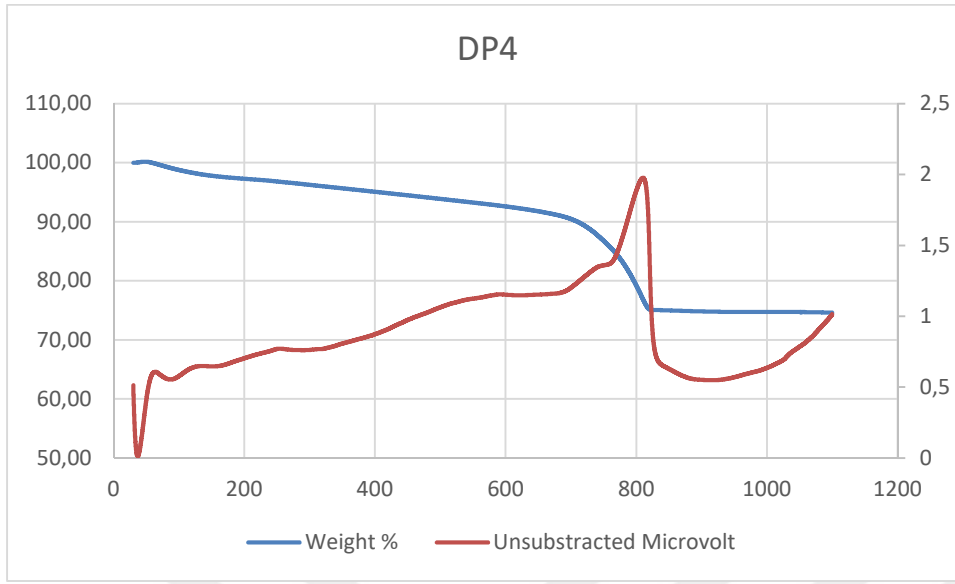
Daha önce yapılmış analiz sonuçları göz önünde bulundurularak seçilmiş 10 numune üzerinde TG/DTA analizleri Bölüm 3.2.4’de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Ayrıntılı analiz sonuçları Ek-4’de verilmiş, bu kısımda Çeşme, Bazilika ve Domus’tan alınan harç numunelerinin her birinden birer numuneye ait analiz sonucu grafik olarak verilmiştir. Ayrıca sonuçlardan elde edilen veriler çizelge 4.20’de özetlenerek yorumlanmıştır.



Şekil 4. 42. CH5 numunesi TG/DTA sonuçları



Şekil 4. 43. BH6 numunesi TG/DTA sonuçları



Şekil 4. 44. DP4 numunesi TG/DTA sonuçları

Çizelge 4. 20. Numunelerin TGA/DTA analiz sonuçları

SN	NUMUNE ADI	NUMUNE AĞIRLIĞI (W ₀)	200 °C (A)	600 °C (B)	900 °C (C)	H ₂ O (A-B)/W ₀ %	CO ₂ (B-C)/W ₀ %	CO ₂ /H ₂ O %
1	CP3	10,531	10,3345	9,9802	7,4514	3,36	24,01	7
2	CH5	12,794	12,7046	12,4234	8,5185	2,20	30,52	14
3	CH7	12,062	12,0226	11,8372	8,4153	1,54	28,37	18
4	CH11	8,915	8,8848	8,6368	5,9014	2,78	30,68	11
5	BP3	7,345	7,148	6,7598	5,1879	5,29	21,4	4
6	BH6	10,418	10,411	10,2046	6,5196	1,98	35,3	18
7	BH7	8,061	7,7564	6,8781	5,5688	10,90	16,24	1
8	BH8	12,156	12,0816	11,6613	7,281	3,46	36,03	10
9	DH1	10,871	10,8271	10,5707	7,5975	2,36	27,35	12
10	DP4	12,460	12,1018	11,5225	9,2923	4,65	17,90	4

Çizelge 4.20’de başlangıçtan itibaren 200 °C, 600 °C ve 900 °C için ölçülen numune ağırlıkları ile bunlara göre hesaplanan H₂O, CO₂ ve H₂O/CO₂ oranları verilmiştir. Sağın Uğurlu ve Böke 2010 yılında yayınladıkları çalışmada; 200-600 °C aralığındaki kütle kaybının, kimyasal bağlı suyun (H₂O) çıkışını; 600-900 °C aralığındaki kütle kaybının ise karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu sonucu karbondioksit (CO₂) çıkışını ifade ettiğini belirtmişlerdir. Çıkan karbondioksit ve su yüzdelerinin birbirine bölünmesi (CO₂/H₂O) ile harçların hidrolik özellikleri değerlendirilebilir. Eğer oran 1 ile 10 arasında ise harcın hidrolik özellik gösterdiği, 10 ile 35 arasında ise de hidrolik özellik göstermediği kabul edilir (Sağın Uğurlu ve Böke 2010).

Buna göre numuneler değerlendirildiğinde Bazilika'dan alınan örneklerin BH6 dışında genel olarak hidrolik özellik gösterdiği, Çeşme ve Domus'tan alınan numunelerde ise sadece sıva örneklerinin (CP3 ve DP4) hidrolik özellik gösterip geri kalanların bu özelliği göstermediği görülmüştür.

Tipik kireç harçlarında kimyasal su oranı %3'ten az, CO₂ oranı %32'den fazla, CO₂/H₂O oranı %10'dan fazladır. Bu oranlar hidrolik kireç harçları için; kimyasal su oranı %3.5-6.5, CO₂ %24-34 ve CO₂/H₂O oranı %6.5-9.5 şeklindedir. Tuğla kırıklı harçlarda kimyasal su %3.5-8.5 arası, CO₂ %22-29 arası ve CO₂/H₂O oranı %3-6 arasındadır. Puzolanik harçlarda ise kimyasal su %5-14 arası, CO₂ oranı %12-20 arasında ve CO₂/H₂O oranı da %3'ün altındadır (Moropoulou vd. 2005).

Çizelge 4.20 incelendiğinde; BH6, BH8, CH5, CH7, CH11 ve DH1 harçlarının tipik kireç harçları; BP3, CP3 ve DP4 sıva harçlarının tuğla kırıklı harçlar; BH7 harcının ise Puzolanik harç olduğu görülecektir.

4.5. Mekanik Analizler

Tarihi yapılardan alınan numuneler genellikle standart bir şekilde ve standart ölçülerde olamazlar. Özellikle harç numuneleri için bu durum çok güçtür. Bu yüzden alınan numunelerin basınç dayanımlarını ölçmek amacıyla nokta yükleme deneyi yapılmıştır. Deney Bölüm 3.2.5'de belirtildiği şekilde yapılmış olup sonuçlar aşağıda verilen çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4. 21. Numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme deneyi sonuçları

SN	NUMUNE ADI	$I_s=P/De^2$	$De^2=4A/\pi$	$F=(De/50)^{0.45}$	$I_s(50)=F.I_s$	Basınç Dayanımı = $I_s(50)*11$ (MPa)
1	CH1	2,49	20,2926	0,3385	0,84	9
2	CH2	1,21	31,3560	0,3734	0,45	5
3	CP3	5,49	16,0147	0,3210	1,76	19
4	CH4	2,63	23,1566	0,3488	0,92	10
5	CH5	4,25	13,0444	0,3065	1,30	14
6	CH6	1,44	15,5787	0,3190	0,46	5
7	CH7	3,69	35,3657	0,3836	1,42	16
8	CH8	1,60	20,3434	0,3387	0,54	6
9	CH9	1,64	47,1821	0,4093	0,67	7
10	CP10	4,96	21,1867	0,3418	1,69	19
11	CH11	1,45	16,8883	0,3248	0,47	5

Çizelge 4.21'in devamı

12	CH12	2,00	17,2894	0,3266	0,65	7
13	CH13	6,99	17,7282	0,3284	2,30	25
14	CH14	2,79	28,6779	0,3659	1,02	11
15	CH15	1,38	30,3902	0,3707	0,51	6
16	CH16	3,35	33,1211	0,3780	1,27	14
17	BH1	0,91	7,1615	0,2678	0,24	3
18	BH2	4,71	13,2567	0,3076	1,45	16
19	BP3	1,13	81,5840	0,4630	0,52	6
20	BH4	2,40	57,1971	0,4274	1,03	11
21	BH5	4,18	26,4531	0,3594	1,50	17
22	BH6	2,06	16,7580	0,3243	0,67	7
23	BH7	2,18	32,9687	0,3776	0,82	9
24	BH8	0,73	39,2253	0,3927	0,29	8
25	BP9	1,27	34,2654	0,3809	0,48	5
26	DH1	0,76	10,5731	0,2924	0,22	2
27	DH2	1,55	4,1994	0,2375	0,37	4
28	DH3	3,94	5,3248	0,2505	0,99	11
29	DP4	1,04	10,6010	0,2925	0,30	3

Düzeltilme faktörü olarak Ulukaya tarafından tarihi kireç harçları için önerilen $K=11$ değeri alınmıştır (Ulukaya 2016). Nokta yükleme deneyi sonuçları bu değer ile çarpılarak tek eksenli basınç dayanımı değerine çevrilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde Çeşme Yapısından alınan numunelerin basınç dayanımlarının en düşük 5 MPa, en yüksek 25 MPa olduğu ve ortalama 11 MPa değer aldığı görülmüştür. Bu değerler Bazilika için; en düşük basınç dayanımı 3 MPa, en yüksek değer 17 MPa ve ortalama ise 9 MPa şeklindedir. Yine Domus Yapısından elde edilen sonuçlara bakıldığında değerlerin 2 MPa ile 11 MPa arasında olduğu ve ortalama basınç dayanımının 5 MPa çıktığı görülmüştür. Çeşme numunelerinin diğer numunelere kıyasla daha yüksek basınç dayanımına sahip olması, bu yapının kullanım şeklinden dolayı hidratasyon için gerekli neme sahip olmasıyla açıklanabilir.

İstanbul'da bulunan Erken Bizans dönemine ait sarayların (Bukoleon Sarayı, Büyük Saray, Lausus Sarayı) yapısında kullanılan harçların incelendiği bir çalışmada numunelerin mekanik özellikleri de araştırılmıştır. Düzgün boyutlu numuneler mekanik tek eksenli basınç dayanımı testine, düzgün boyutlu olmayan örnekler de Nokta Yükleme testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçlar karşılaştırılarak iki metot arasında bir korelasyon değeri tespit edilmiş ve sonuçlar bu değere göre düzeltilerek yorumlanmıştır. Sonuç olarak harç numunelerinin basınç dayanımlarının 6-8 MPa aralığında değerler aldığı görülmüştür (Kahraman Altaş vd. 2012). Andriake Limanı'nda bulunan Roma, Bizans ve

Selçuklu Dönemi yapılarında kullanılan harçların mekanik özellikleri incelenirken numuneler üzerinde nokta yükleme deneyleri yapılmış, düzeltme faktörü (K) olarak zayıf kayalarda geçerli olan 10,6471 değeri esas alınmıştır. Yapılan deney sonuçlarına harç numuneleri için en düşük basınç dayanımı değeri 2,1 MPa, en yüksek değer ise 15,1 MPa olarak bulunmuştur (Oğuz vd. 2015). Çizelge 4.17'deki değerler, daha önce yapılmış olan bu çalışmalar ile kıyaslanırsa bulunan sonuçların bunlara yakın sonuçlar olduğu görülecektir.

4.6. Diğer Analizler

4.6.1. Renk analizi

Renk analizleri için fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmuş numunelerden 12 tanesi seçilmiş ve bu numuneler üzerinde analizler Bölüm 3.2.6'da anlatıldığı şekilde ölçümler yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4. 22. Numuneler üzerinde yapılan renk analizi sonuçları

Numune	L*	a*	b*
CP3	64,55	4,78	15,43
CH4	64,06	2,10	8,21
CH5	72,63	2,36	10,11
CH7	50,09	5,59	14,68
CH9	74,17	6,42	16,70
CH11	71,80	4,49	19,19
BP3	76,40	6,62	17,09
BH6	80,81	1,61	6,63
BH7	75,45	5,66	14,09
BH8	81,97	2,46	10,70
DH1	61,48	4,78	14,92
DP4	69,43	6,86	17,82

Çizelgede:

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

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

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

Çizelge incelendiğinde çeşme numunelerinin birbirinden farklı sonuçlar verdiği, Basilika ve Domus numunelerinin ise Çeşmeye kıyasla daha homojen bir dağılım gösterdiği görülebilir. Sonuçlar CIE renk uzayında değerlendirildiğinde; Çeşme Yapısının arka cephesinden alınan harç örneklerinde (CH7) daha koyu renk tonları hakimdir. Ön cepheden alınan örneklerde ise temele yakın numuneler (CP3, CH4, CH5), daha yuksekten alınan numunelere göre (CH9, CH11) biraz daha koyu sarımsı turuncu tonlardadır. Basilika yapısından alınan örnekler diğer yapılara göre daha açık renkli olup yine sarımsı turuncu tonlardadır. Domus numunelerinin biraz daha koyu renkli olmakla birlikte sarımsı turuncu tonlar orada da göze çarpmaktadır.



5. SONUÇLAR

Tarihi yapıların korunması ve restorasyonu bu eserlerin gelecek kuşaklara sağlam bir şekilde aktarılması açısından çok fazla disiplin ve özveri gerektiren bir iştir. Özellikle restorasyon sırasında yapılacak hatalar, yanlış uygulamalar yapıyı korumak yerine ona çok büyük ve kalıcı zararlar verebilmektedir. Bu çalışma tüm bunlar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Harç numunelerinin fiziksel özellikleri incelendiğinde, genel olarak; birim hacim kütlesinin $1,15-1,83 \text{ gr/cm}^3$, özgül kütlesinin $2,18-2,45 \text{ gr/cm}^3$, kütlece su emme yüzdesinin % 12-44, hacimce su emme yüzdesinin % 22-51, porozitesinin % 21-51, kompansitesinin % 49-79 aralığında olduğu görülmüştür.
2. Kimyasal analizler sonucunda; Numunelerin büyük bir çoğunluğunda numune yüzdesinin yarısını bağlayıcının oluşturduğu ve bağlayıcının agregaya oranının genel olarak 1/1 şeklinde olduğu görülmüştür. Numunelerin %80'inde herhangi bir tuz varlığına rastlanmamışken %20 kadarında klorür (Cl^-), sülfat (SO_4^{2-}), karbonat (CO_3^{2-}) ve nitrat (NO_3^{2-}) iyonları tespit edilmiştir.
3. Yapılan nokta yükleme deneyi sonuçlarına göre alınan numunelerin basınç dayanımlarının Çeşme yapısında en düşük 5 MPa, en yüksek 25 MPa, Bazilika için; en düşük basınç dayanımı 3 MPa, en yüksek değer 17 MPa Domus için ise 2 MPa ile 11 MPa arasında olduğu görülmüştür.
4. Mikro yapı analizleriyle numunelerin morfolojisi, boşluk yapıları, agrega-bağlayıcı arayüzey durumları, mineralojisi ve kristal yapısı gibi özellikleri belirlenmiştir. Numunelerde belli oranlarda Ca, Si, Al, Mg ve C varlığına rastlanmıştır. Ayrıca numunelerin kalsit ve kuvars içerdikleri saptanmıştır.
5. Termal analizler sonucunda Bazilika'dan alınan örneklerin BH6 dışında genel olarak hidrolik özellik gösterdiği, Çeşme ve Domus'tan alınan numunelerde ise sadece sıva örneklerinin (CP3 ve DP4) hidrolik özellik gösterip geri kalanların bu özelliği göstermediği görülmüştür.
6. Renk ölçümleriyle numunelerin görsel özellikleri matematiksel olarak değerlendirilmiştir. Çeşme numunelerinin ortalama L^* değeri (siyah/beyaz koordinatı) 66.2 ortalama a^* değeri (kırmızı/yeşil koordinatı) 4.3, ortalama b^* değeri (sarı/mavi koordinatı) 14.1 olarak bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla Bazilika için 78.7, 4.1, 12.12 Domus için ise 65.45, 5.81, 16.4 şeklindedir.

Sonuç olarak restorasyonda kullanılacak onarım harç ve sıvaları için yukarıda sayılan maddelerin göz önünde bulundurulması, tez kapsamında belirlenen malzeme özellikleri dikkate alınarak, aslına uygun üretilecek harçlarla onarımın gerçekleştirilmesi önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Akbulut Ekşi, D. 2006. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri. Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 178 s.
- Akcan, M. 2015. Harran Bölgesi Tarihi Harçların Fiziko-Kimyasal Ve Mineralojik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 226 s.
- Akman, M. S., Güner, A. ve Aksoy, İ. H. 1986. Horasan harcı ve betonun tarihi ve teknik özellikleri. 2. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, Cilt 1, ss. 101-112, 28 Nisan - 2 Mayıs, İstanbul.
- Akman, M. S. 1987. Yapı Malzemeleri - İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akman, M. S. 1997. Building Materials in Early Ages of Mankind. International Conference on Studies in Ancient Structures. ss.177-186, 16 Nisan, Y.T.Ü. , İstanbul
- Akman, M. S. 2003. Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426:30-36.
- Aköz, F. ve Yüzer, N. 2005. Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Cilt 2, ss. 225-235, 22-24 Eylül, T.M.M.O.B. Antalya Şubesi, Antalya.
- Alberti, L. B. 1965. Ten Books on Architecture. J. Leoni. London, 149 p.
- 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, pp. 37-42, 12-14 May, Paisley, Scotland.
- Anonim 1: <http://merlab.metu.edu.tr/x-isini-difraktometresi> [Son erişim tarihi: 12.01.2019].
- Anonim 2: <https://daytam.atauni.edu.tr/?ts-portfolio=xrd> [Son erişim tarihi: 12.05.2019].
- Arıkan B. 2009. Patara Hurmalık Hamamı Antik Yapı Malzemelerinin Mikroanaliz Teknikleri ve Spektroskopik Yöntemlerle Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 117 s.

- Bachmann, M., 2016. Aspendos, Türkei: Die Arbeiten der Jahre 2012 bis 2014. *Elektronische Publikationen Des Deutschen Archäologischen Institut*, 2016(1): 137-141
- Bıçakçı, E., 2005. Tarih Öncesi Devirlerde Malzeme ve Mimarlık. Geçmişten Geleceğe Anadolu'da Malzeme ve Mimarlık Sempozyumu, UIA 2005 XXII. Dünya Mimarlık Kongresi, ss.19-60, 4-5 Temmuz, İ.T.Ü., İstanbul.
- Bianchini, G., Marrocchino, E. and Vaccaro, C. 2003. Chemical And Mineralogical Characterization of Historic Mortars In Ferrara (Northeast Italy). *Cement and Concrete Research*, 34: 1471-1475.
- Borrelli, E. 1999. Binders: ARC Laboratory Handbooks. Vol. 3 ICCROM. S.p.A. Pres, Roma, 8 p.
- Borrelli, E. and Umland, A. 1999. Laboratory Handbook; Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials. ICCROM. Rome, 99 p.
- Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B. 2004. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269: 90-95.
- Böke, H., Çizer, Ö., İpekoğlu, B., Uğurlu, E., Serifaki, K. and Toprak, G. 2008. Characteristics of Lime Produced From Limestone Containing Diatoms. *Construction and Building Materials*, 22: 866-874.
- Caner, E., Demirci, S. and Türkmenoğlu, A. G. 1985. Deterioration of Dolomite By Soluble Salts In Divriği Great Mosque, Turkey. 5th Internationalcongress on Deterioration and Conservation of Stone, Vol. 1, pp. 299-305, Lausanne, Switzerland.
- Ciach, T. D. and Penkale, B. 1984. Methods of Investigation For Mortars From The Ancient and Early-Medieval Buildings. 7th Triennial Meeting, pp. 68-73, 10-14 September, ICOM Committee For Conservation, Copenhagen.
- Cliver, E. B. 1974. Test For The Analysis of Mortars Samples. *Bulletin of The Association For Preservation Technology*, 6(3): 68-73.
- Duffy, A. P., Copper, T. P. and Perry, S. H. 1993. Repointing mortars for conservation of a historic stone building in Trinity College, Dublin. *Materials and Structures*, 26(5): 302-306.
- Ekinci, S., Deniz, Ö.Ş. ve Volkan-Gür, N. 2012. Yapı Kültürü ve Tasarım Verileri Işığında “Kâgir Yığma Dış Duvarların” Tarihsel Gelişimi. 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12-13 Nisan, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Elsen, J., Brutsaert, A., Deckers, M. and Brulet, R. 2004. Microscopical Study of Ancient Mortars from Tournai (Belgium). *Materials Characterization*. 53: 289-294.

- Erdoğan, T. Y. 2004. Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 277 s.
- Erdoğan, S. T. ve Erdoğan, T. Y. 2007. Pozolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, ss. 264-275, 12-13 Nisan, Ankara.
- Erdoğan, O. 2018. Pampylia Lyrboton Kome Kırsal Yerleşimi: Geç Antik Çağda Yerleşim Kurgusu ve Mimarlık. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, 298 s.
- Ersen, A. 1991. Taş Koruma Kuramı ve Uygulamalarının Evrimi. Doçentlik Tezi, İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Restorasyon Anabilim Dalı (yayınlanmamış), 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, pp. 15-27, 19-21 June, Rome, Italy.
- Eyice, S. 2006. Tarih Boyunca İstanbul. Etkileşim Yayınları, İstanbul, 276 s.
- Güleç, A. 1992. Bazı tarihi anıt harç ve sıvalarının incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 135 s.
- Güleç, A. and Tulun, T. 1997. Physico Chemical And Petrographical Studies of Old Mortars And Plasters Of Anatolia. *Cement and Concrete Research*. 27 (2): 227-234.
- Gülmez, S. 2005. Antik Yapılarda Kullanılan İnşaat Malzemeleri ve Bu Malzemelerin Özelliklerinin Mineralojik, Petrografik, Kimyasal, Fiziksel, Mekanik ve Tahribatsız Deney Yöntemleri Kullanılarak Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 132 s.
- Güney, B. A. 2012. Development Of Pozzolanıc Lime Mortars For The Repair Of Historic Masonry. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 95 s.
- Gürdal, E. ve Acun, S. 2004. Mineral Esaslı Sıvalarda Polipropilen Lif katkısının Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. 2. Ulusal Yapı malzemesi Kongre ve Sergisi, ss. 123-134, 6-8 Ekim, İ.T.Ü. Taşkışla, İstanbul
- Holmstrom, I. 1981. Mortars, Cements and Grouts For Conservation and Repair, Some Urgent Needs of Research. Mortars, Cements and Grouts Used in Theconservation of Historic Buildings Symposium 3, ss. 19-24, 3-6 November Rome, Italy.
- Jedrzejewska, H., 1960. Old mortars in Poland: A new method of investigation. *Studies in Conservation*, 5: 132-138.
- Kahraman, G. 2008. Erken Bizans dönemi horasan harçlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 156 s.

- Kahraman Altaş, G., Acun Özgünler, S. ve Güldal, E. 2012. İstanbul'daki Roma dönemi saray yapılarındaki horasan harçlarının incelenmesi. *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 4:41-49.
- Kapur, S. ve Binici, H. 2016. The Physical, Chemical, And Microscopic Properties Of Masonry Mortars From Alhambra Palace (Spain) İn Reference To Their Earthquake Resistance. *Frontiers of Architectural Research*: 5: 101–110
- Kaviak, T. 1990. Gypsum mortars from a twelfth century church in Wislica, Poland. *Studies in Conservation*, 36: 142-150.
- Kılınçkale, F. M. 1996. Çeşitli puzolanların puzolanik aktivitesi ve bu puzolanlarla üretilen harçların dayanımı. *İMO Teknik Dergi*, 7(3): 1217-1229.
- Kozlu, H. H. 2010. Kayseri yöresindeki tarihi harçların karakterizasyonu ve onarım harçlarının özellikleri. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 335 s.
- Köse, V. 2009. Aspendos Yüzey Araştırması Projesi 2008 Yılı Birinci Sezon Çalışmaları. 27. Araştırma Sonuçları Toplantısı, ss. 373-394, 25-29 Mayıs, Denizli.
- KUDEB, 2011. Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarları, Restorasyon Konservasyon Çalışmaları. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü, İstanbul, 147 s.
- Kuleli, A. E. 2005. Efes Yamaçevler 2'de, 1, 2 ve 4 nolu evler örneğinde Roma Dönemi harçları araştırması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 180 s.
- Kurugöl, S. 2010. Tarihi Kütahya Kalesi Tuğlalarının Mekanik Özelliklerinin ve Puzolanik Aktivitelerinin İncelenmesi. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1): 13-26.
- Lea, F. M. 1970. The Chemistry of Cement. Ed. Edward Arnold Publisher Limited, London, 727 p.
- Lewin, S. Z. 1981. X-Ray Diffraction and Scanning Electron Microscope Analysis of Conventional Mortars. Mortars, Cements and Grouts Used in Theconservation of Historic Buildings Symposium 3, pp. 101-132, 3-6 November, Rome, Italy.
- Massazza, F., 1989. Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları (Seminer). Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 55 s.
- Mistakidou, E., Markopoulos, T. H. and Alevizos, G. 2001. Synthesis of Mortars for Use in the Repair and Maintenance of Historic Buildings and Monuments in the Island of Crete, Greece. Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures, ss. 531-539, 9-13 July, Y.T.Ü., İstanbul,.
- Moropoulou, A., Bakolas, A. and Anagnostopoulou, S. 2005. Composite Materials in Ancient Structures. *Cement&Concrete Composites*. 27:295-300.

- Oğuz, C. 2013. Myra ve Limanı Andriake’de Kullanılan Özgün Malzeme Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 410 s.
- Oğuz, C., Türker, F., Koçkal, N. U. 2015. Andriake Limanı’nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri. *İMO Teknik Dergisi*, 26(1): 6993-7013.
- Özer, Z. 2011. Seramik Bazlı Çok Katmanlı Sistemlerin Fiziko Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 189 s.
- Özkaya Aslan, Ö. 2005. Properties of Roman Bricks and Mortars Used in Serapis Temple in Bergama. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 121 s.
- Papayianni, I. and Stefanidou, M. 2007. Durability aspects of ancient mortars of the archeological site of Olynthos. *Journal of Cultural Heritage*, 8:193-196.
- Polat Pekmezci, I. 2012. Çukurova Bölgesindeki (Kilikya) Bazı Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Karakterizasyonu Ve Onarım Harçları İçin Öneriler. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 226 s.
- Rezaei, D. 2007. Büyük Selçuklu’dan Günümüze İntikal Eden Mimari Gelenek Ve Bunların Günümüz Restorasyonlarında Kullanımı. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 163 s.
- RILEM, 1978. Determination of Mortar Consistence. 13-MR Committee on Mortars and Renderings, Tecnical Report, Sweden.
- 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.
- Rossi Doria, P.R. 1990. Report On The RILEM Workshop 'Ancient Mortars and Mortars for Restoration'. *Materials and Structures*, 23: 235-238.
- Ruskin, J. 1849. The Seven Lamps of Architectura. Smith, Elder and Co., London, 205 p.
- Sağın Uğurlu, E. ve Böke, H. 2010. Koruma Amaçlı Üretilcek Horasan Harç ve Sıvalarda Kullanılacak Kirecin ve Tuğlaların Özellikleri. 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, ss. 385-396, 3-5 Kasım, İTÜ Taşkışla, İstanbul.
- Swallow, P. and Carrington, D. 1995. Limes And Lime Mortars. *Journal of Architectural Conservation*, 3(1): 2-25.
- Şahin E. 2018. Aspendos’un Aphrodite Kastnietis Kültü. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 199 s.

- Tekin, Ç. ve Kurugöl, S. 2012. Çeşitli Organik Katkıların Kirecin Karbonizasyonu Üzerindeki Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4: 717-728.
- Temizel, K. E. 1998. Samsun İli Bafra İlçesi Kızılırmak Havzasındaki Doğal Agregalarından Alınan Agregaların ve Bu Agregalardan Üretilen Betonun Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 69 s.
- TS 699. 2009. Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 42 s.
- TS EN 1936. 2001. Doğal Taşlar Deney Metotları: Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10 s.
- Tunçoku, S. S. 2001. Characterization of Masonary Mortars Used İn Some Anatolian Seljuk Monuments İn Konya, Beyşehir and Akşehir. Doktora Tezi, O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 128 s.
- Uğurlu, E. ve Böke, H. 2006. Osmanlı Dönemi Hamam Yapılarında Kullanılan Horasan Sıvalarının Özellikleri. 3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, , ss. 585 596, 15-17 Kasım, İstanbul.
- Ulukaya, S. 2016. Tarihi Kireç Harcı Özelliklerine Uygun Yeni Malzemelerin Üretimi Ve Sayısal Analiz İçin Malzeme Parametrelerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Winfield, D. 1964. A Report On Some Work On Byzantine Wall Paintings At Eski Gümüş, Turkey, 1962-1963. *IIC News: The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, 3: 11-12.
- 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.
- Vicat, L. J. 1997. A Practical and Scientific Treatise on Calcerous Mortars and Cements, Artificial and Natural. John Weale Architectural Library, İngiltere, 342 p.
- Vitruvius, 1998. Mimarlık Üzerine On Kitap, YEM Yayınevi, İstanbul, 240 s.
- Yüzer, N., Ulukaya, S. ve Hazar Yoruç, A. B. 2011. Tarihi Yapılarda Özgün Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi Üsküdar'da Aspidal Yapı Örneği. Tarihi Yapıları Koruma ve Onarım Sempozyumu (TAYKON), ss. 500-509, 26-29 Ekim, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- 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 Harç ve Sıva Numunelerinin SEM-EDX Sonuçları

Ek-3 Harç ve Sıva Numunelerinin XRD Sonuçları

Ek-4 Harç ve Sıva Numunelerinin TG-DTA Sonuçları



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



T.C.
KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü



17 Haziran 2016

Sayı : 94949537-160.01.01 (07) **113569**
Konu : Antalya İli, Serik İlçesi, Aspendos Antik Kenti
2016 Yılı Kazı İzni

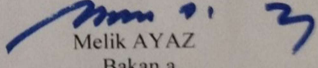
Sayın Doç. Dr. Veli KÖSE
Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Fakültesi
Arkeoloji Bölümü,06800
Beytepe/ANKARA

İlgi : Hacettepe Üniversitesi Rektörlüğü'nün 30/12/2015 tarih ve 35853172/150-3639 sayılı yazısı.

Antalya İli, Serik İlçesi, Aspendos Antik Kenti'nde [Proje Numarası-BK010707(2016)], Bakanlığımız ve Hacettepe Üniversitesi adına Doç. Dr. Veli KÖSE başkanlığında yapılan çalışmalara, ilgi başvuru ekinde yer alan çalışma programı ve Ek-3 harita kapsamında, ekli listede belirtilen heyet üyeleri ile 2016 yılında devam edilmesi Bakanlığımızca uygun görülmüştür.

Söz konusu çalışmaya Akdeniz Üniversitesi, Öğretim Üyesi Doç. Dr. Dinçer Savaş Lenger'in Kazı Başkan Yardımcısı olarak katılması uygun görülmüş olup, Bakanlık Temsilcisi olarak Balıkesir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü uzmanı Funda KARAPINAR görevlendirilmiştir.

1-Kazı başlangıç tarihinin temsilcimize ve ilgili birimine en az bir hafta önceden yazılı olarak bildirilmesi,
2-Yazımız ekindeki ruhsatnamelerden birinin alıkonulup, diğerinin imzalanarak **çalışmaya başlanmadan önce** iade edilmesi,
3-Kazıda çalıştırılan işçilerin temini ile bunlara ilişkin her türlü mali işlemlerin kazı başkanı tarafından mahallinde gerçekleştirilmesi,
4-Kazı harcamalarının öncelikle Kültür Varlıkları İhale Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri kapsamında Bakanlık Temsilcisinin de yer aldığı komisyon marifetiyle yerine getirilmesi,
5-Söz konusu çalışmaların ilgili mevzuat kapsamında, **çevre düzeni, koruma, restorasyon, konservasyon ve yayın ağırlıklı olarak** gerçekleştirilmesi hususlarında bilgilerinizi rica eder, çalışmalarınızda başarılar dilerim.


Melik AYAZ
Bakan a.
Genel Müdür Yardımcısı V.

EKLER:
1- Ekip Listesi (1 sayfa)
2- Ruhsatname (2 adet)
3- Harita (1 Adet)

DAĞITIM:
- Hacettepe Üniversitesi Rektörlüğüne (Ek konulmadı)
- Doç. Dr. Veli KÖSE
- Doç. Dr. Dinçer Savaş Lenger (Ek-2 konulmadı)



İl. T.B.M.M. 06050 Ulus / Ankara
www.kulturturizm.gov.tr

Tel: (0312) 508 60 00 Faks: (0312) 508 61 59
E-Posta: kazilar@kulturturizm.gov.tr

Ek-1

ASPENDOS ANTİK KENTİ 2016 YILI EKİP LİSTESİ	
1. Doç. Dr. Veli KÖSE	(Kazı Başkanı)
2. Doç. Dr. Dinçer Savaş LENER	(Kazı Başkan Yardımcısı)
3. Prof. Dr. Tahsin Atilla ÇİNER	(Jeoloji Mühendisi)
4. Prof. Dr. Yılmaz Selim ERDAL	(Antropolog)
5. Doç. Dr. Kürşad Kadir ERİŞ	(Jeoloji Mühendisi)
6. Doç. Dr. Mehmet Akif SARIKAYA	(Jeoloji Mühendisi)
7. Doç. Dr. Cengiz YILDIRIM	(Jeomorfolog)
8. Yrd. Doç. Dr. Yiğit Hayati ERBİL	(Arkeolog)
9. Dr. Melahat Işlay GÜRSU	(Kült. Miras Yön. Uzmanı)
10. Dr. Orkan ÖZCAN	(Hidrojeoloji Mühendisi)
11. Dr. Ercan ERKUL	(Jeofizikçi)
12. İlyas EREN	(Arkeolog)
13. Elif ŞAHİN	(Arkeolog)
14. Ertan ŞEHİT	(Arkeolog)
15. Uğurcan YILDIRIM	(Arkeolog)
16. Burcu ALICI	(Restorantör)
17. Elif ALTIN	(Eski Çağ Tarihçisi)
18. Naim IŞIK	(İnşaat Mühendisi)
19. İsmail KAPLANVURAN	(Jeofizikçi)
20. F.Emrah KÖŞKEROĞLU	(Restorantör)
21. Sefa ÇİÇEKLI	(Eski Çağ Tarihçisi)
22. Ezgi ATÇAKAN	(Mimar)
23. Gönül Ayça ORHON	(Mimar)
ÖĞRENCİLER:	
1. Salih ALBAT	
2. Nadire ASLAN	
3. Gamze ÇANDIR	
4. Faruk ÖZKAYA	
5. Hüseyin SEVİM	
6. Eda SEZER	
7. Nuryah SÖĞÜT	
8. Hakan TARIHAN	
9. Özgü YALNIZ	
10. Yasin GENÇ	
11. İki ÖZTÜRK	
12. Emre AY	
13. Gökhan KAYIŞ	
YABANCI EKİP ÜYELERİ	
1. Prof. Dr. Stephen MITCHELL	(Eski Çağ Tarihçisi)
2. Prof. Dr. Harald Wilhelm Helmut STÜMPER	(Jeofizikçi)
3. Prof. Dr. Dirk Martin BACHMANN	(Eski Çağ Tarihçisi)
4. Dr. Lutgarde VANDEPUT	(Arkeolog)
5. Simon James YOUNG	(Arkeolog)
6. Valentin BAHRE	(Öğrenci)
7. Birte DRIEHAUS	(Öğrenci)
8. Helene-Sophie HILBERT	(Öğrenci)
9. Manuel ZOLCHOW	(Öğrenci)

Ek-1

EXPONANT
ANTALYA

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

SAYI : 77492378/155.01/2134
KONU : Eser Kaydı

22.8./2016

Doç. Dr. Veli KÖSE
Aspendos Kazı Başkanı
ANTALYA

İLGİ: 17.08.2016 tarihli dilekçeniz.

Antalya İli, Serik İlçesine bağlı Belkıs'ta bulunan Aspendos Antik Kenti Kazısı 2016 yılı çalışmalarında analiz yaptırmak amacıyla toplanan 32 poşet içinde 30 poşet harç örneği ile 2 poşet tuğla örneği 2017 kazı sezonunda geri getirilmek üzere Aspendos Kazı Başkanlığına verilmesine ilişkin ilgi yazı gereği söz konusu parçalar Müdürlüğümüzce incelenmiş olup, hazırlanan belgeler ektedir.

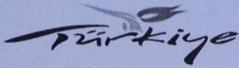
Bilgilerinize rica ederim.

Mustafa DEMİREL
Müze Müdürü

EKLER:
1-Komisyon Raporu (1 Adet)
2-Dilekçe Örneği (1 Adet)
3-Teslim Tutanağı (1 Adet)
4- Komisyon Rapor Formu (1 Adet)
5-Kutu (2 Adet)

DAĞITIM
Gereği:
-Doç Dr. Veli KÖSE
Aspendos Kazı Başkanı
Ek:(1,3,5)

Bilgi:
İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü/Antalya
Ek: (1,2,3,4)



Bahçelievler Mahallesi Konyaaltı Cad. No:88 07050/ANTALYA Ayrıntılı bilgi için irtibat:
Tel:0242.238 56 88-89 Fax :0242 238 56 87
Elektronik Ağ: www.antalyamuzesi.gov.tr e-posta: info@antalyamuzesi.gov.tr

Ek-1

R A P O R

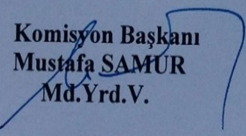
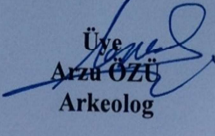
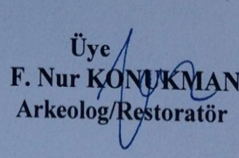
MÜZE MÜDÜRLÜĞÜNE
ANTALYA

İLGİ: Aspendos Kazısı Başkanı Doç. Dr. Veli KÖSE'nin 17.08.2016 tarihli başvuru yazısı.

Antalya İli, Serik İlçesine bağlı Belkıs'da bulunan Aspendos Antik Kentinde Doç. Dr. Veli KÖSE başkanlığındaki ekip tarafından 2016 yılı çalışmalarında Agoranın kuzeyinde yer alan Çeşme yapısından, Domus ismiyle adlandırılan ve Agoranın batısında yer alan bir alandaki duvarlardan ve de Bazilika yapısının Vestibulumu'ndan harç ve tuğla analizlerinin yaptırılması için 32 poşet içinde ikisi tuğla, 30 poşeti harç olan analiz örneklerini konu alan ilgi başvuru gereği, Müdürlüğümüzce oluşturulan komisyonca incelenmiştir.

2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu kapsamında bulunan Kültür ve Tabiat Varlıklarıyla İlgili Yapılacak Yüzey Araştırması, Sondaj ve Kazı Çalışmalarının Yürütülmesi Hakkındaki Yönerge'nin 13. Maddesinin (e) ve (f) fıkrası kapsamında analiz parçalarının çalışma yapıldıktan sonra 2017 kazı sezonunda geri getirilmek üzere 32 poşet içinde ikisi tuğla, 30 poşeti harç analiz malzemelerinin Aspendos Kazısı Başkanı Doç. Dr. Veli KÖSE'ye verilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır.

Bilgilerinize arz ederiz. **22.08.2016**

 Komisyon Başkanı Mustafa SAMUR Md.Yrd.V.	 Üye Arzu ÖZÜ Arkeolog	 Üye F. Nur KONUKMAN Arkeolog/Restoratör
---	--	--

EKLER:

- 1-Teslim Tutanağı(1sayfa)
- 2-Fotoğraf (1 sayfa)
- 3-2 Kutuda (32 poset)
- 4-Dilekçe Örneği (1 sayfa)

Ek-1

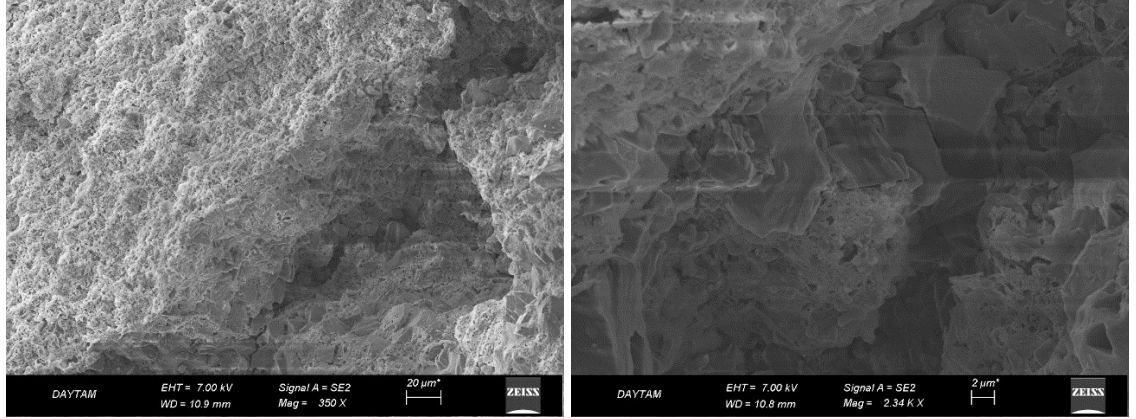
TUTANAK

Antalya İli, Serik İlçesine bağlı Belkıs'da bulunan Aspendos Antik Kenti 2016 yılı kazı çalışmaları sonucu alınan 2 kutu içerisindeki analiz malzemeleri müze mührü ile mühürlenerek Aspendos Kazısı Başkanı Doç. Dr. Veli KÖSE'ye teslim edilmiştir.

İş bu tutanak tarafımızca düzenlenmiştir.22.08.2016

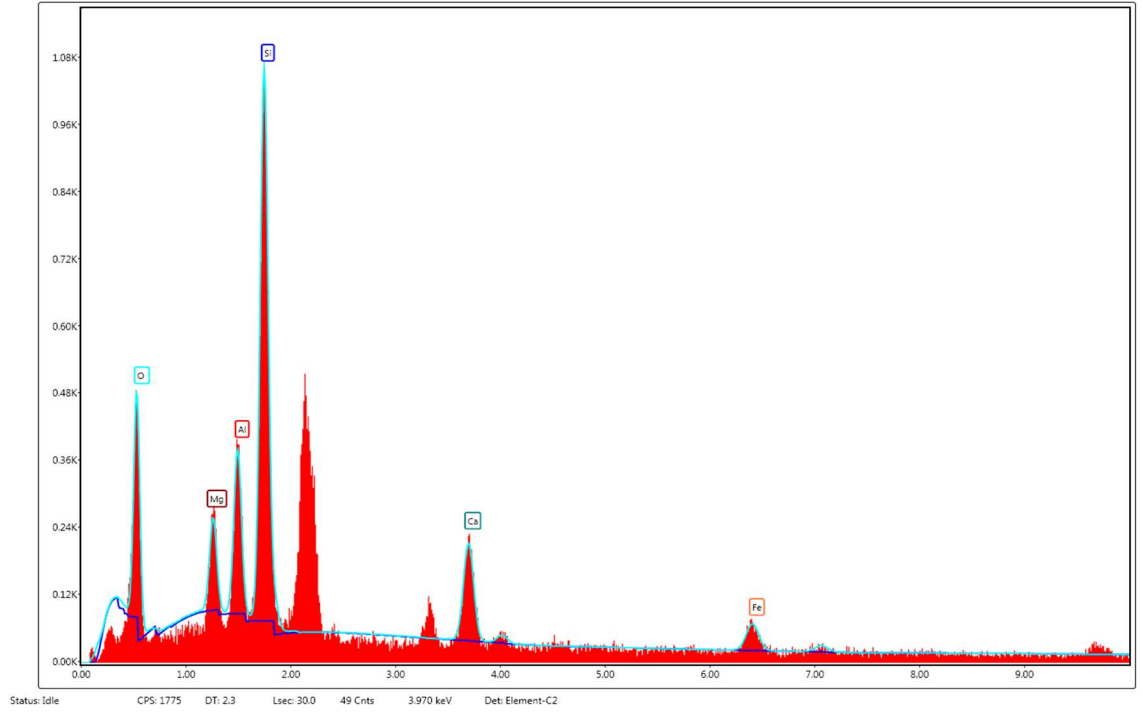
Teslim Eden**Mustafa SAMUR****Müdür Yrd.V.****Teslim Alan****Doç. Dr. Veli KÖSE****Kazı Başkanı**

Ek-2 Harç ve Sıva Numunelerinin SEM-EDX Sonuçları



Şekil Ek-2. 1. CH2 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



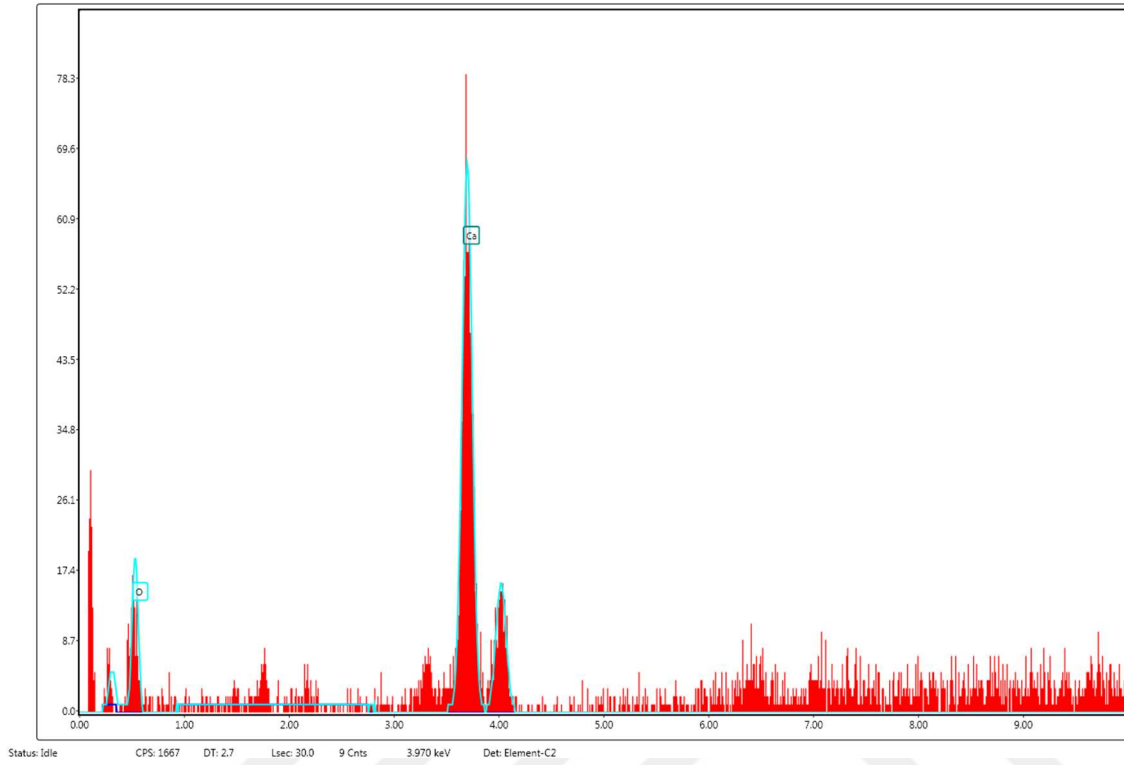
Şekil Ek-2. 2. CH2 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 1. CH2 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	27	5,4	9,3	32,1	13,7	12,5

Ek-2

Bağlayıcı kısmı

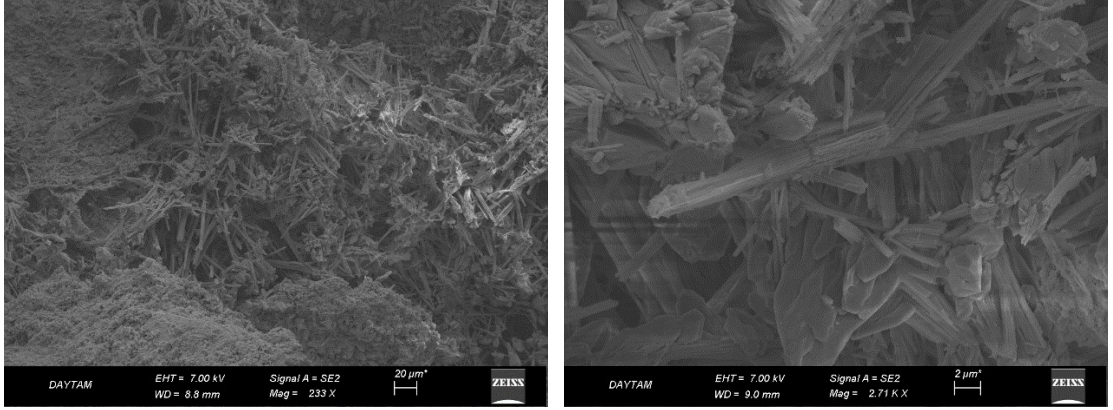


Şekil Ek-2. 3. CH2 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 2. CH2 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

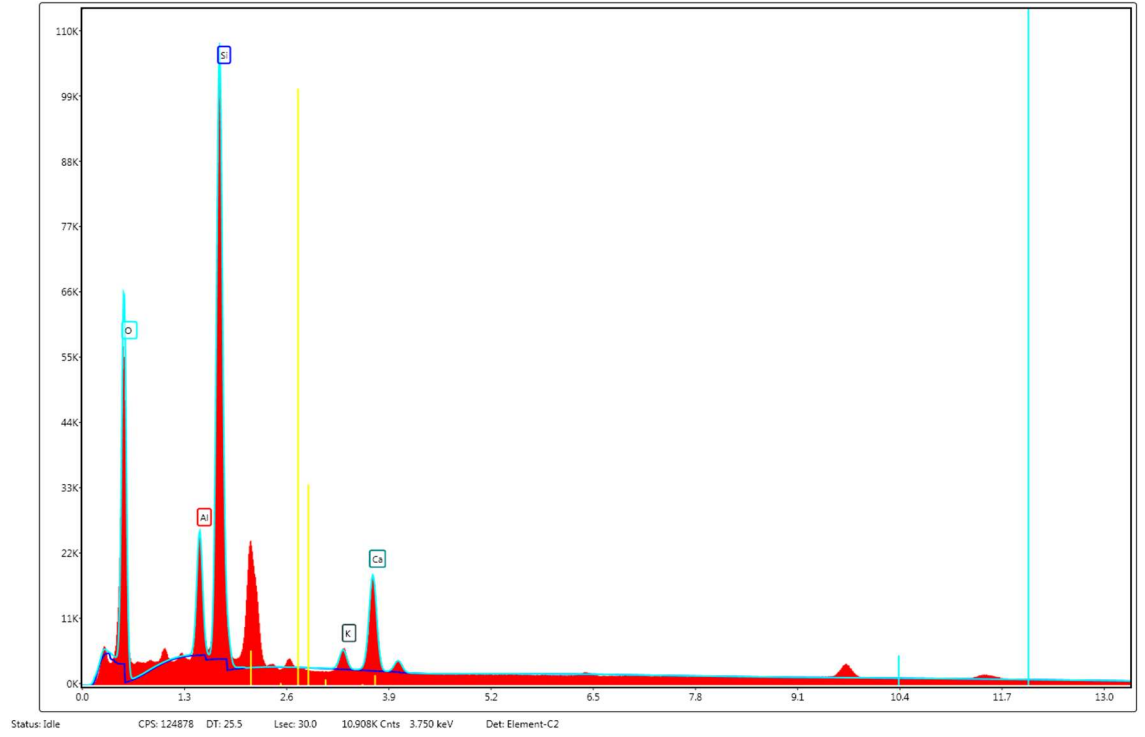
Element	O	Ca
Wt %	36,1	63,9

Ek-2



Şekil Ek-2. 4. CP3 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



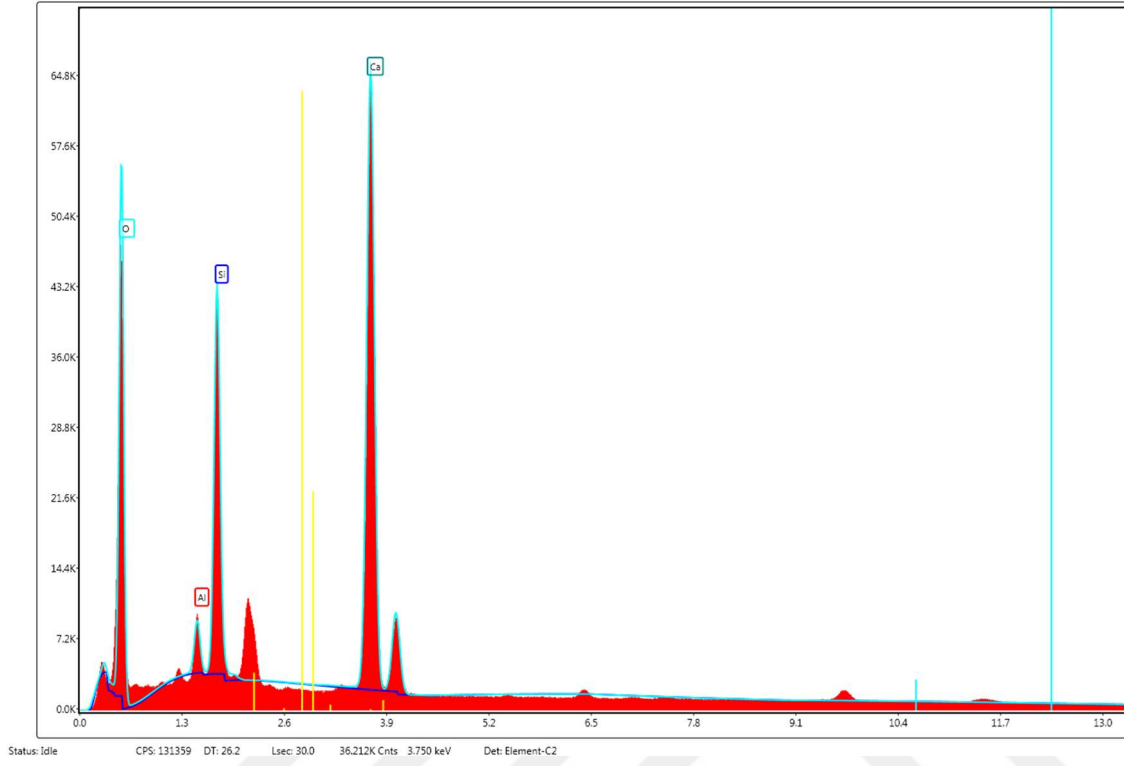
Şekil Ek-2. 5. CP3 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 3. CP3 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Al	Si	K	Ca
Wt %	50,7	6,4	30,9	1,7	10,3

Ek-2

Bağlayıcı kısım

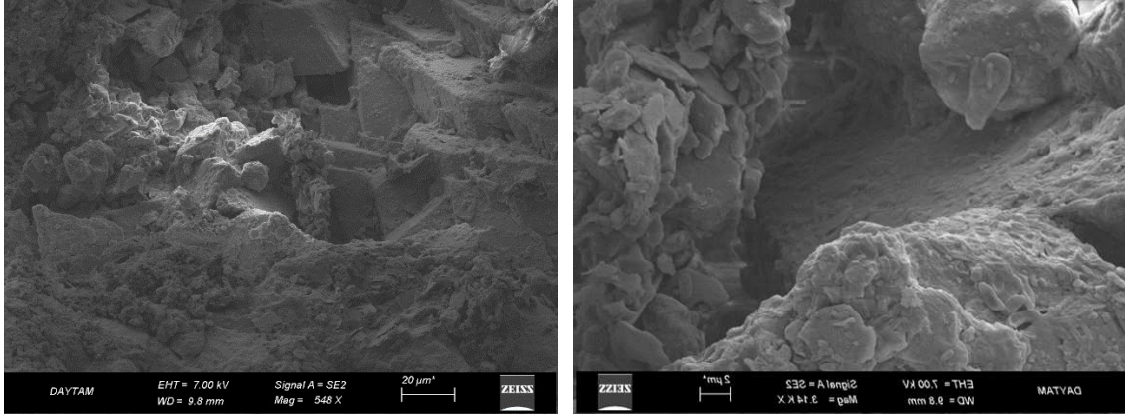


Şekil Ek-2. 6. CP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 4. CP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

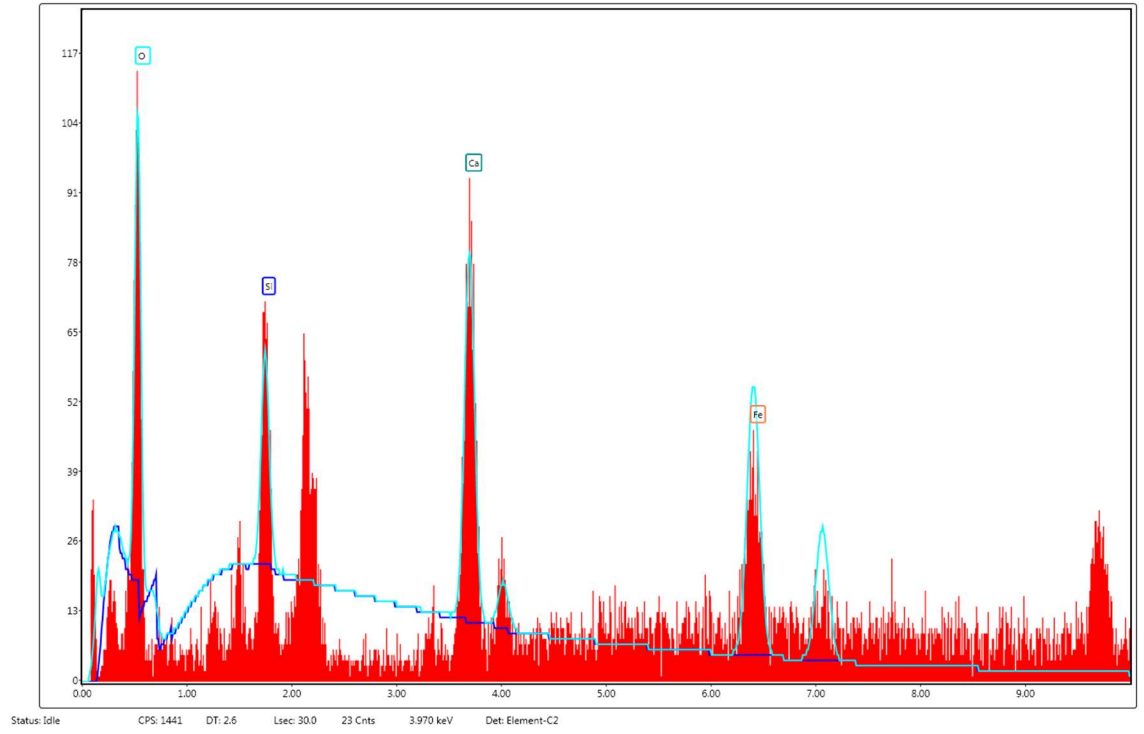
Element	O	Al	Si	Ca
Wt %	55,8	1,6	10,2	32,4

Ek-2



Şekil Ek-2. 7. CH7 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



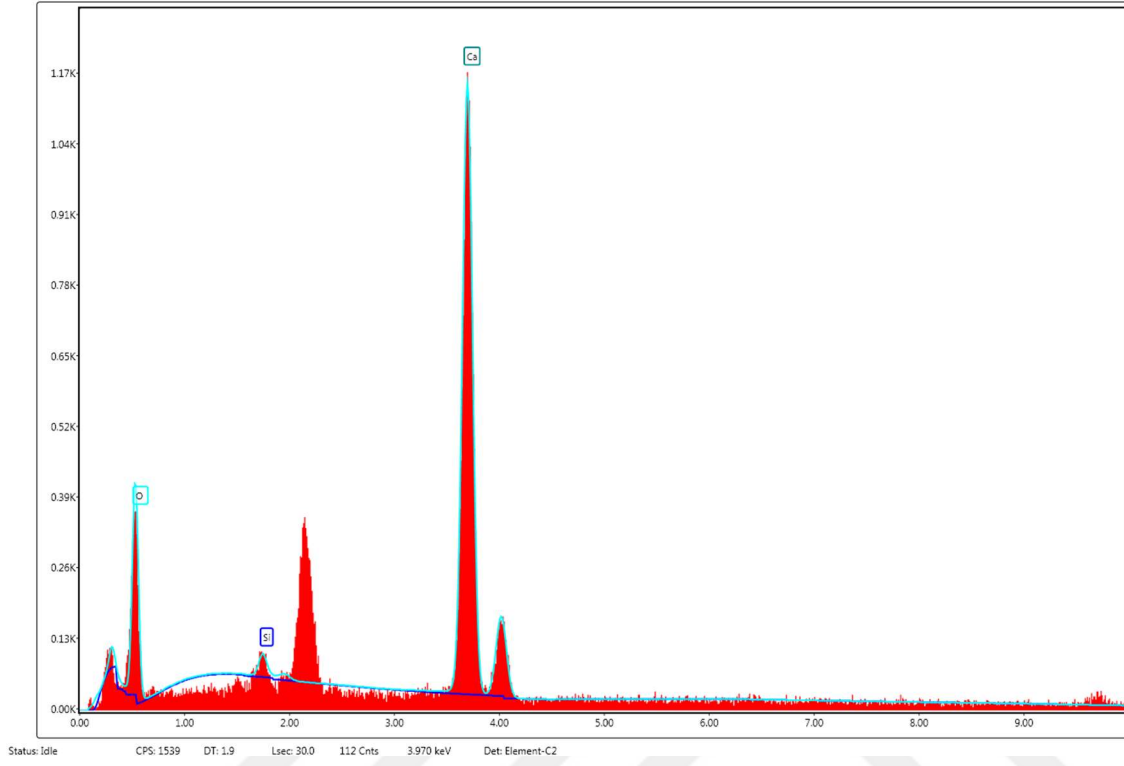
Şekil Ek-2. 8. CH7 numunesi agregası EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 5. CH7 numunesi agregası EDX analizi sonuçları

Element	O	Si	Ca	Fe
Wt %	19,5	5,6	20,6	54,2

Ek-2

Bağlayıcı kısım

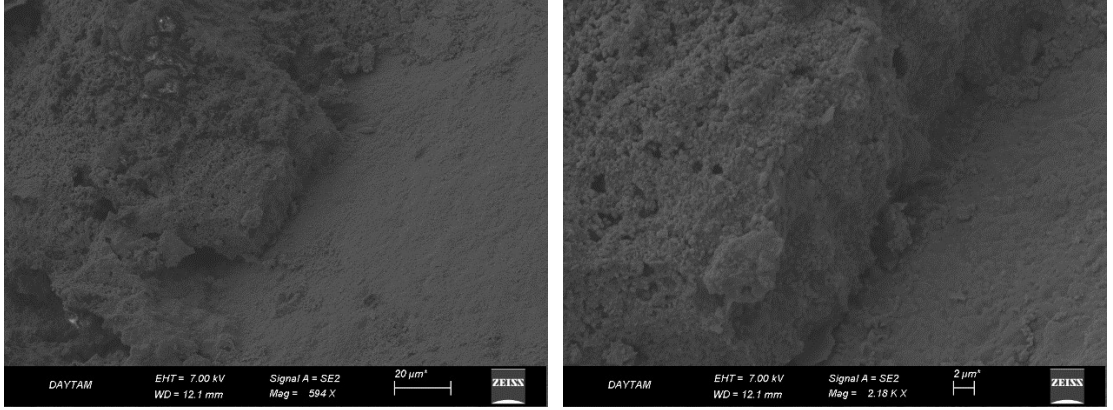


Şekil Ek-2. 9. CH7 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 6. CH7 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları

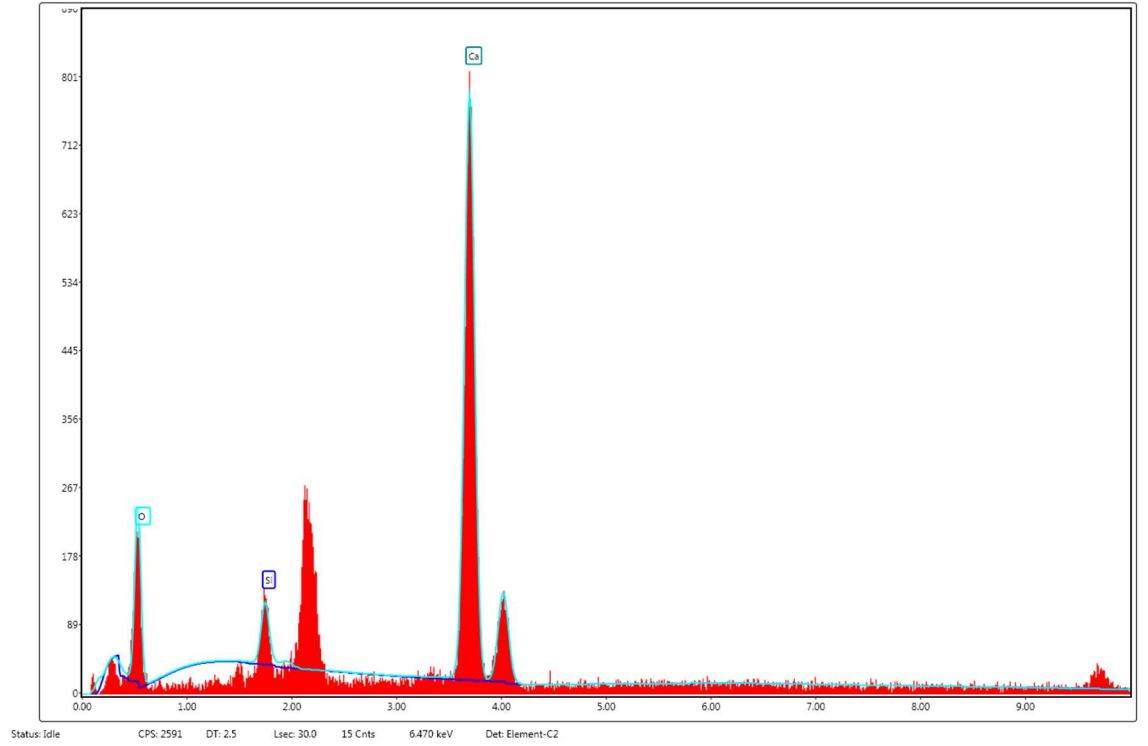
Element	O	Si	Ca
Wt %	35,7	0,9	63,4

Ek-2



Şekil Ek-2. 10. CH8 numunesi SEM görüntüleri

Bağlayıcı kısım

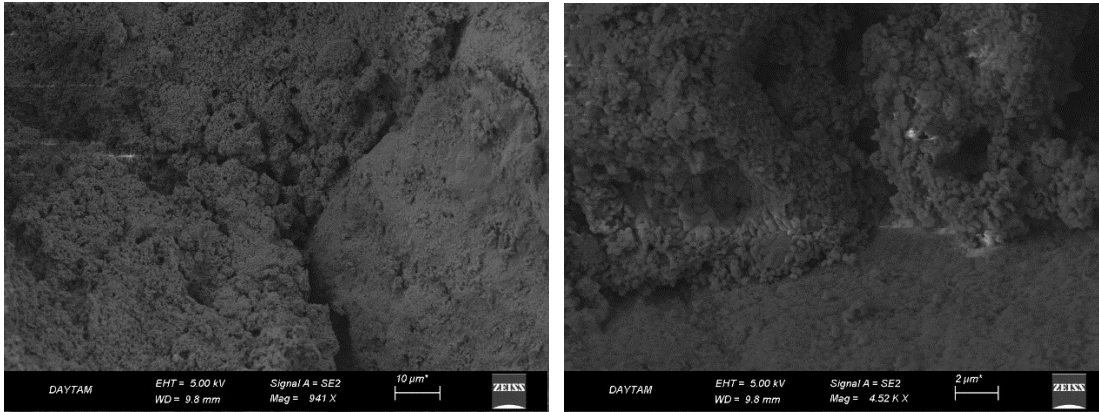


Şekil Ek-2. 11. CH8 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 7. CH8 numunesi EDX analizi sonuçları

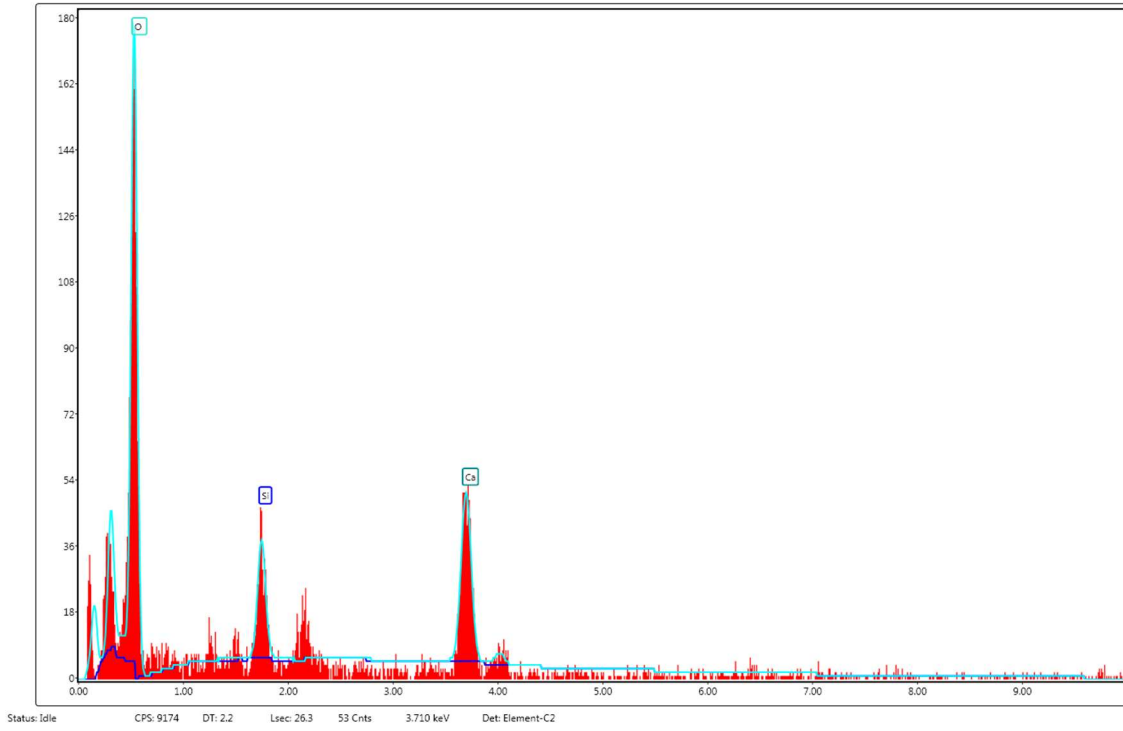
Element	O	Si	Ca
Wt %	31,7	2,6	65,7

Ek-2



Şekil Ek-2. 12. CH11 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı

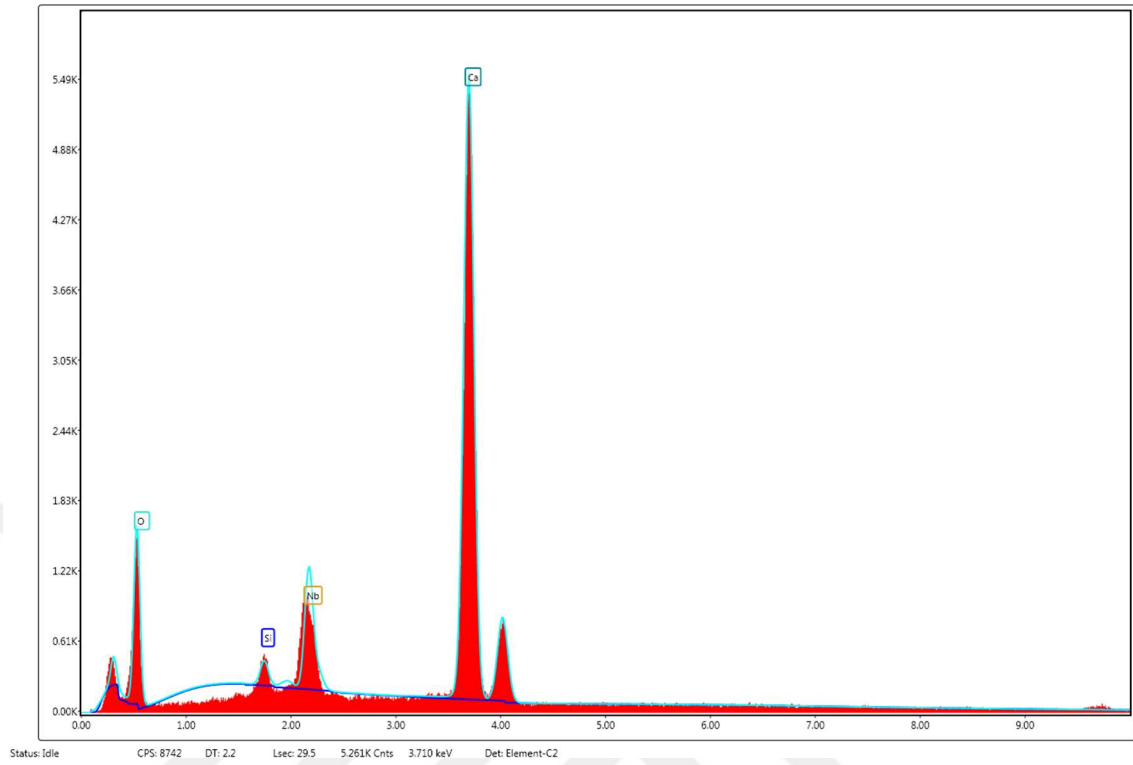


Şekil Ek-2. 13. CH11 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 8. CH11 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Si	Ca
Wt %	70,1	6,5	23,4

Ek-2

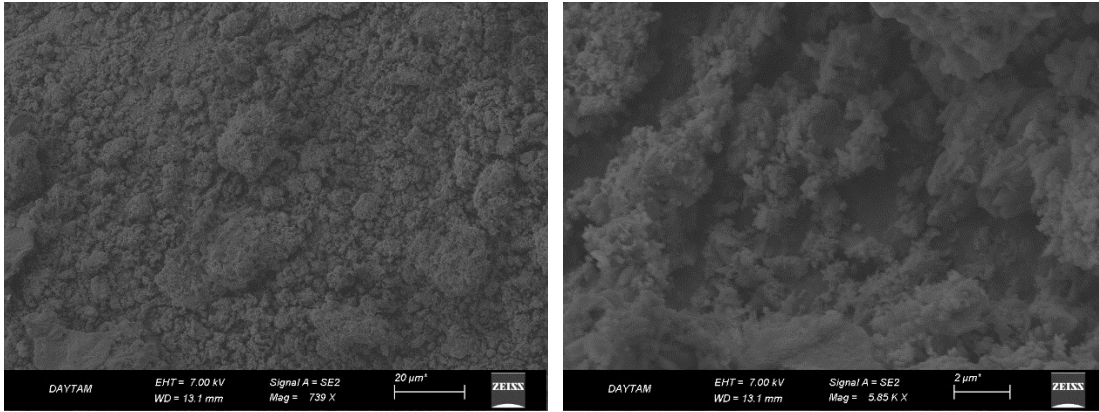


Şekil Ek-2. 14. CH11 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 9. CH11 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

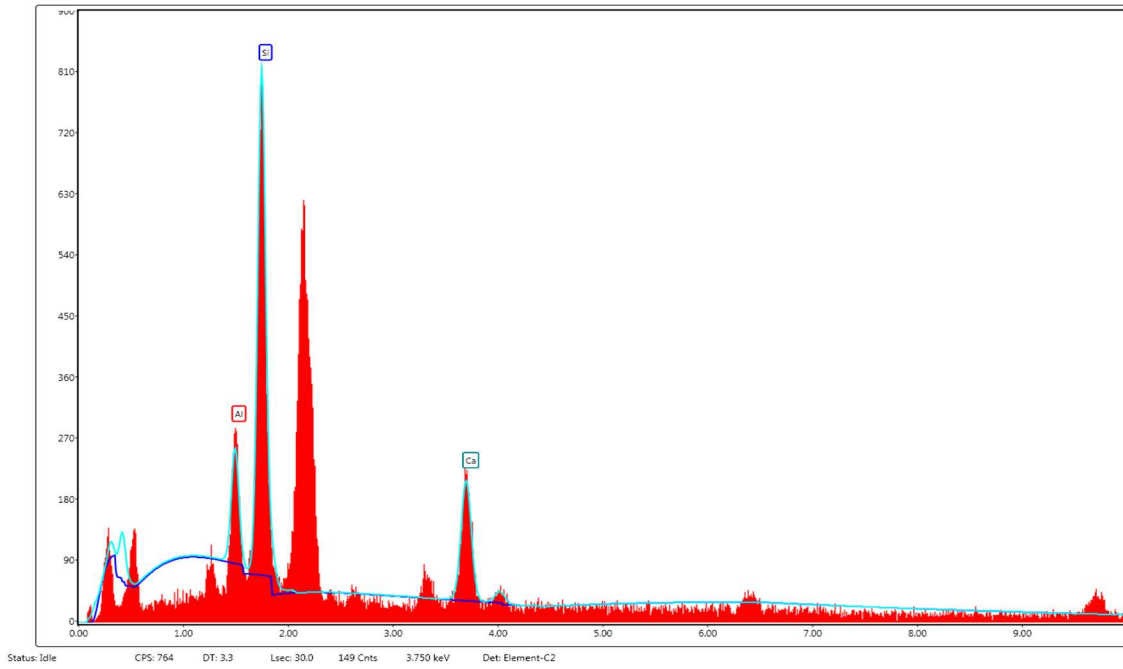
Element	O	Si	Nb	Ca
Wt %	31,3	0,9	10	57,8

Ek-2



Şekil Ek-2. 15. CH12 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



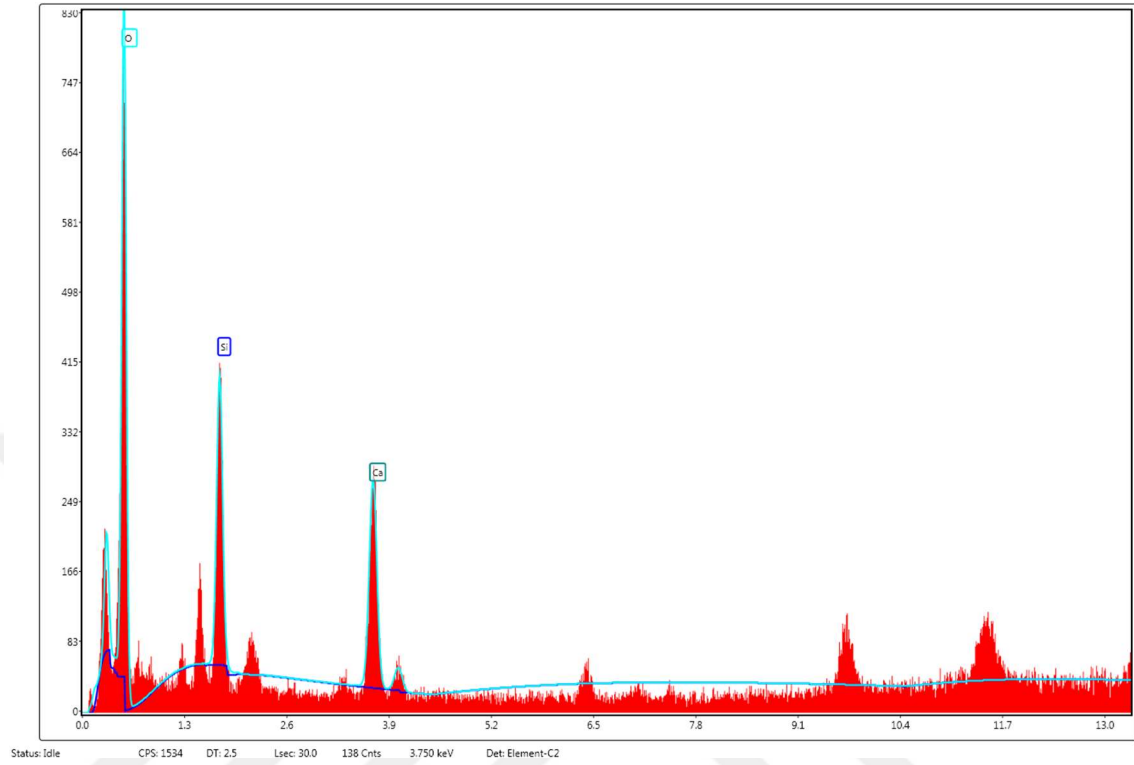
Şekil Ek-2. 16. CH12 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 10. CH12 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	Al	Si	Ca
Wt %	10,7	52,7	36,6

Ek-2

Bağlayıcı kısmı

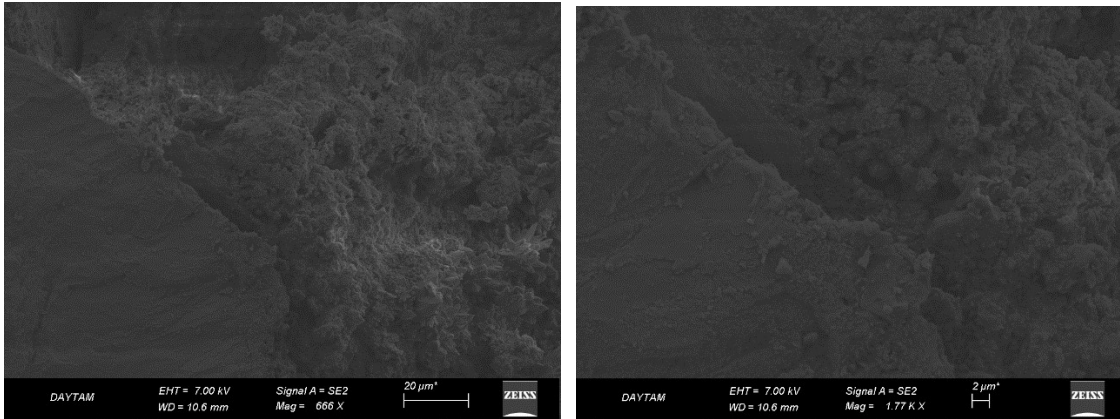


Şekil Ek-2. 17. CH12 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

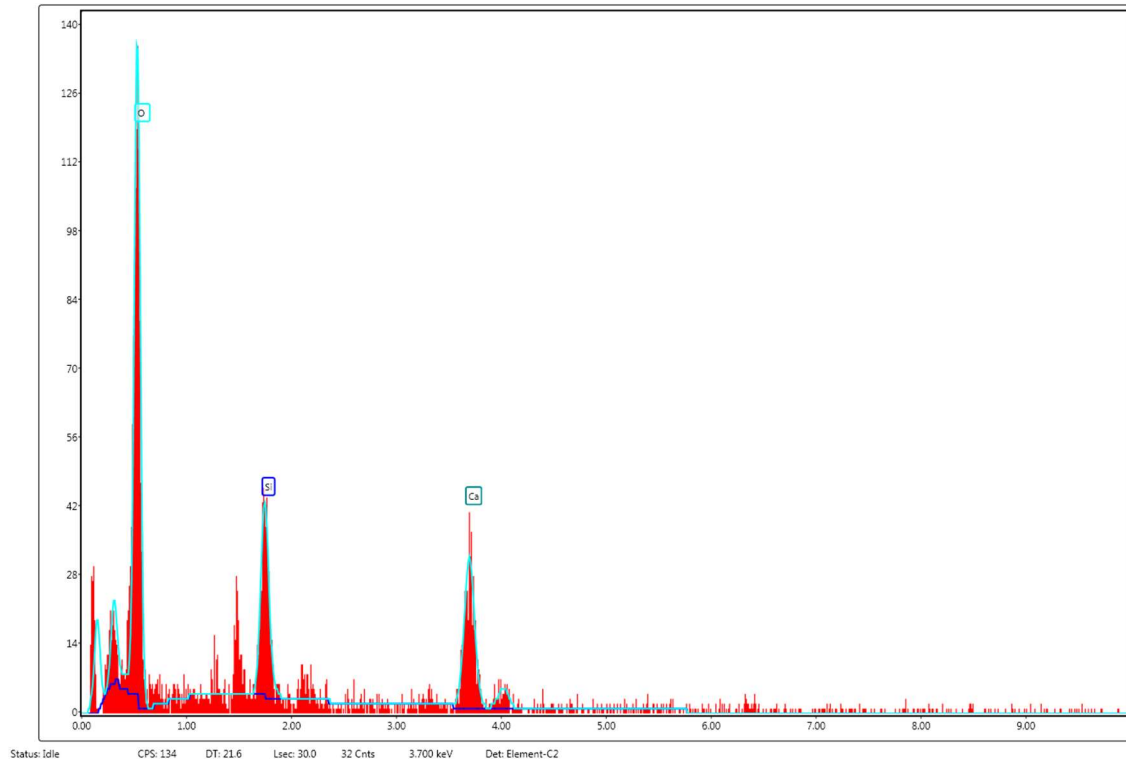
Çizelge Ek-2. 11. CH12 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Si	Ca
Wt %	70	12,2	17,9

Ek-2



Şekil Ek-2. 18. CH13 numunesi SEM görüntüleri

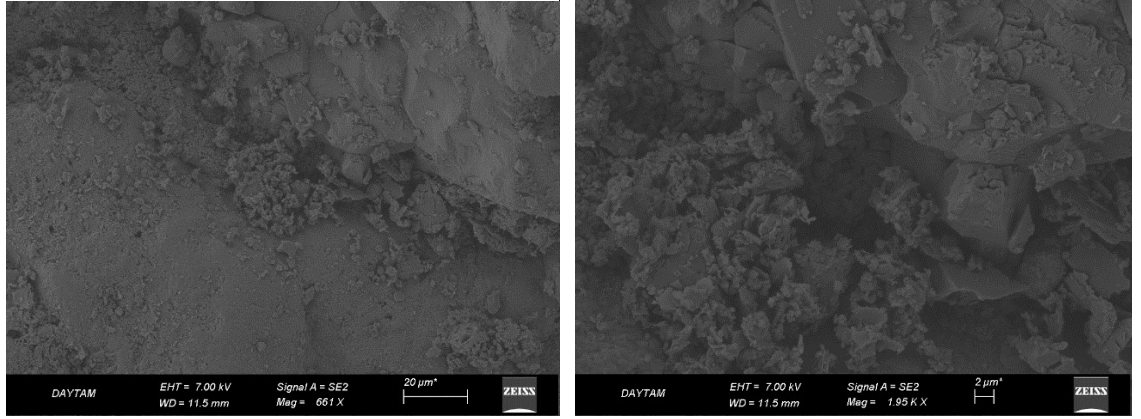


Şekil Ek-2. 19. CH13 numunesi EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 12. CH13 numunesi EDX analizi sonuçları

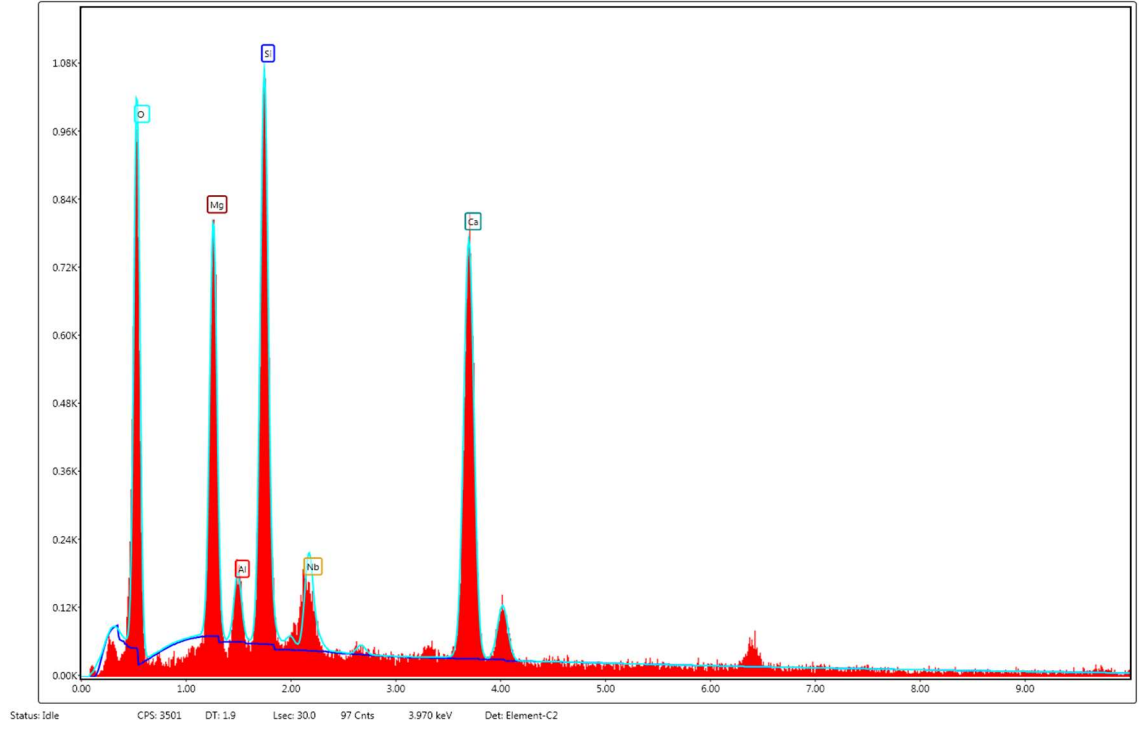
Element	O	Si	Ca
Wt %	65,5	11	22,5

Ek-2



Şekil Ek-2. 20. CH15 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



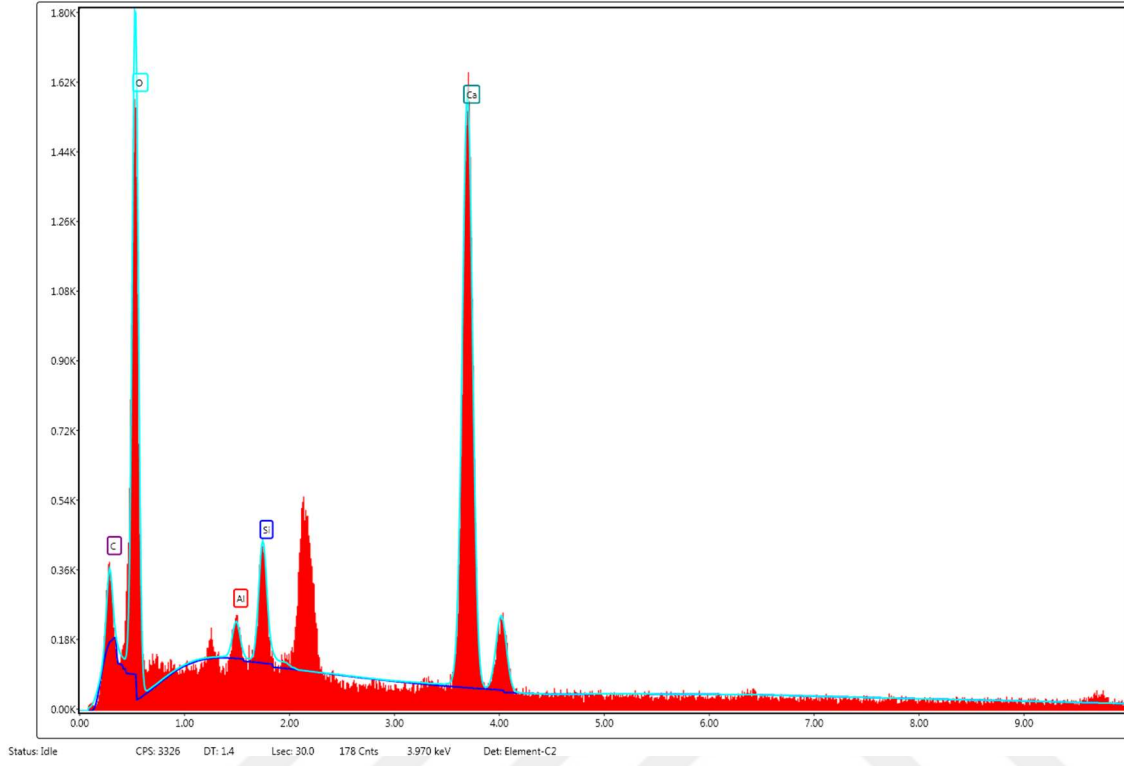
Şekil Ek-2. 21. CH15 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 13. CH15 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Nb	Ca
Wt %	37	10,9	1,9	15,1	6,4	28,7

Ek-2

Bağlayıcı kısmı

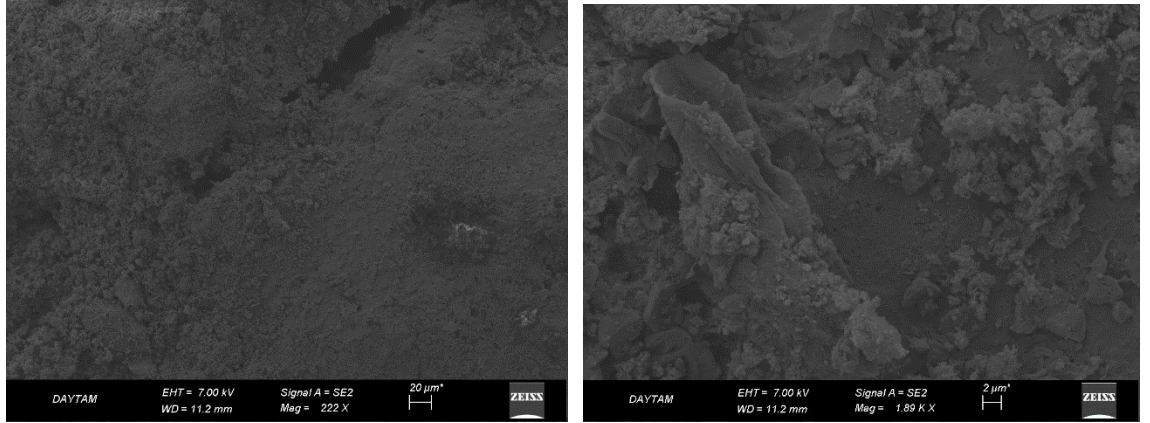


Şekil Ek-2. 22. CH15 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

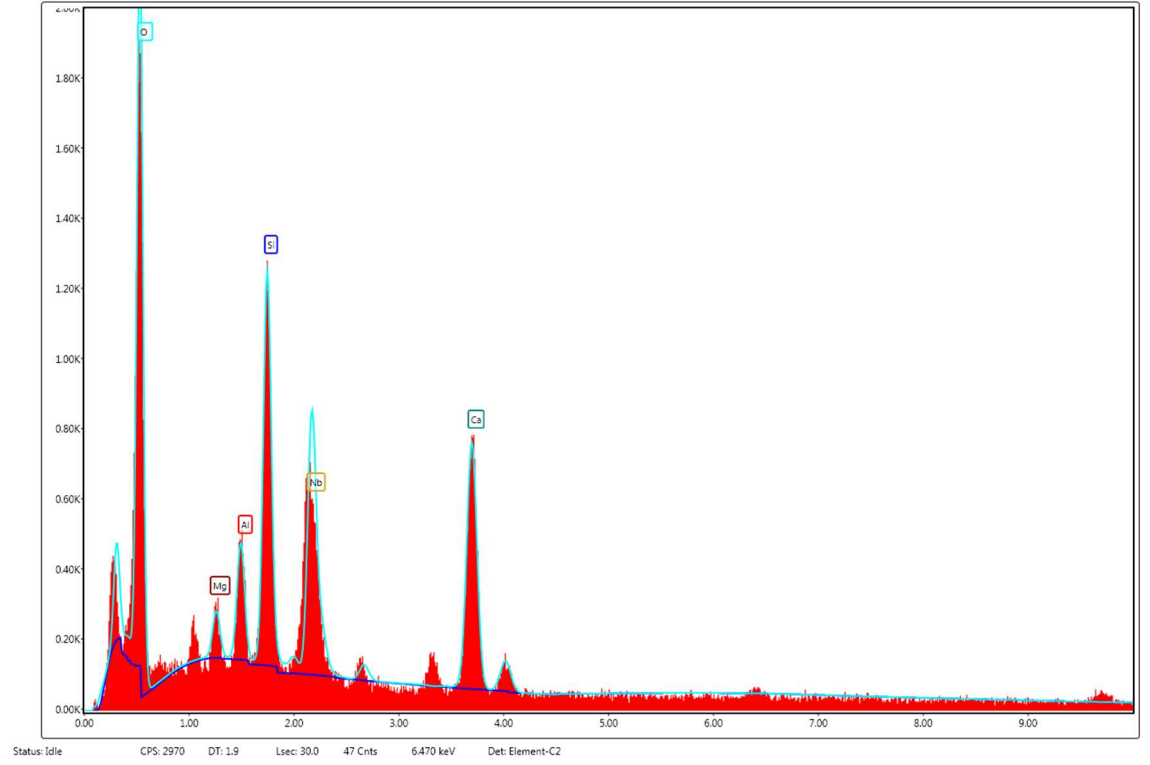
Çizelge Ek-2. 14. CH15 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Element	C	O	Al	Si	Ca
Wt %	3,2	51,6	1	3,2	41

Ek-2



Şekil Ek-2. 23. CH16 numunesi SEM görüntüleri

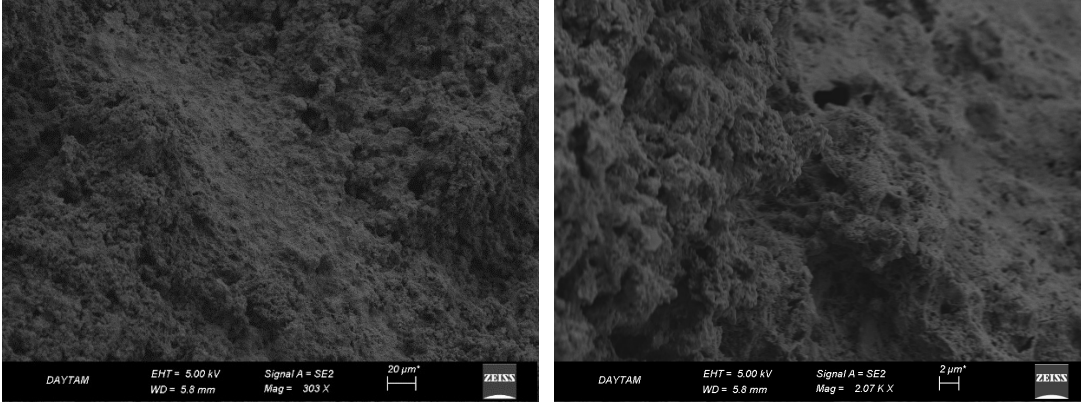


Şekil Ek-2. 24. CH16 numunesi EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 15. CH16 numunesi EDX analizi sonuçları

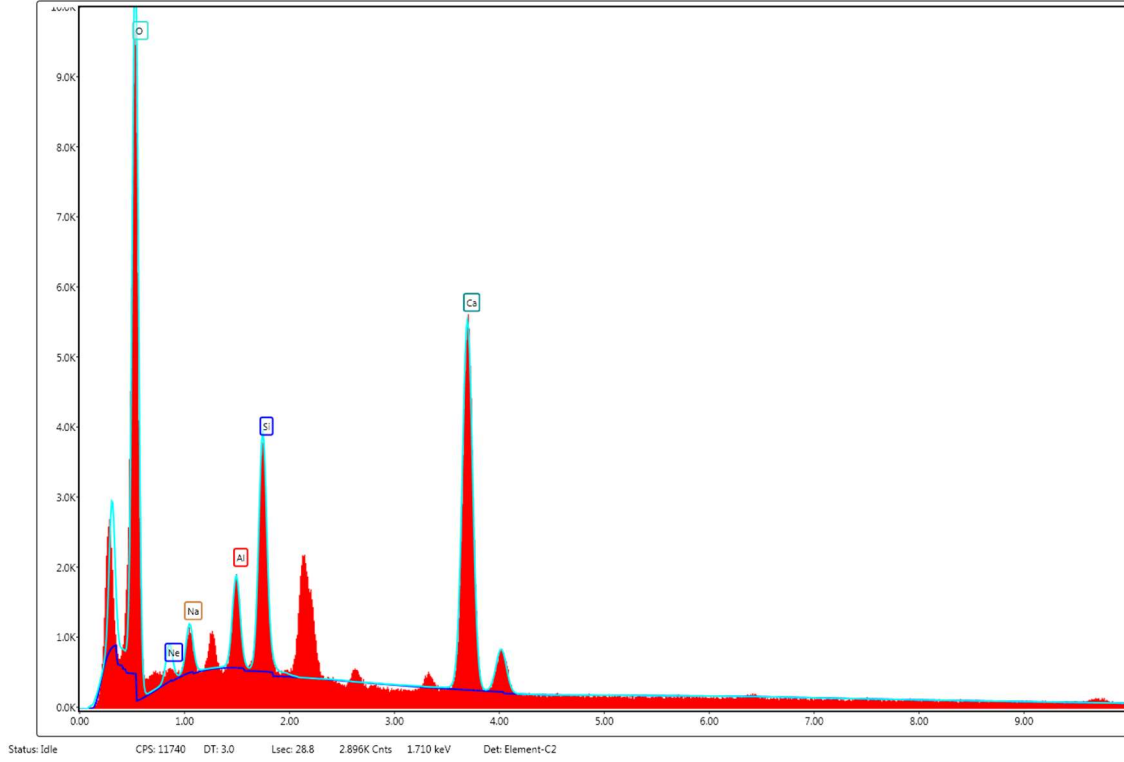
Element	O	Mg	Al	Si	Nb	Ca
Wt %	47,4	1,5	3,3	10,9	18,3	18,7

EK-2



Şekil Ek-2. 25. BH2 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı:



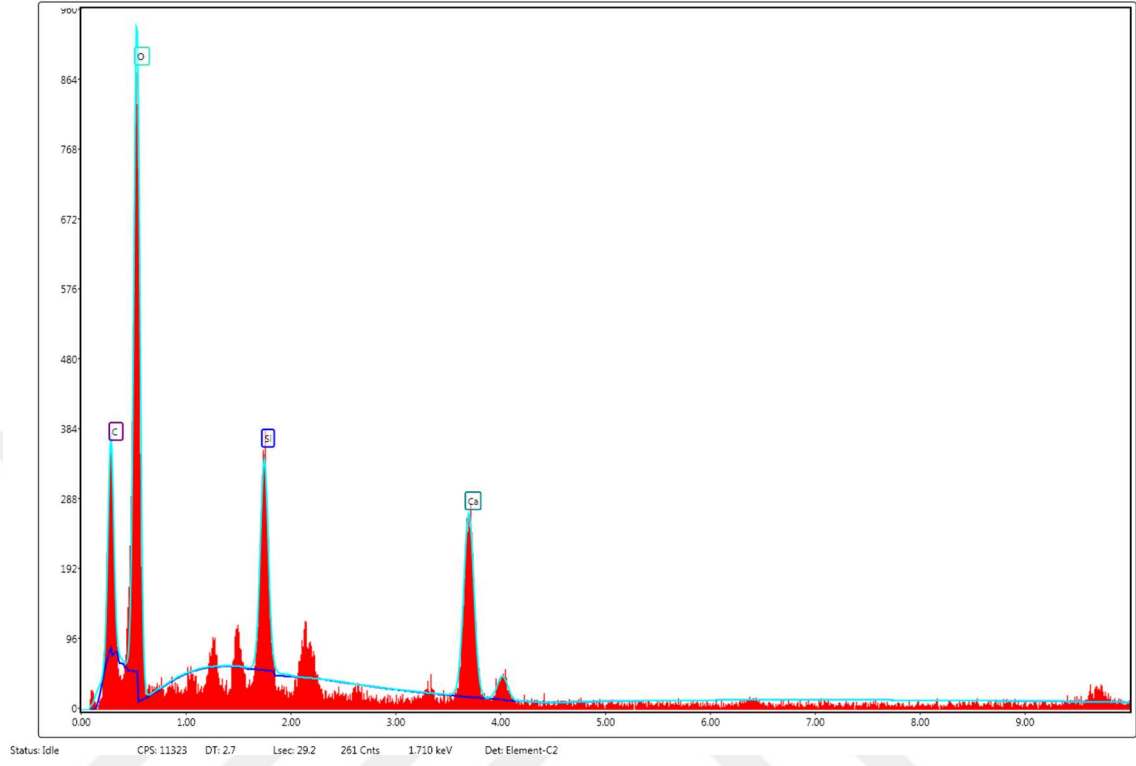
Şekil Ek-2. 26. BH2 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 16. BH2 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	Na	O	Ne	Al	Si	Ca
Wt %	2,7	55,7	1,8	3,1	7,6	29,1

EK-2

Bağlayıcı kısım:

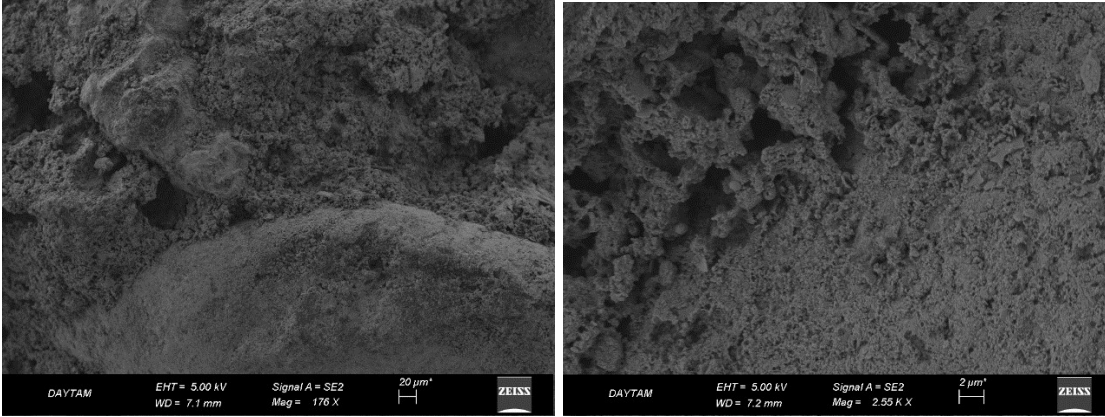


Şekil Ek-2. 27. BH2 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 17. BH2 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

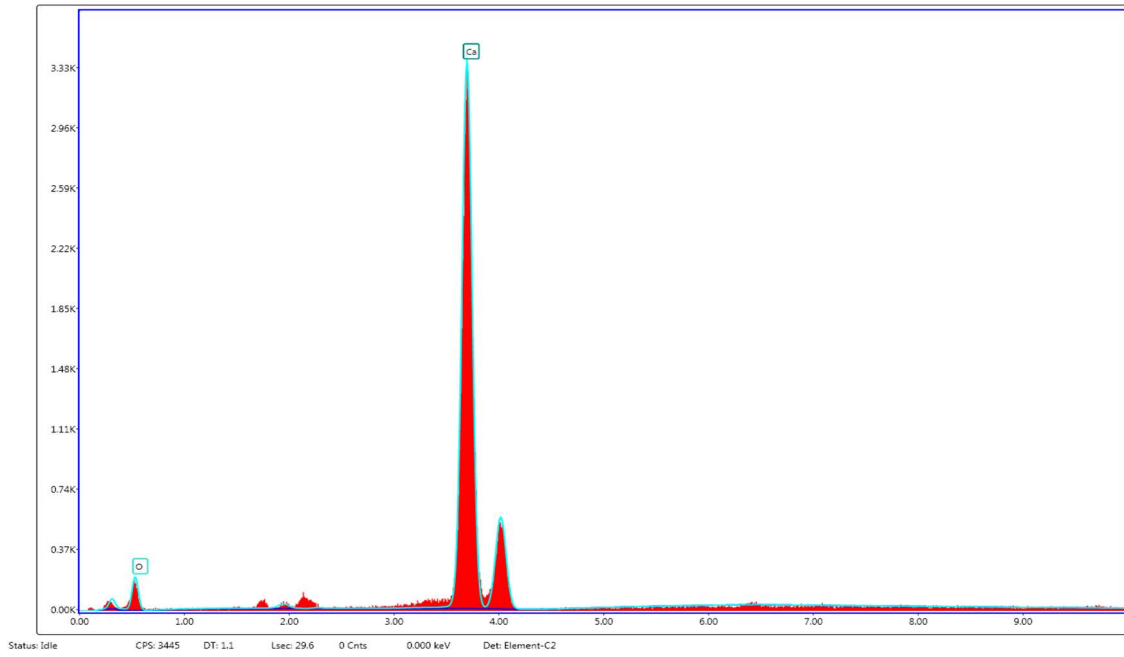
Element	C	O	Si	Ca
Wt %	18	57	7,6	17,4

EK-2



Şekil Ek-2. 28. BP3 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



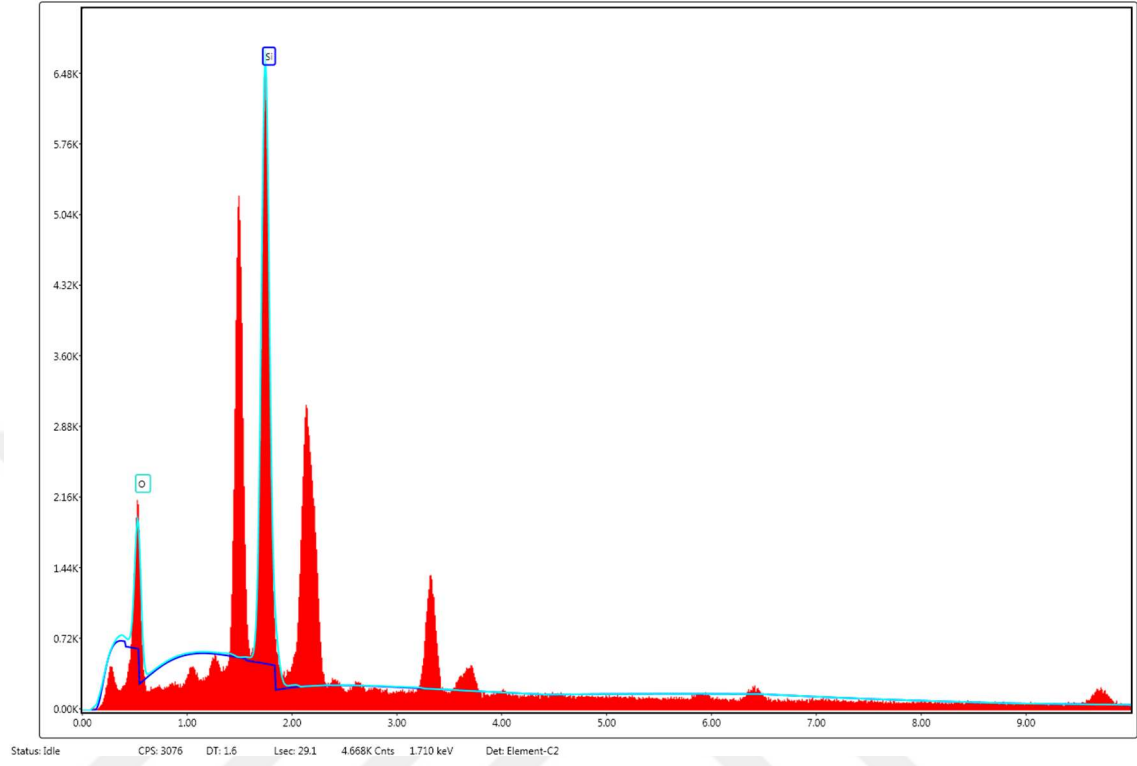
Şekil Ek-2. 29. BP3 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 18. BP3 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Ca
Wt %	13,4	86,6

Ek-2

Bağlayıcı kısmı

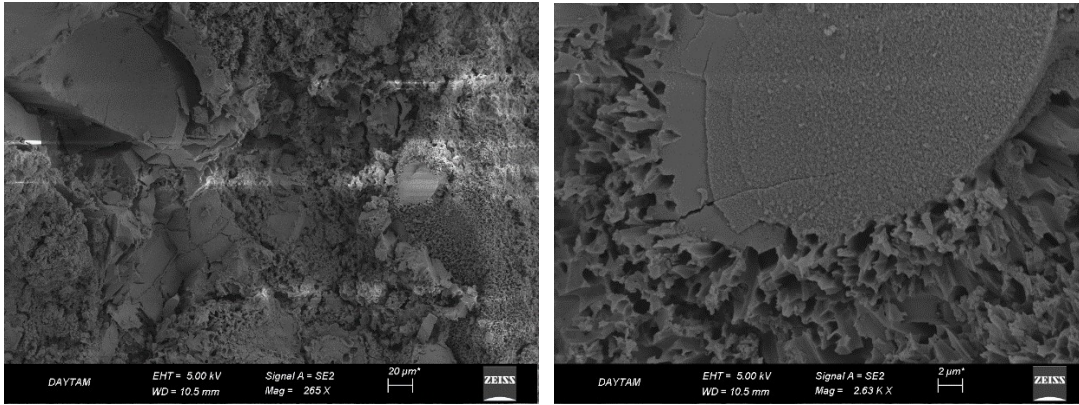


Şekil Ek-2. 30. BP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 19. BP3 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

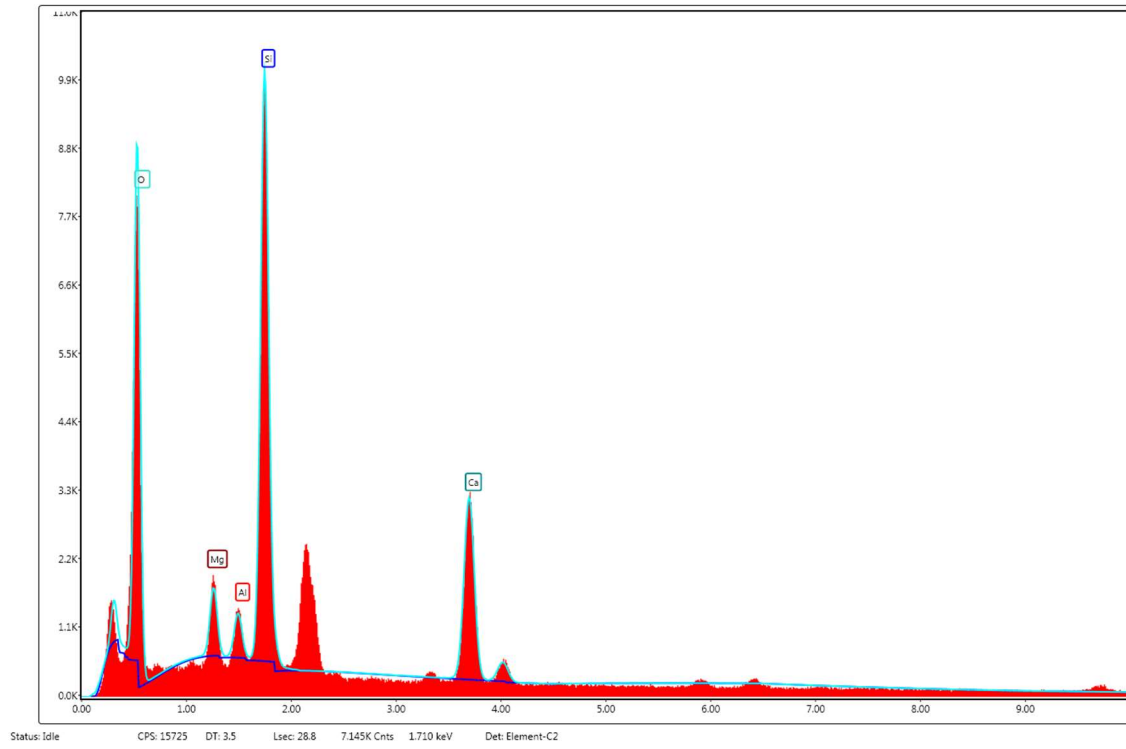
Element	O	Si
Wt %	31,4	68,6

Ek-2



Şekil Ek-2. 31. BP5 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



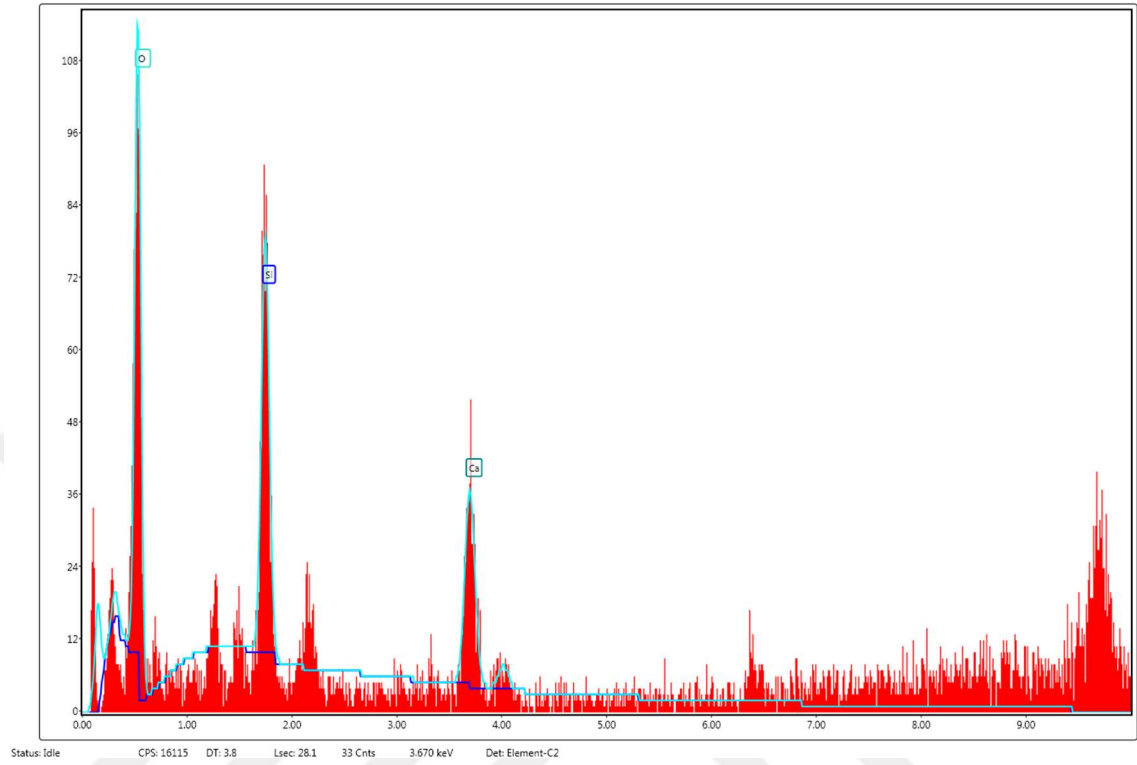
Şekil Ek-2. 32. BP5 numunesi agregası EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 20. BP5 numunesi agregası EDX analizi sonuçları

Element	O	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	49,9	3,1	1,9	24,9	20,2

Ek-2

Bağlayıcı kısım

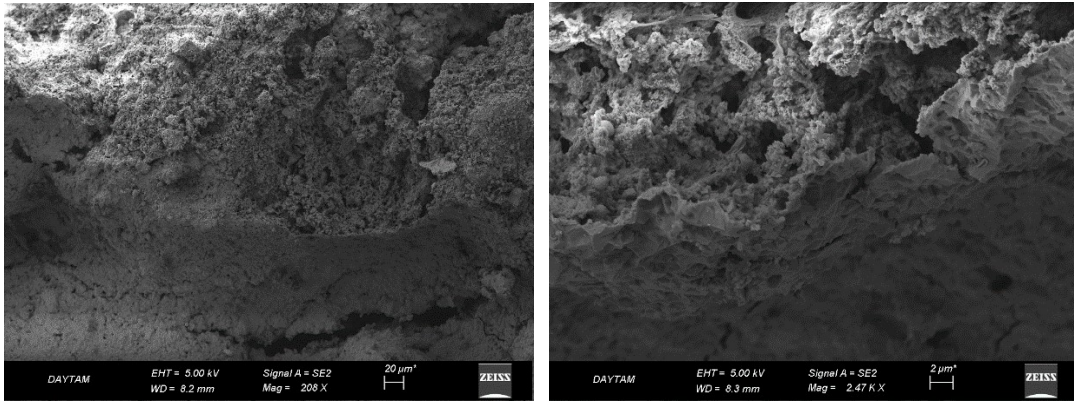


Şekil Ek-2. 33. BP5 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 21. BP5 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

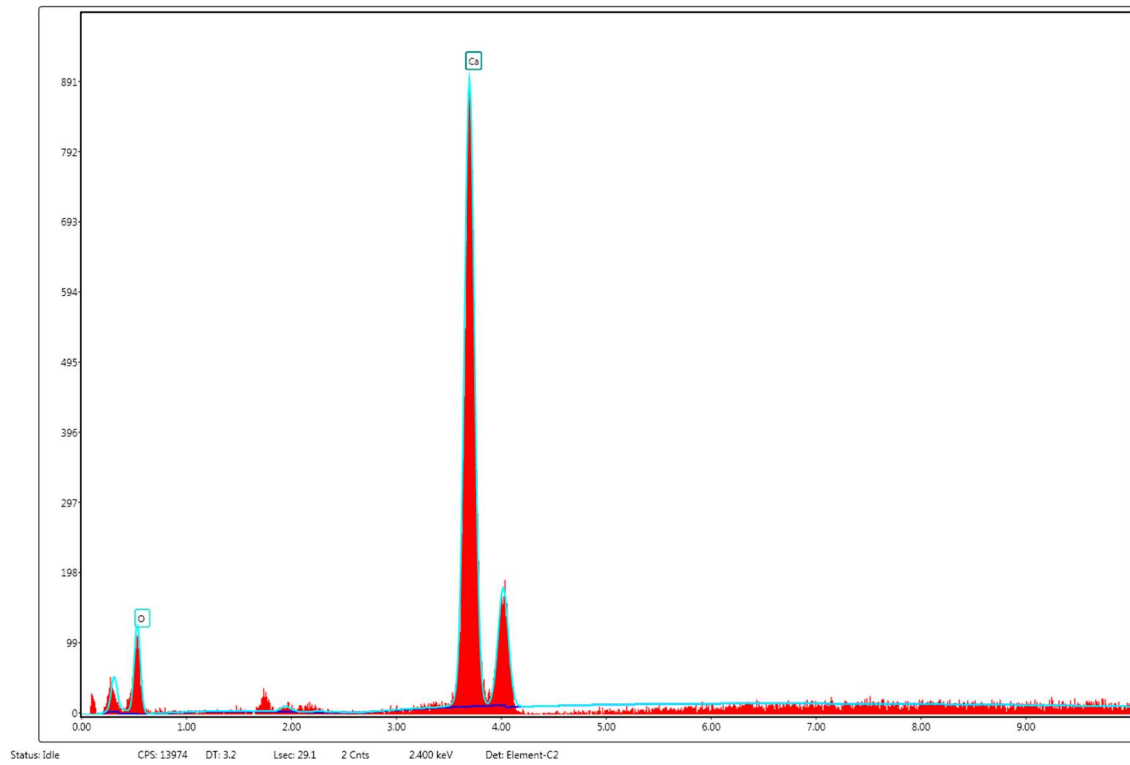
Element	O	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	49,9	3,1	1,9	24,9	20,2

EK-2



Şekil Ek-2. 34. BH7 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



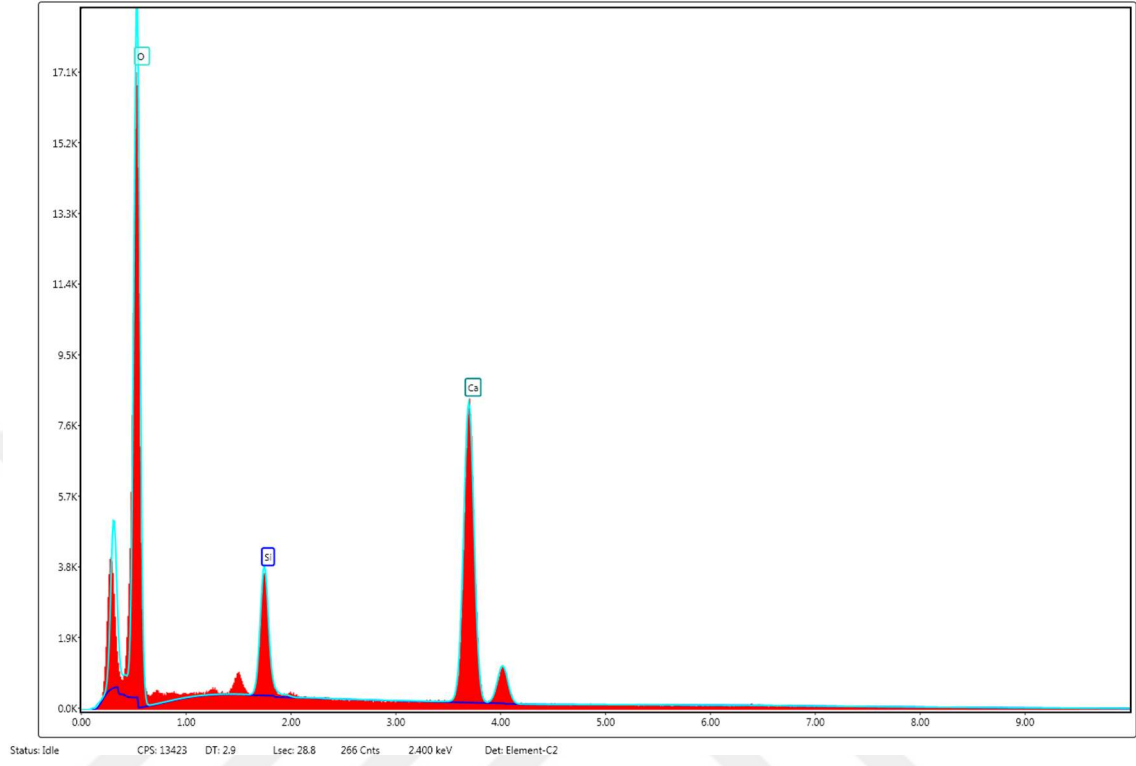
Şekil Ek-2. 35. BH7 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Çizelge Ek-2. 22. BH7 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	Ca	O
Wt %	24,3	75,7

Ek-2

Bağlayıcı kısmı

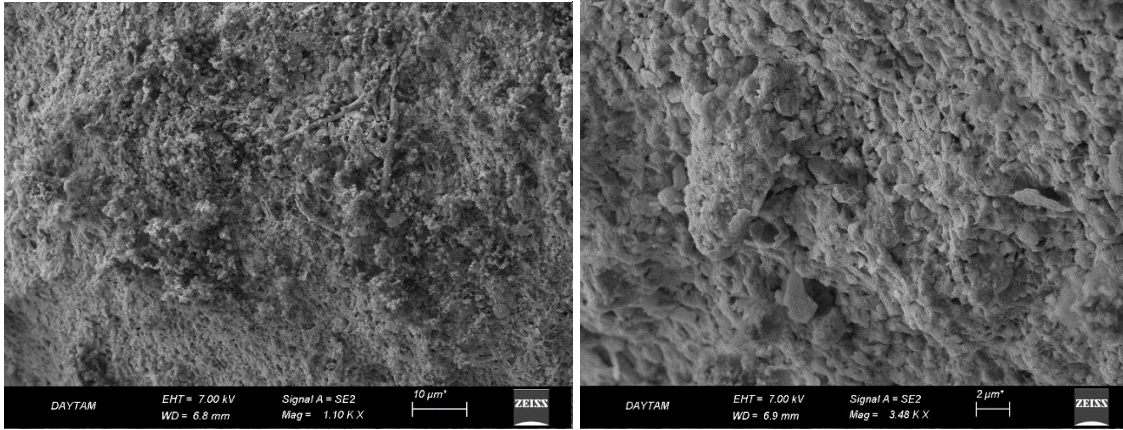


Şekil Ek-2. 36. BH7 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Çizelge Ek-2. 23. BH7 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

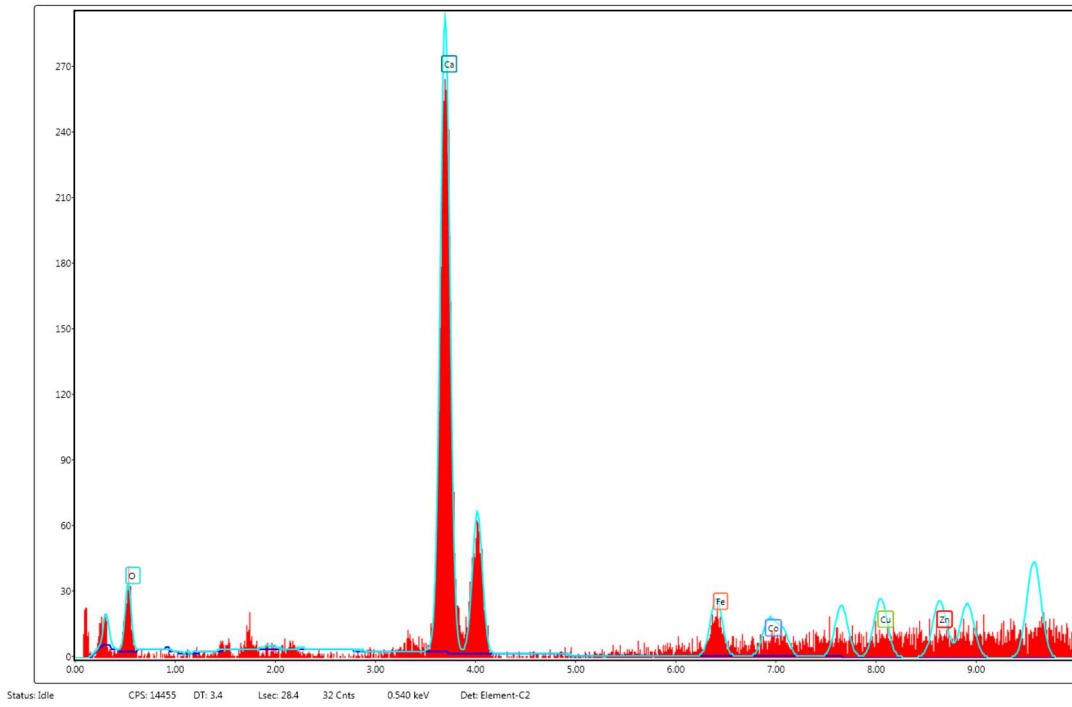
Element	O	Si	Ca
Wt %	65,4	5,1	19,6

Ek-2



Şekil Ek-2. 37. BH8 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



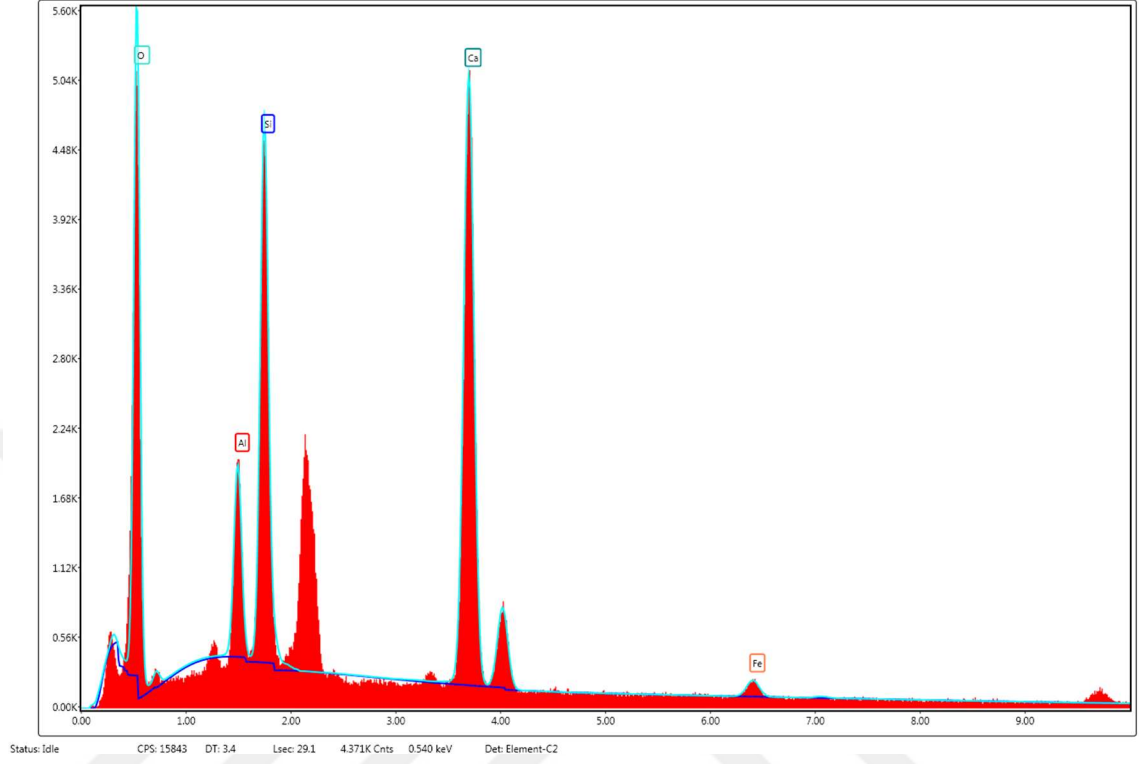
Şekil Ek-2. 38. BH8 numunesi agreg a kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 24. BH8 numunesi agreg a kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Ca	Fe	Co	Cu	Zn
Wt %	3,9	30,5	8,6	6,8	21,1	29,1

Ek-2

Bağlayıcı kısım

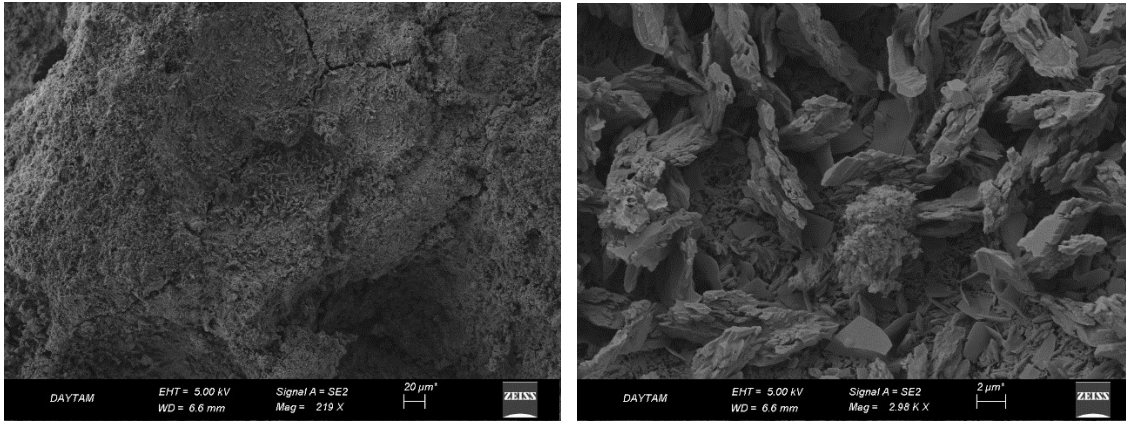


Şekil Ek-2. 39. BH8 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 25. BH8 numunesi agrega kısmı EDX analizi sonuçları

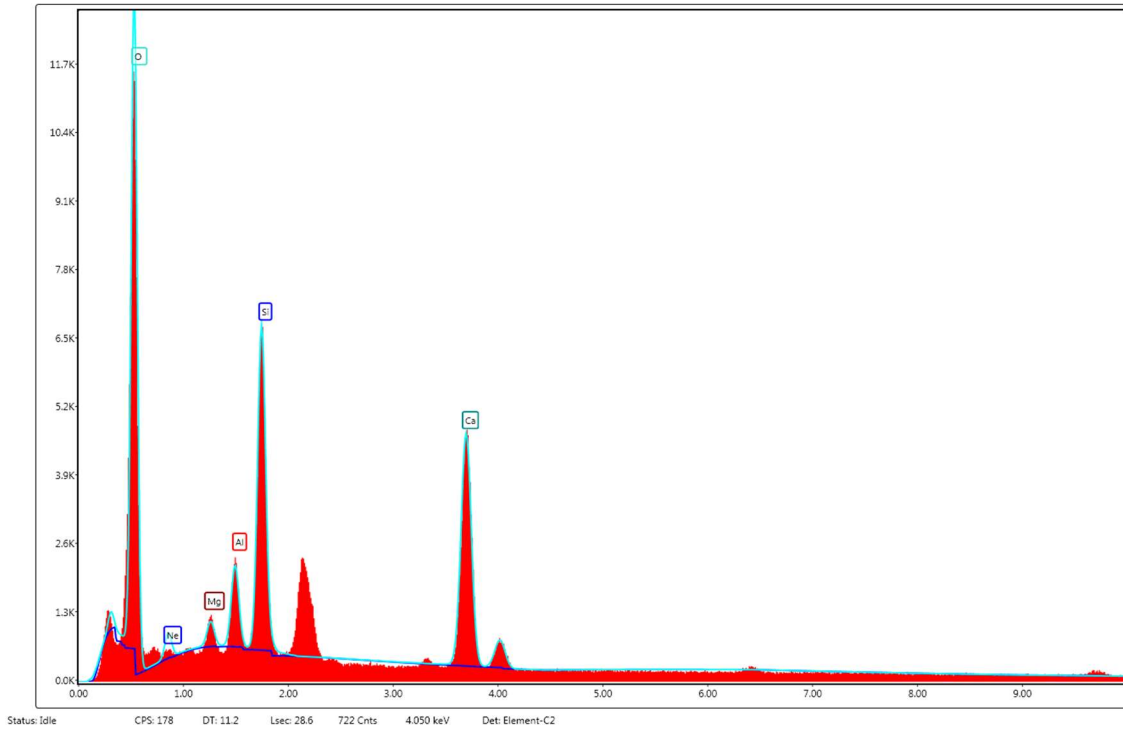
Element	O	Al	Si	Ca	Fe
Wt %	45,2	4,5	2,4	34,7	3,2

Ek-2



Şekil Ek-2. 40. DH1 numunesi SEM görüntüleri

Agrega kısmı



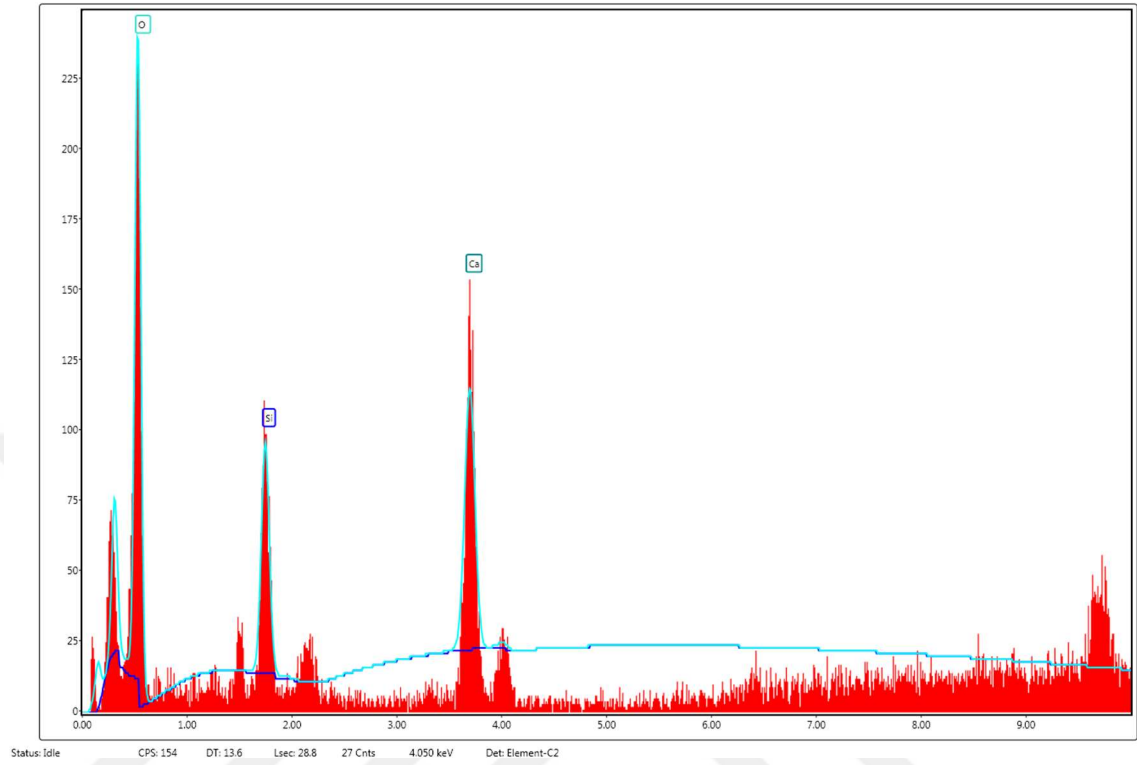
Şekil Ek-2. 41. DH1 numunesi agregat kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 26. DH1 numunesi agregat kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Ne	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	57,6	1,5	1,1	3,4	13	23,4

Ek-2

Bağlayıcı kısmı

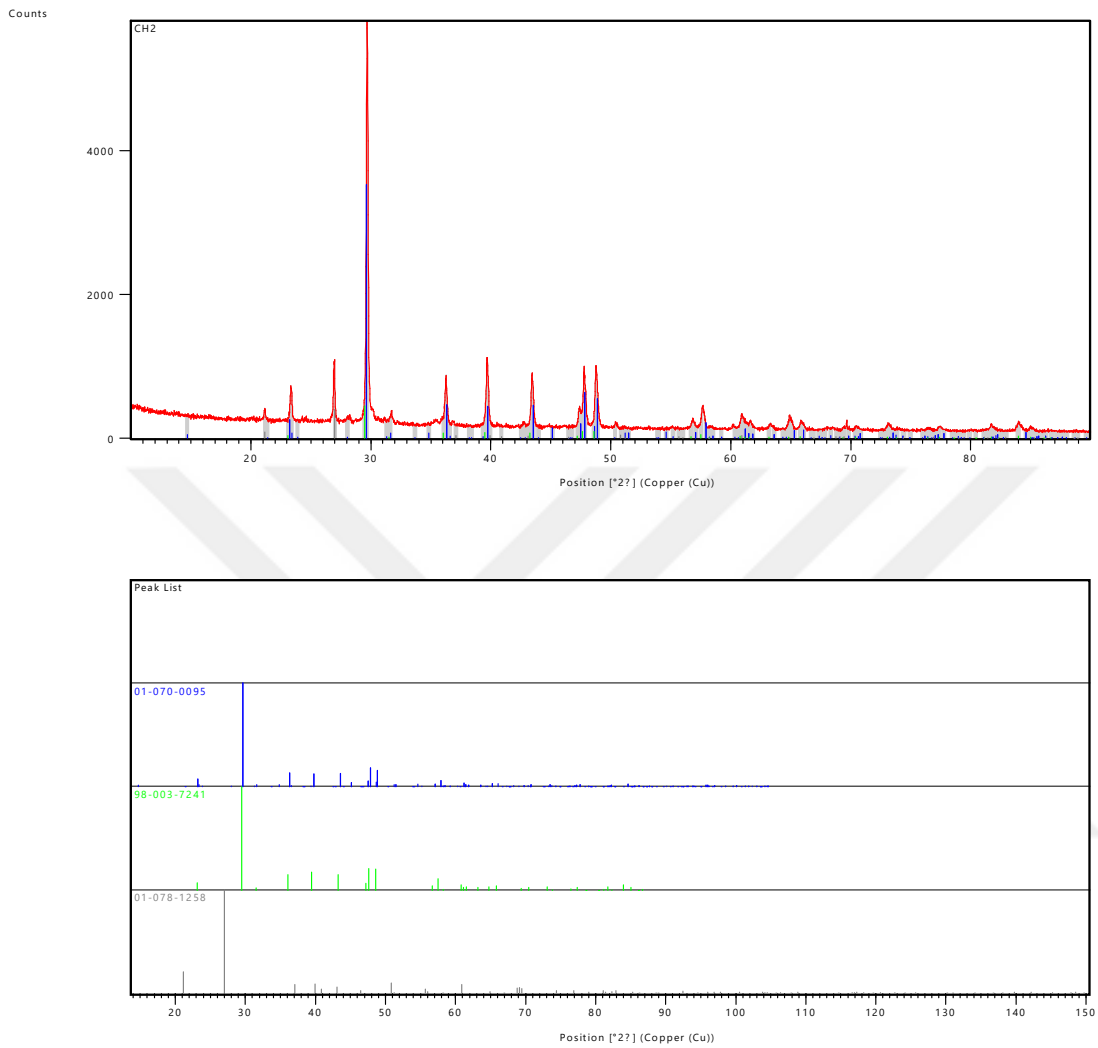


Şekil Ek-2. 42. DH1 numunesi bağlayıcı kısmı EDX diyagramı

Çizelge Ek-2. 27. DH1 numunesi bağlayıcı kısmı EDX analizi sonuçları

Element	O	Si	Ca
Wt %	63,1	9,5	27,4

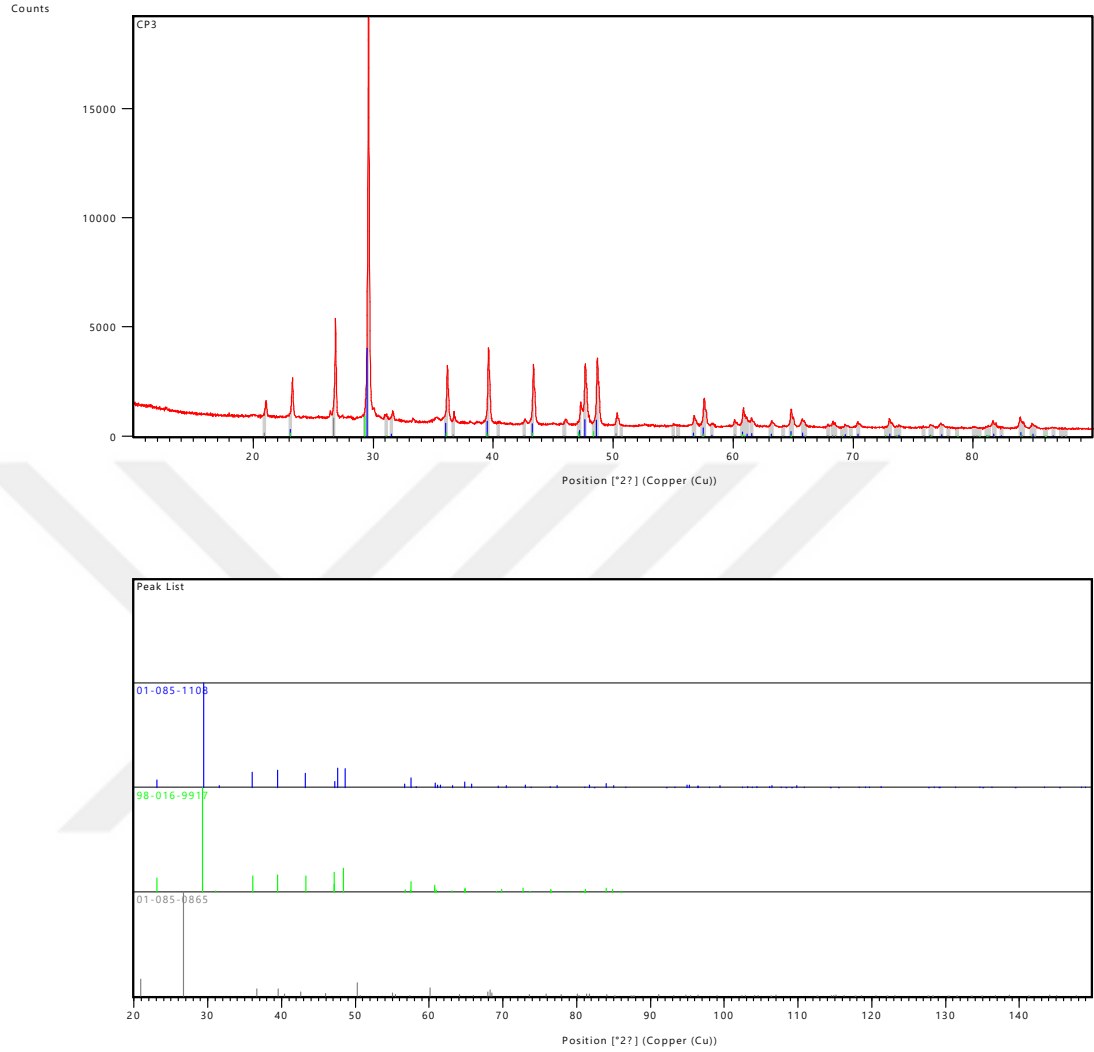
Ek-3 Harç ve Sıva Numunelerinin XRD Sonuçları



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-070-0095	56	Calcium Carbonate	0.000	0.606	Ca (C O3)
*	98-003-7241	73	Calcite	0.000	0.077	C1 Ca1 O3
*	01-078-1258	30	Silicon Oxide	0.000	0.068	Si O2

Şekil Ek-3. 1. CH2 numunesi XRD analizi sonuçları

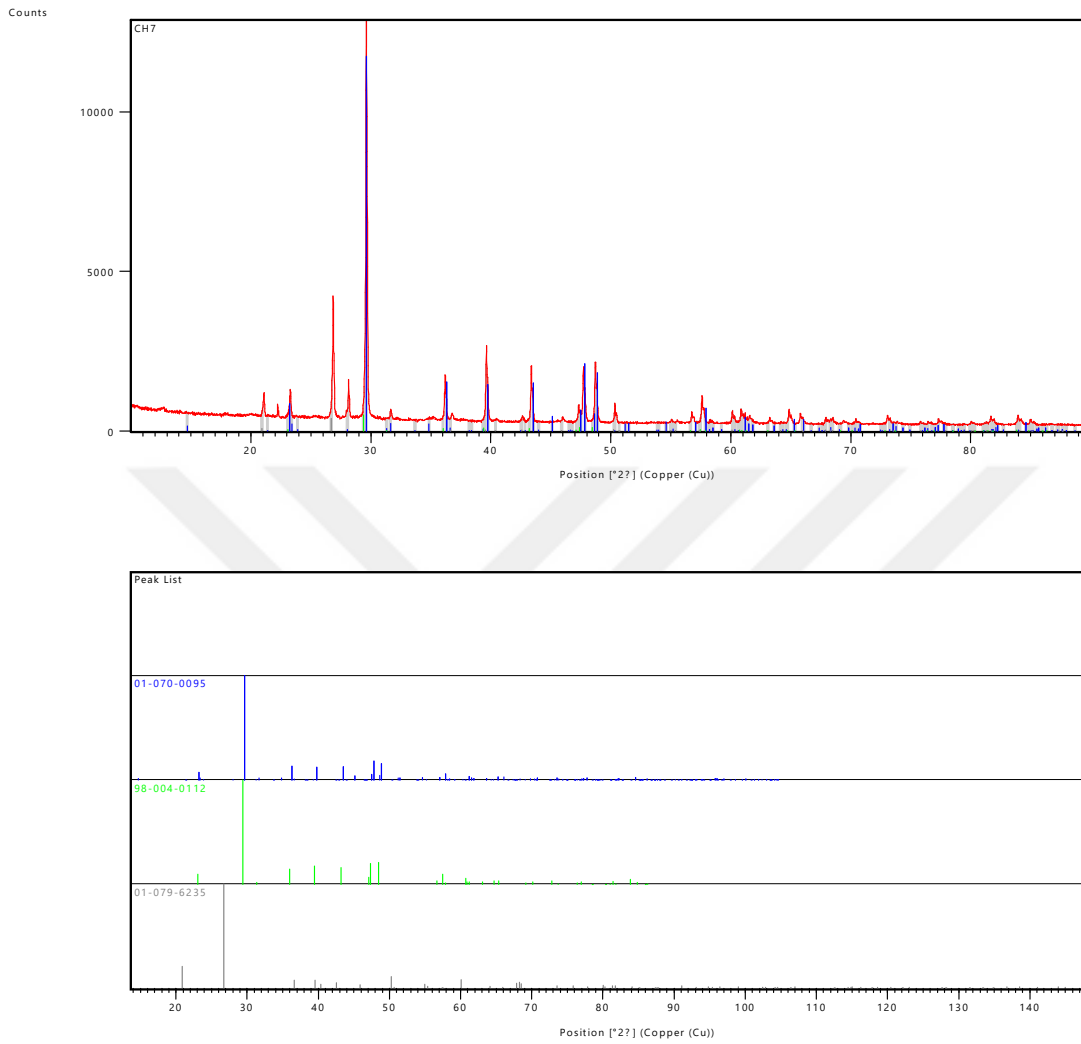
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-085-1108	78	Calcium Carbonate	0.000	0.209	Ca (C O3)
*	98-016-9917	65	Calcite	0.000	0.047	C1 Ca1 O3
*	01-085-0865	61	Silicon Oxide	0.000	0.042	Si O2

Şekil Ek-3. 2. CP3 numunesi XRD analizi sonuçları

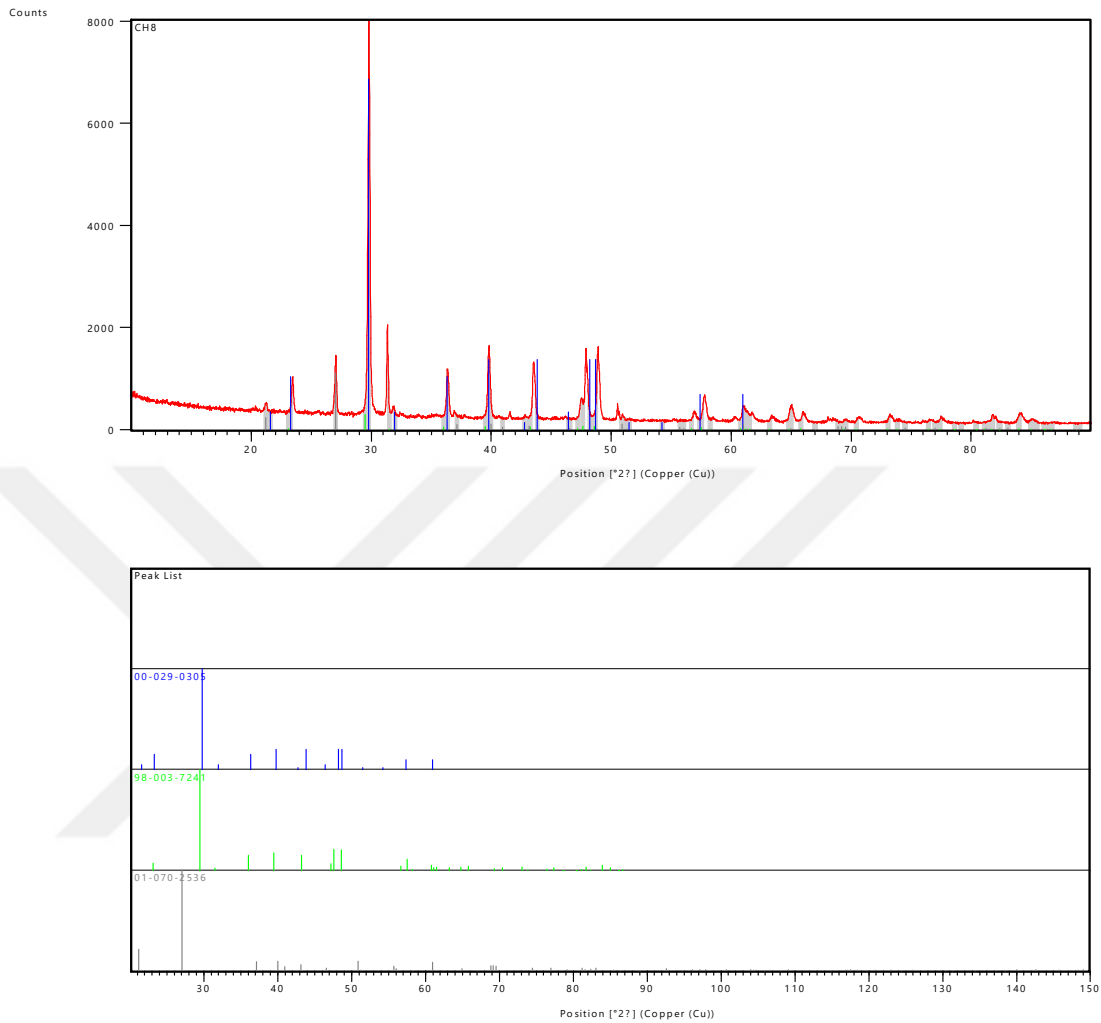
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-070-0095	58	Calcium Carbonate	0.000	0.909	Ca (C O3)
*	98-004-0112	50	Calcite	0.000	0.039	C1 Ca1 O3
*	01-079-6235	58	Silicon Oxide	0.000	0.030	Si O2

Şekil Ek-3. 3. CH7 numunesi XRD analizi sonuçları

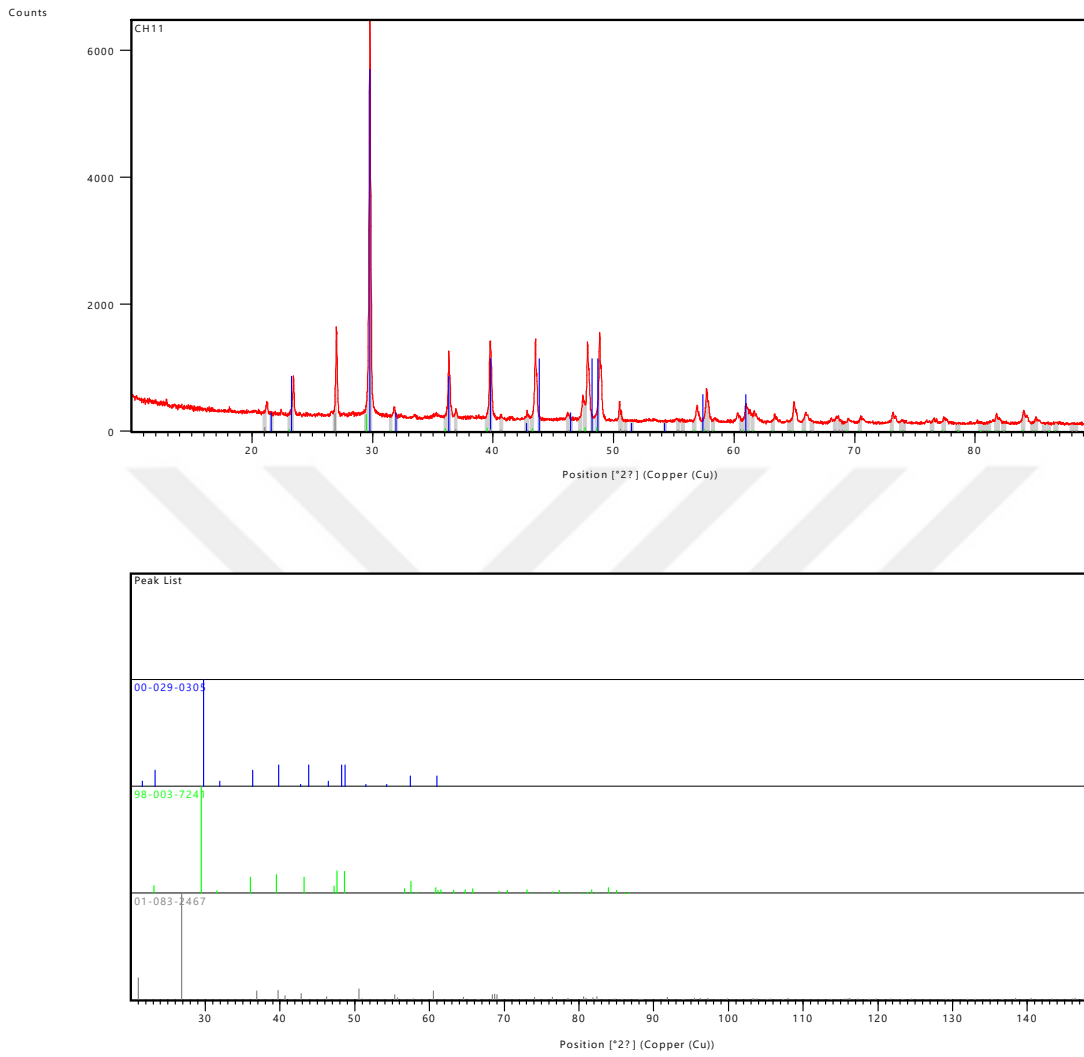
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-029-0305	49	Calcium Carbonate	0.000	0.853	Ca C O3
*	98-003-7241	59	Calcite	0.000	0.037	C1 Ca1 O3
*	01-070-2536	41	Silicon Oxide	0.000	0.137	Si O2

Şekil Ek-3. 4. CH8 numunesi XRD analizi sonuçları

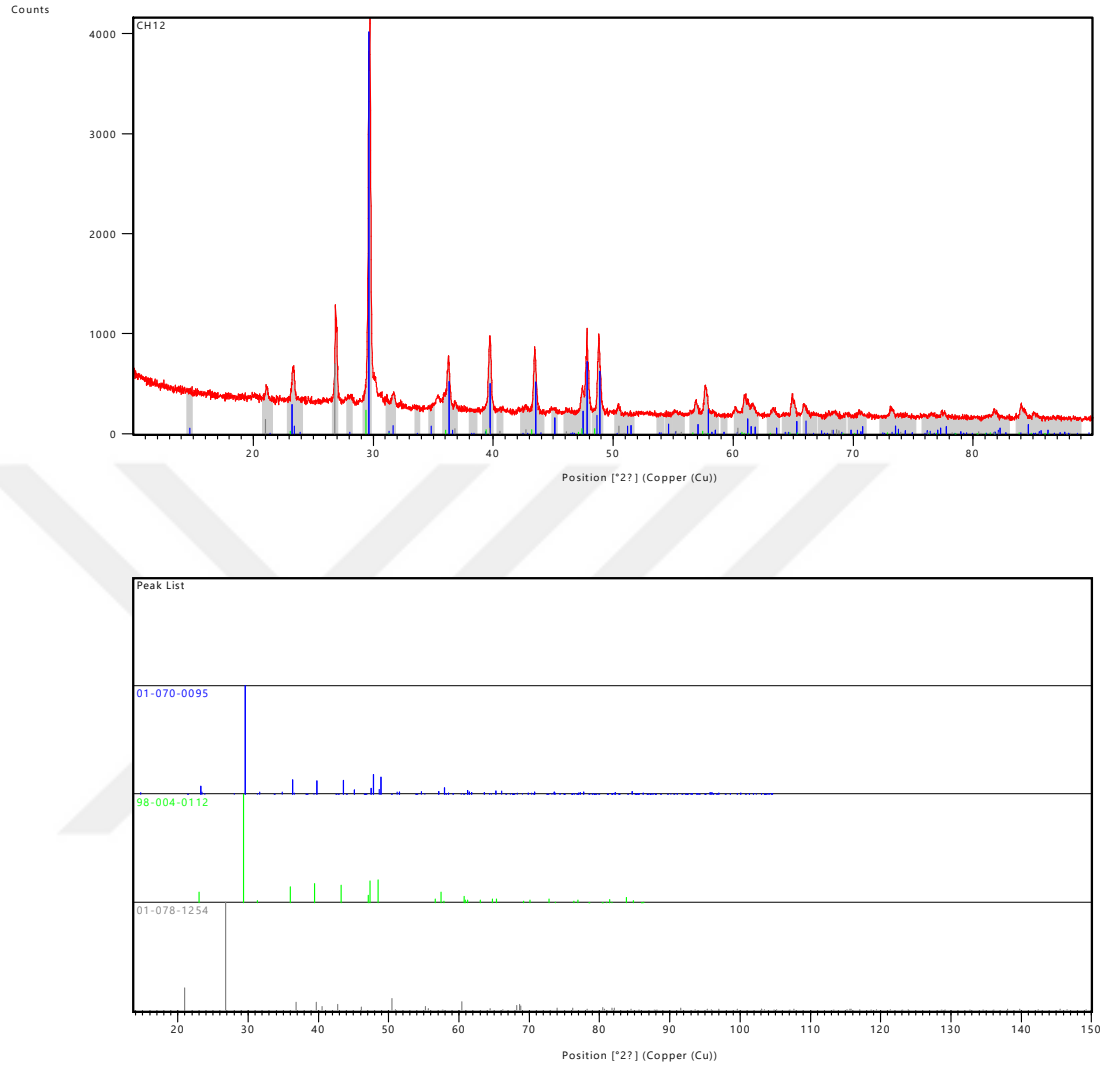
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-029-0305	43	Calcium Carbonate	0.000	0.878	Ca C O3
*	98-003-7241	57	Calcite	0.000	0.039	C1 Ca1 O3
*	01-083-2467	38	Silicon Oxide	0.000	0.041	Si O2

Şekil Ek-3. 5. CH11 numunesi XRD analizi sonuçları

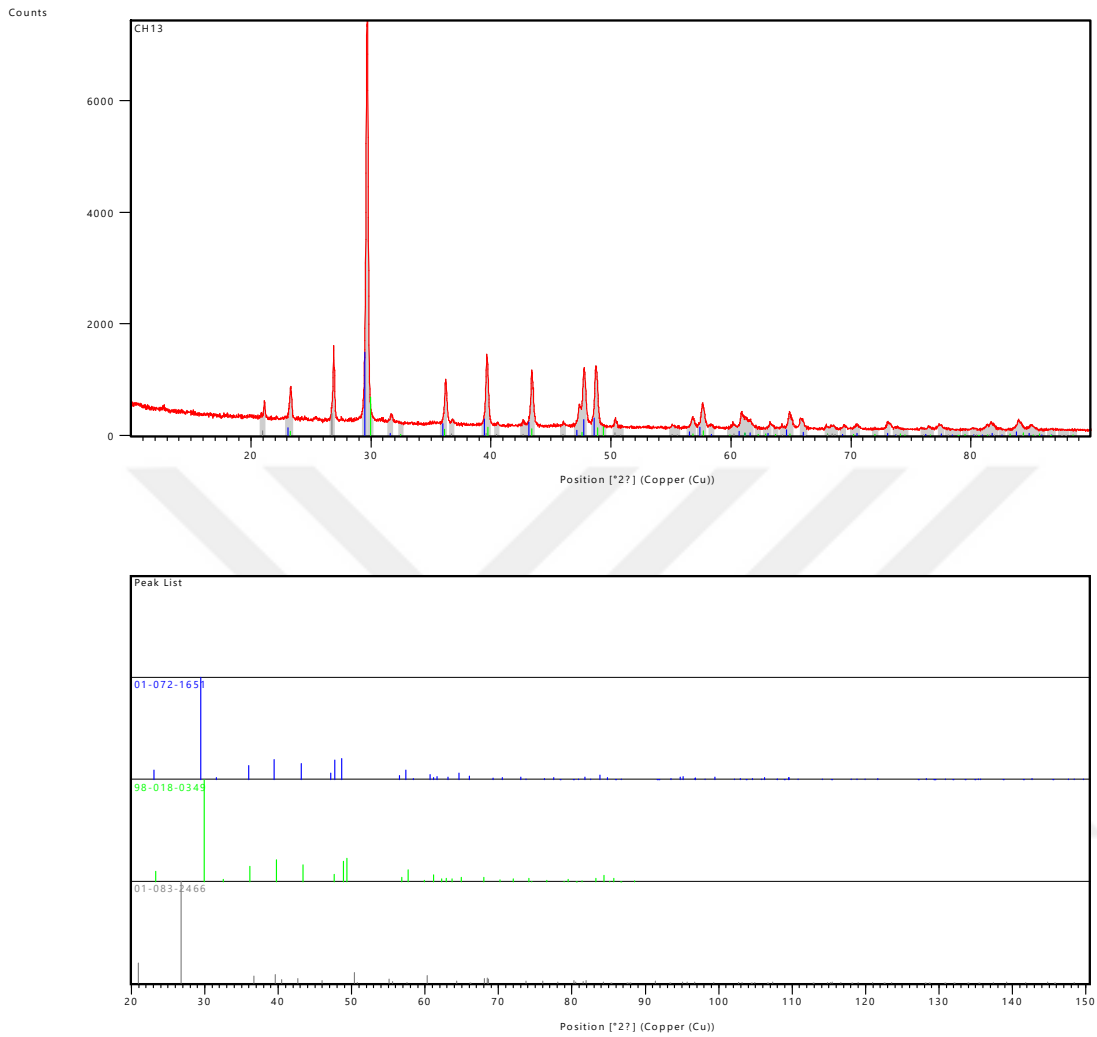
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-070-0095	59	Calcium Carbonate	0.000	0.963	Ca (C O3)
*	98-004-0112	46	Calcite	0.000	0.056	C1 Ca1 O3
*	01-078-1254	41	Silicon Oxide	0.000	0.168	Si O2

Şekil Ek-3. 6. CH12 numunesi XRD analizi sonuçları

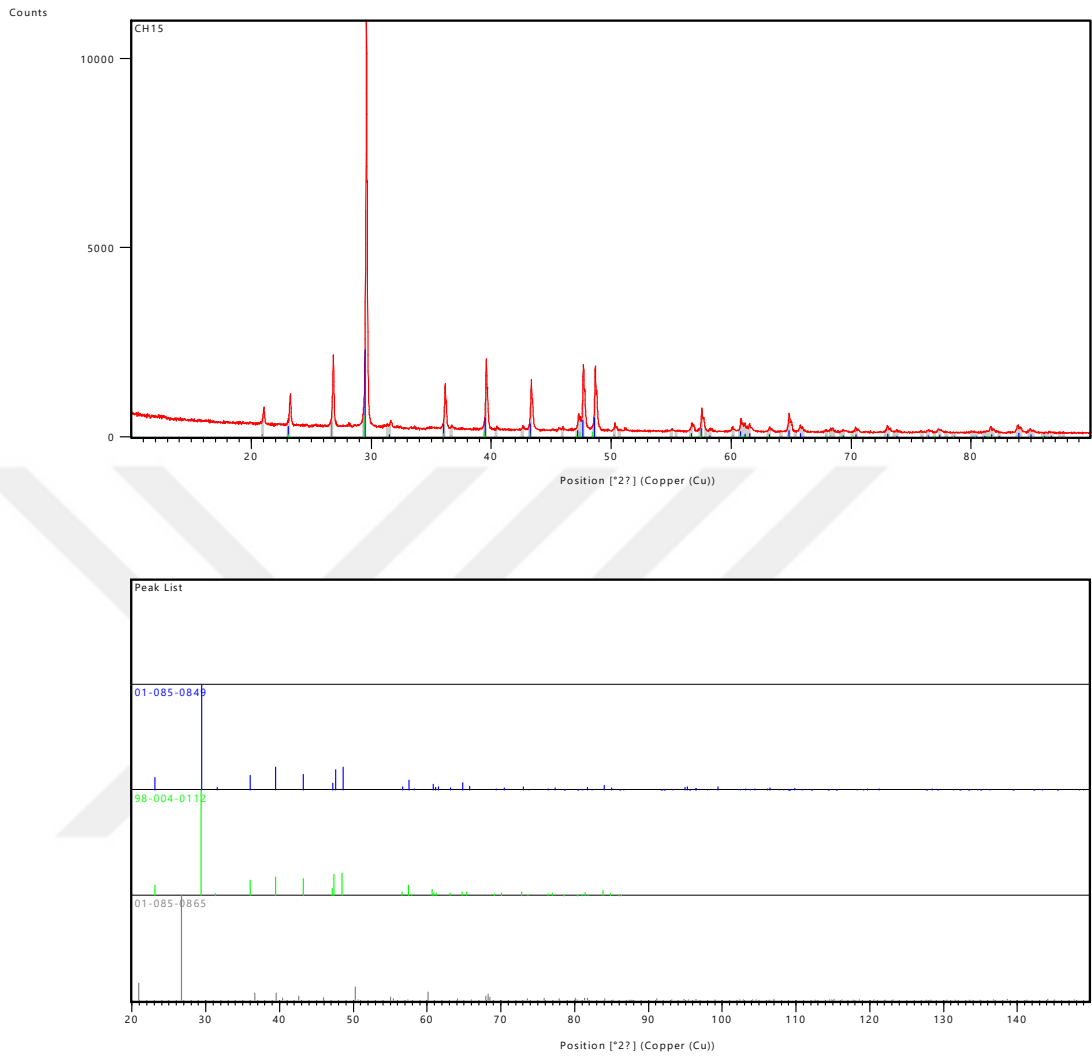
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-072-1651	78	Calcium Carbonate	0.000	0.200	Ca C O ₃
*	98-018-0349	52	Calcite	0.000	0.092	C1 Ca1 O3
*	01-083-2466	55	Silicon Oxide	0.000	0.053	Si O ₂

Şekil Ek-3. 7. CH13 numunesi XRD analizi sonuçları

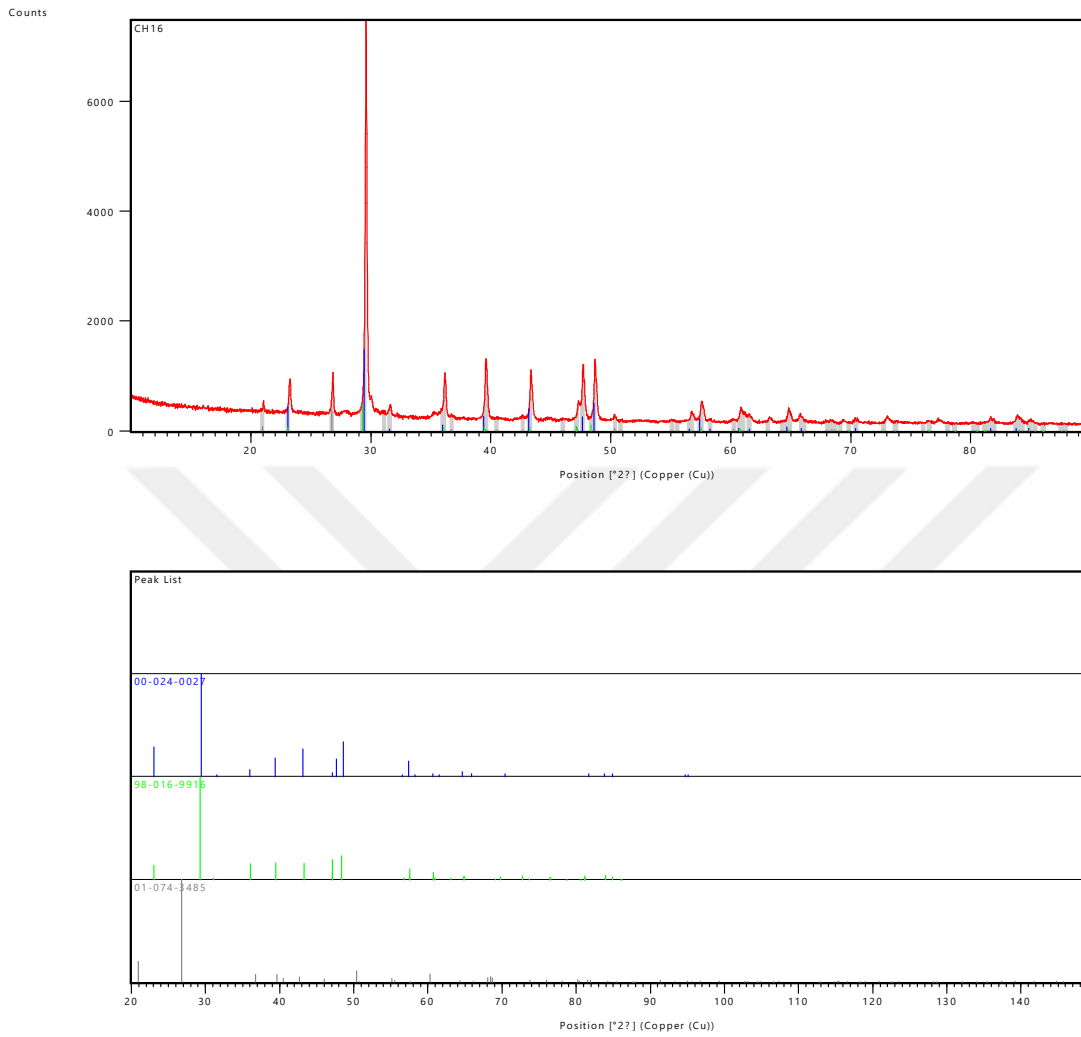
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-085-0849	74	Calcium Carbonate	0.000	0.208	Ca (C O3)
*	98-004-0112	63	Calcite	0.000	0.050	C1 Ca1 O3
*	01-085-0865	59	Silicon Oxide	0.000	0.036	Si O2

Şekil Ek-3. 8. CH15 numunesi XRD analizi sonuçları

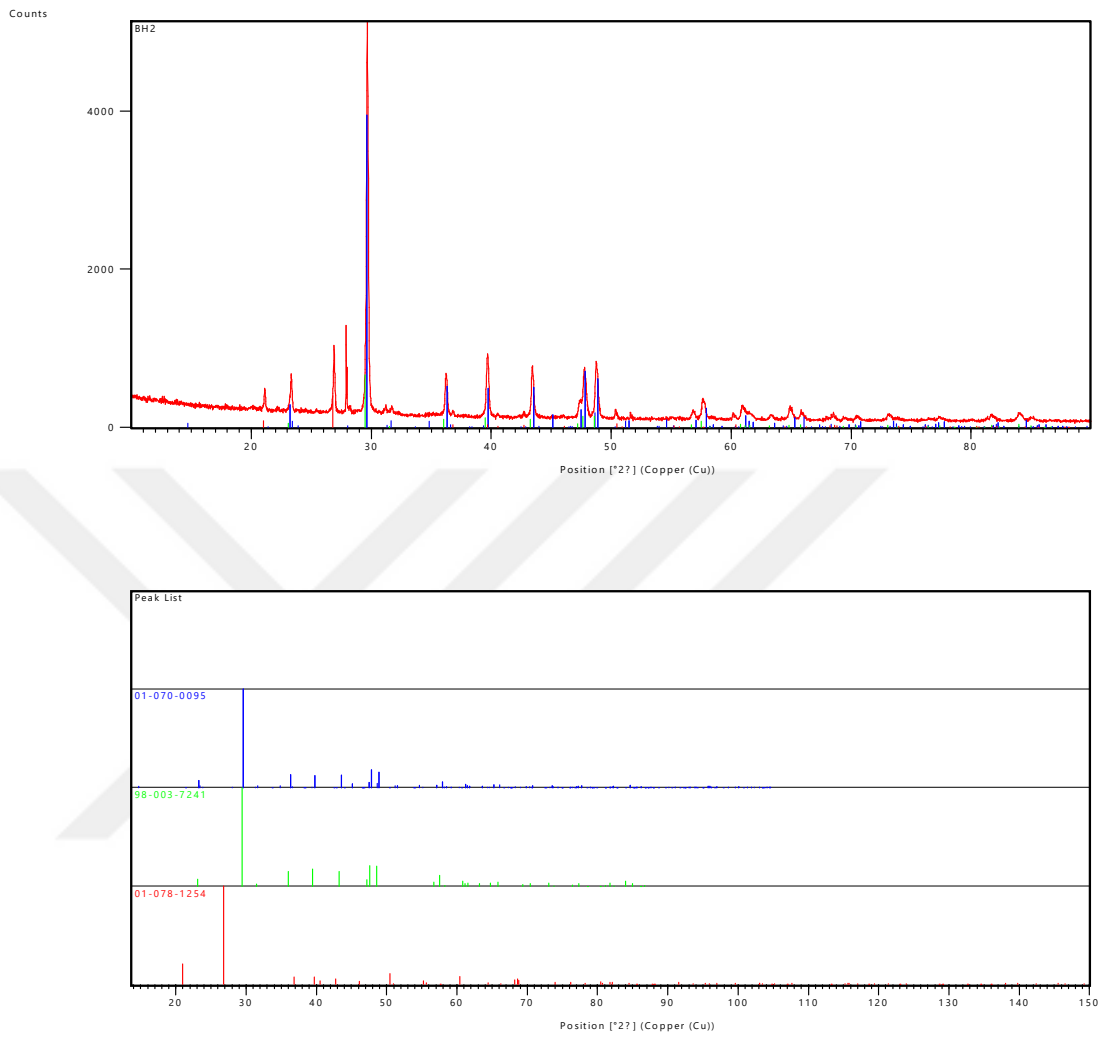
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-024-0027	76	Calcium Carbonate	0.000	0.197	Ca C O ₃
*	98-016-9916	66	Calcite	0.000	0.062	C1 Ca1 O3
*	01-074-3485	43	Silicon Oxide	0.000	0.049	Si O ₂

Şekil Ek-3. 9. CH16 numunesi XRD analizi sonuçları

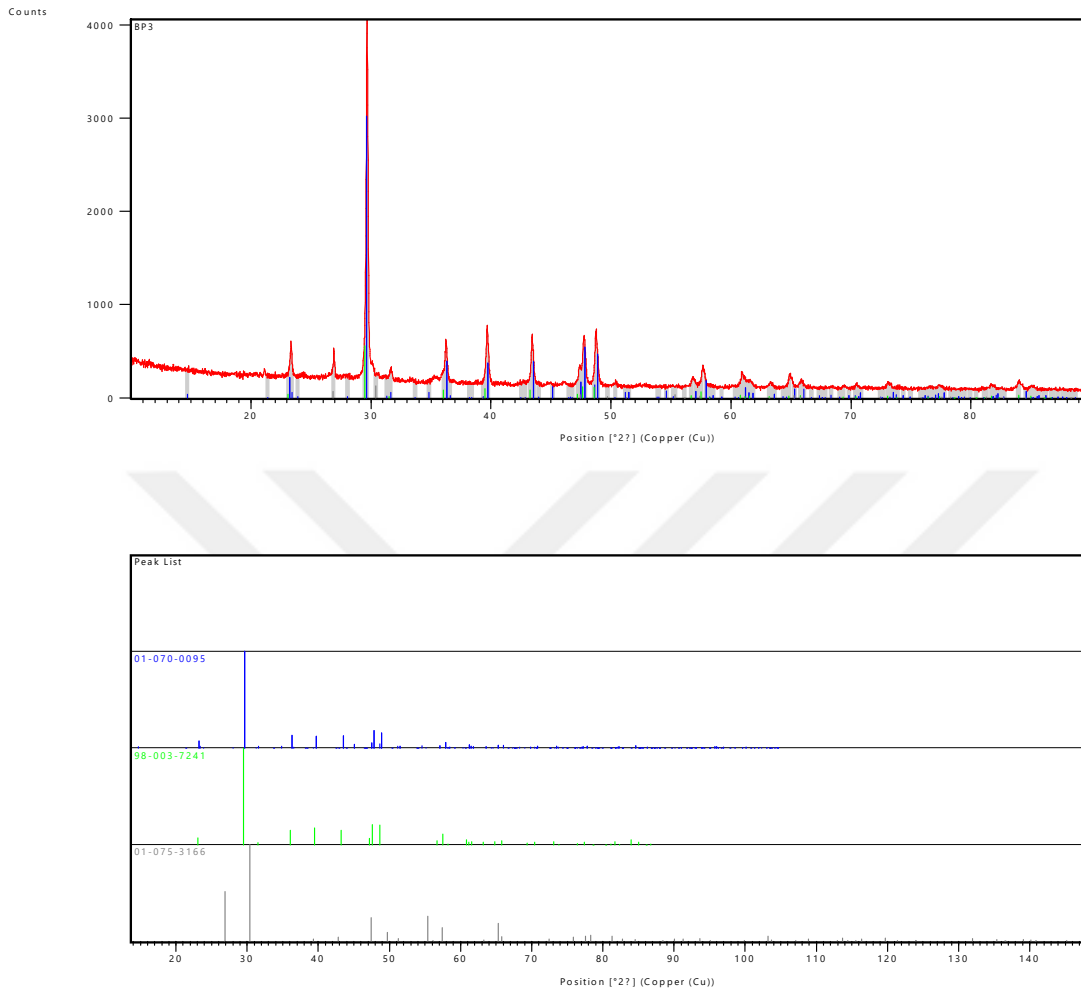
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-070-0095	62	Calcium Carbonate	0.000	0.767	Ca (C O3)
*	98-003-7241	76	Calcite	0.000	0.129	C1 Ca1 O3
*	01-078-1254	38	Silicon Oxide	0.000	0.076	Si O2

Şekil Ek-3. 10. BH2 numunesi XRD analizi sonuçları

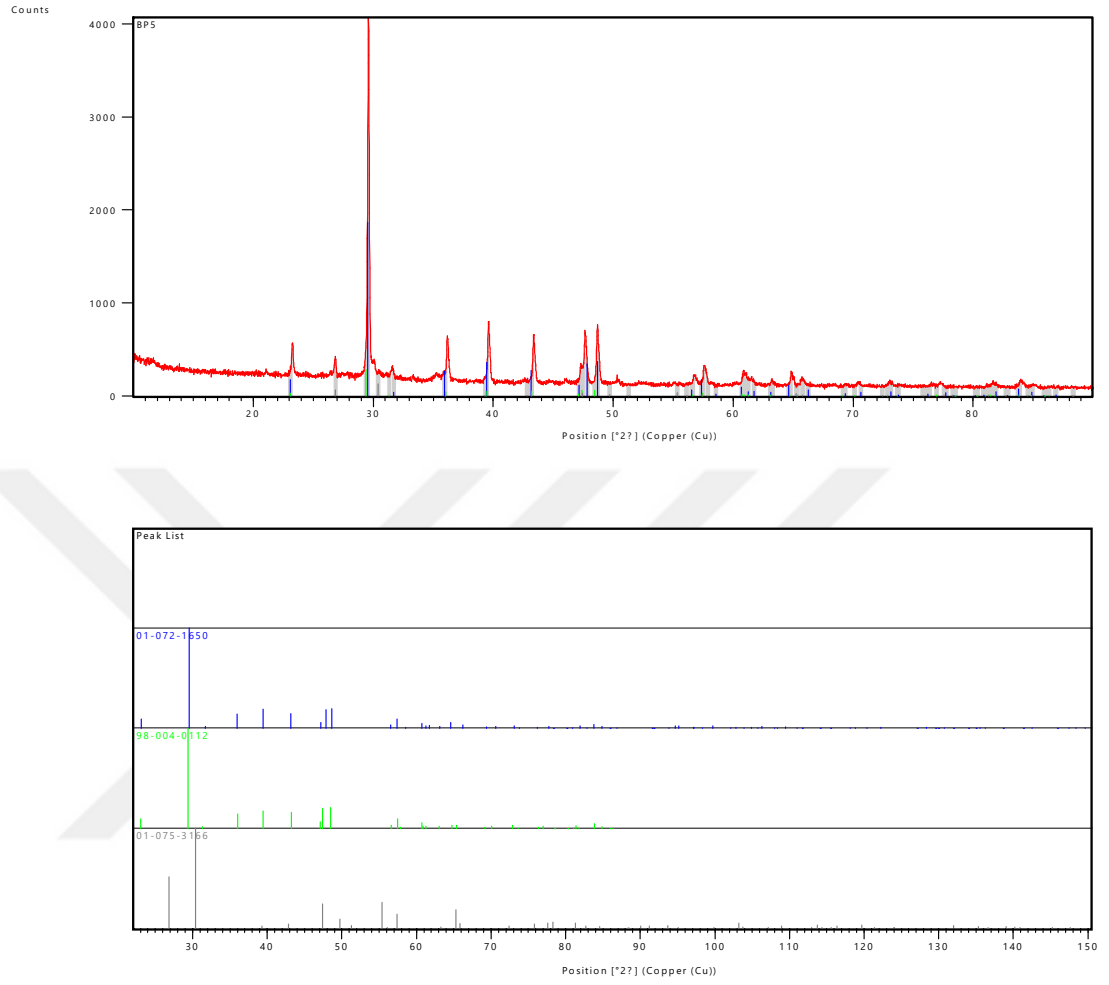
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-070-0095	60	Calcium Carbonate	0.000	0.743	Ca (C O3)
*	98-003-7241	81	Calcite	0.000	0.138	C1 Ca1 O3
*	01-075-3166	22	Silicon Oxide	0.000	0.032	Si O2

Şekil Ek-3. 11. BP3 numunesi XRD analizi sonuçları

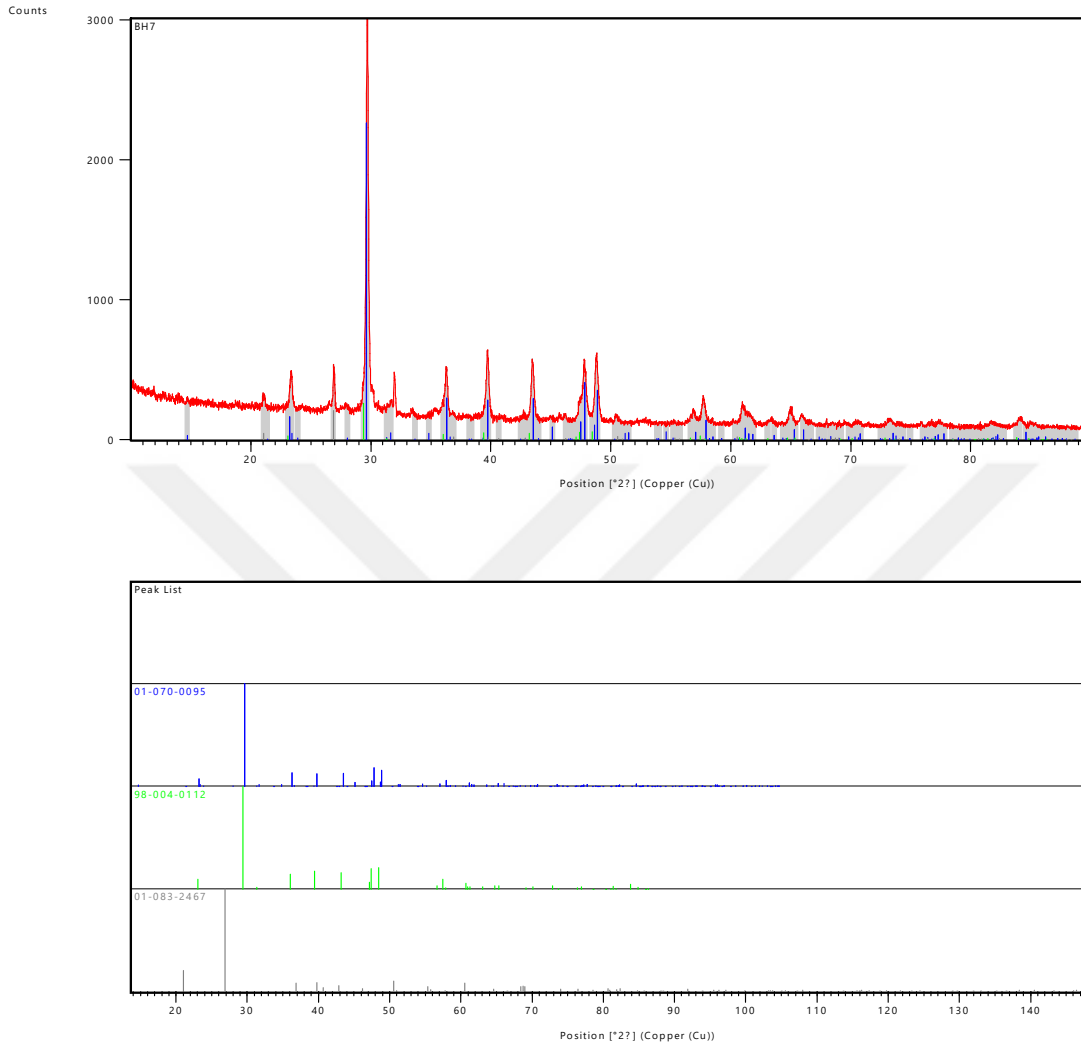
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-072-1650	57	Calcium Carbonate	0.000	0.458	Ca C O3
*	98-004-0112	57	Calcite	0.000	0.070	C1 Ca1 O3
*	01-075-3166	23	Silicon Oxide	0.000	0.031	Si O2

Şekil Ek-3. 12. BP5 numunesi XRD analizi sonuçları

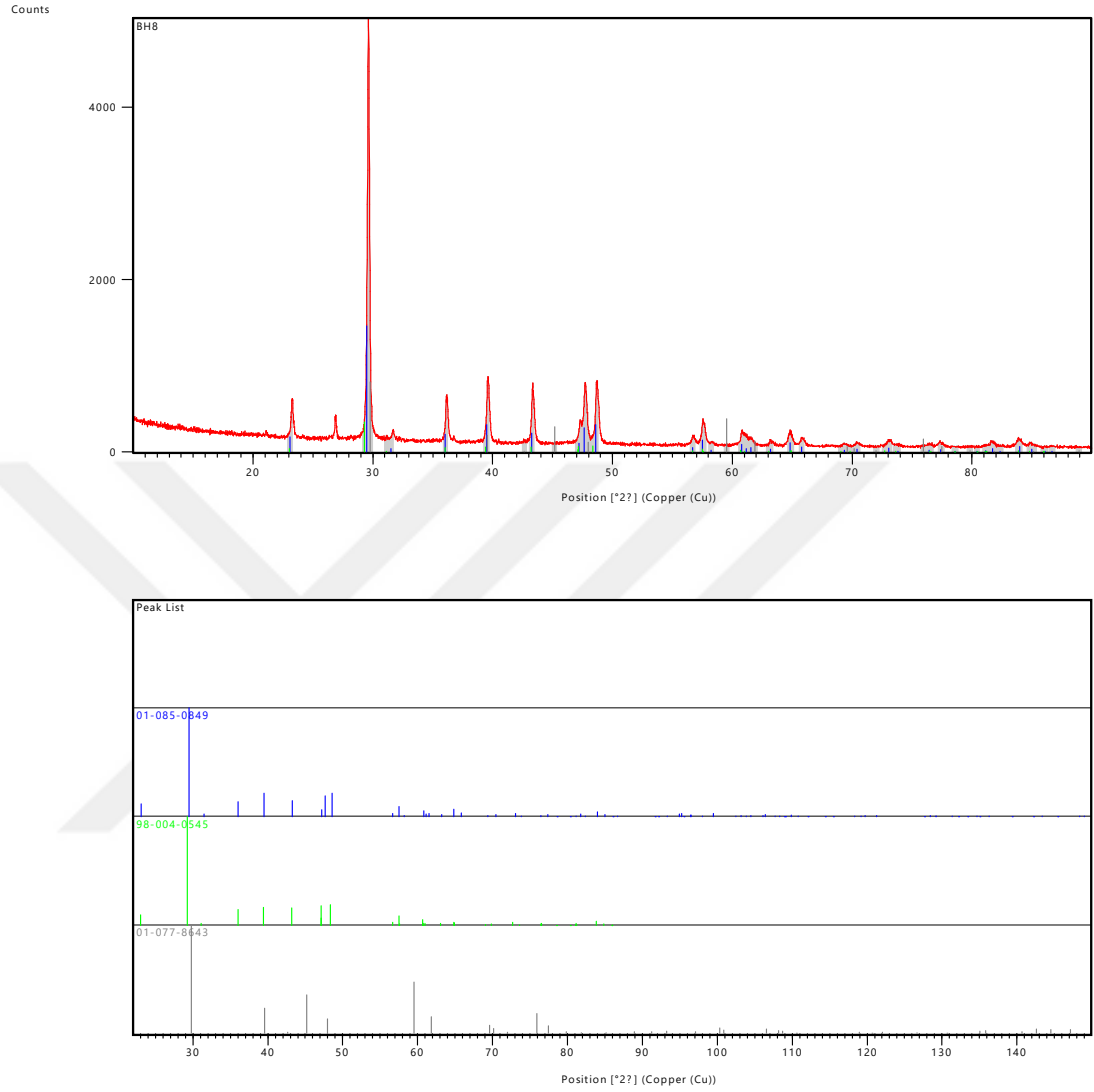
Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-070-0095	59	Calcium Carbonate	0.000	0.750	Ca (C O3)
*	98-004-0112	52	Calcite	0.000	0.086	C1 Ca1 O3
*	01-083-2467	29	Silicon Oxide	0.000	0.069	Si O2

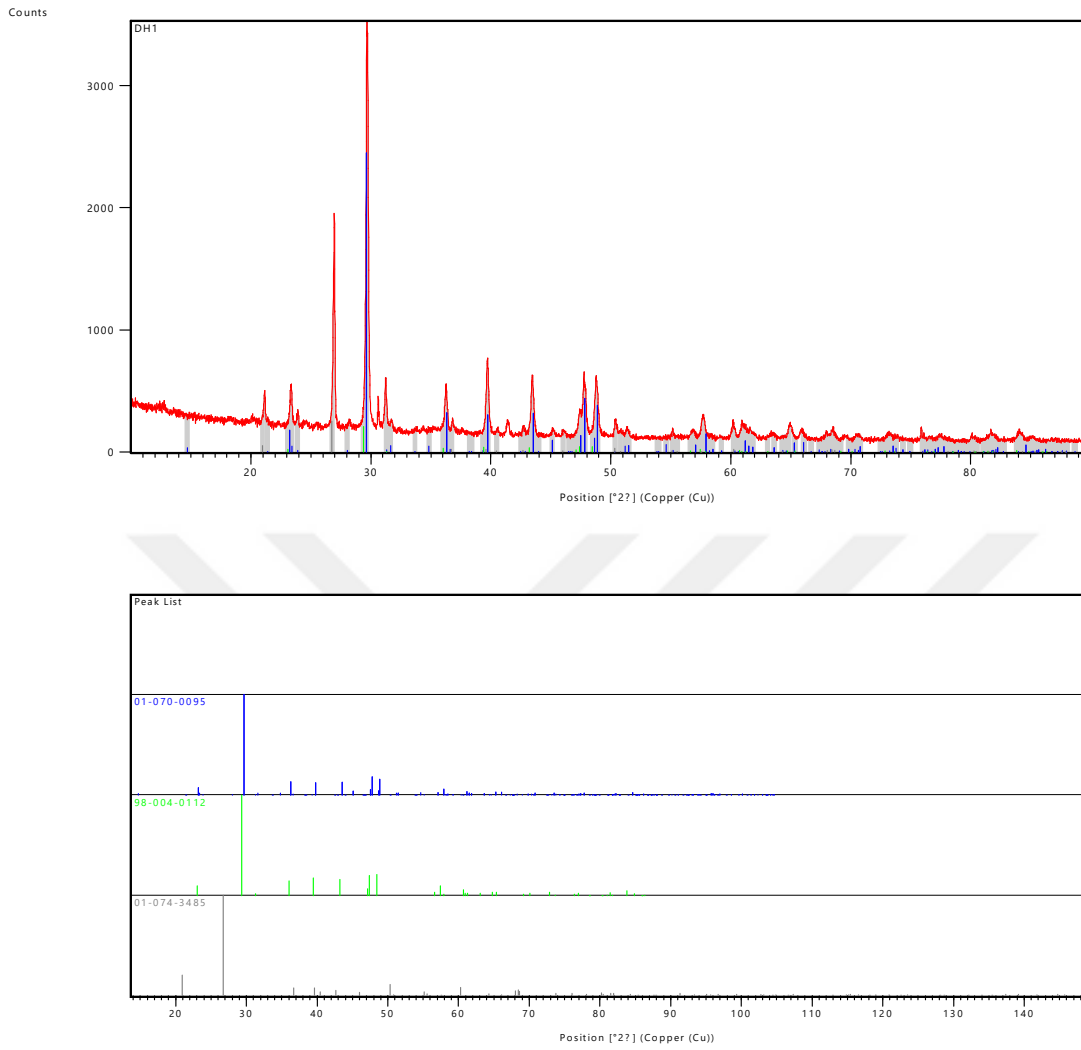
Şekil Ek-3. 13. BH7 numunesi XRD analizi sonuçları

Ek-3



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-085-0849	87	Calcium Carbonate	0.000	0.290	Ca (C O3)
*	98-004-0545	74	Calcite	0.000	0.068	C1 Ca1 O3
*	01-077-8643	24	Silicon Oxide	0.000	0.160	Si O2

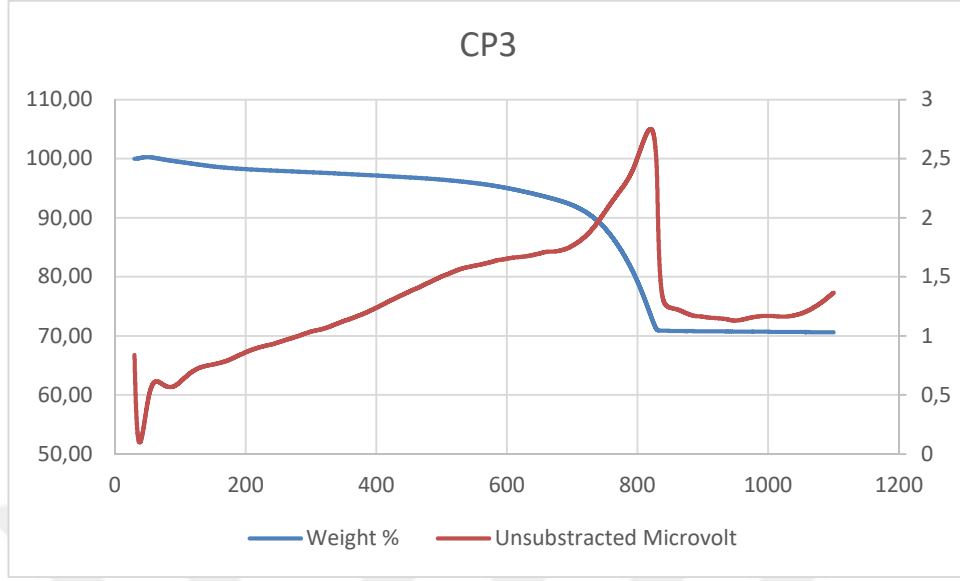
Şekil Ek-3. 14. BH8 numunesi XRD analizi sonuçları



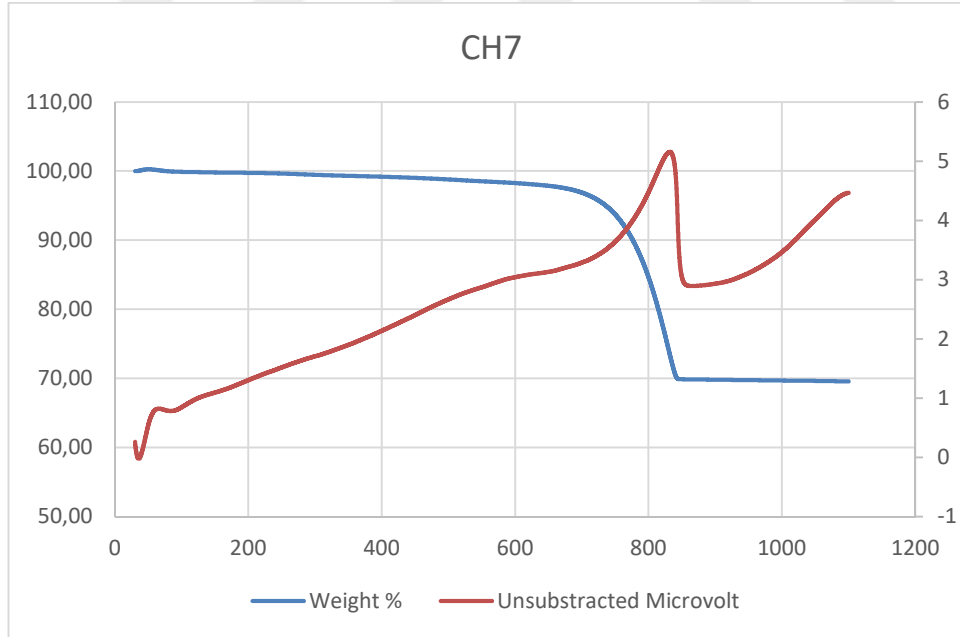
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-070-0095	60	Calcium Carbonate	0.000	0.692	Ca (C O3)
*	98-004-0112	51	Calcite	0.000	0.058	C1 Ca1 O3
*	01-074-3485	56	Silicon Oxide	0.000	0.071	Si O2

Şekil Ek-3. 15. DH1 numunesi XRD analizi sonuçları

Ek-4 Harç ve Sıva Numunelerinin TG-DTA Sonuçları

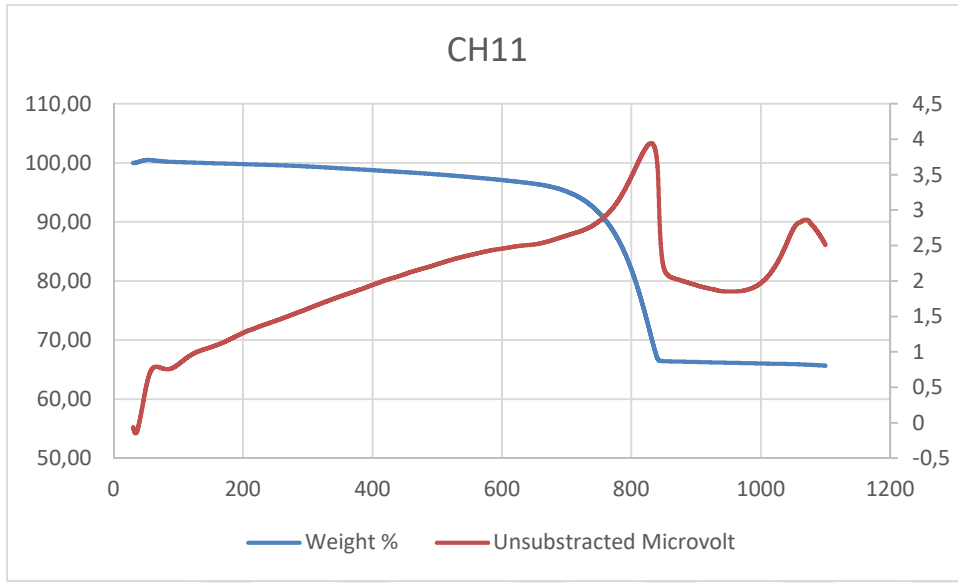


Şekil Ek-4. 1. CP3 numunesi TGA/DTA sonuçları



Şekil Ek-4. 2. CH7 numunesi TGA/DTA sonuçları

Ek-4

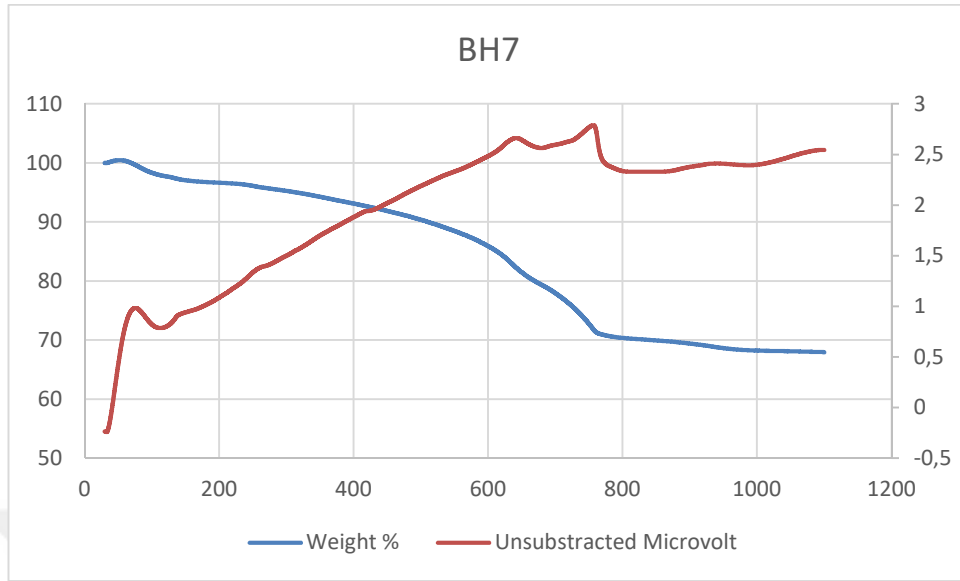


Şekil Ek-4. 3. CH11 numunesi TGA/DTA sonuçları

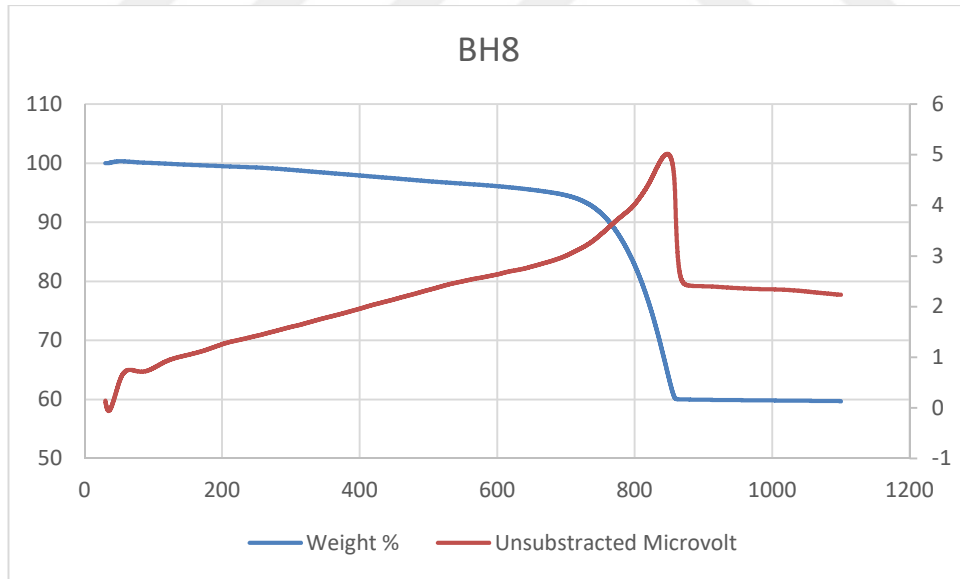


Şekil Ek-4. 4. BP3 numunesi TGA/DTA sonuçları

Ek-4

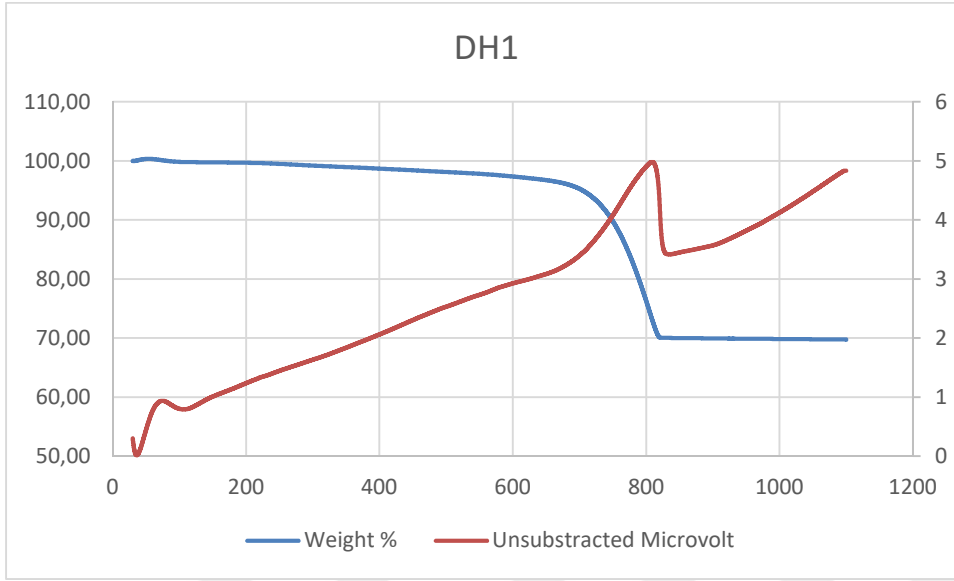


Şekil Ek-4. 5. BH7 numunesi TGA/DTA sonuçları



Şekil Ek-4. 6. BH8 numunesi TGA/DTA sonuçları

Ek-4

**Şekil Ek-4. 7. DH1 numunesi TGA/DTA sonuçları**

ÖZGEÇMİŞ

Naim IŞIK
naim_isik@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans 2010-2014	Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray
Lisans 2006-2010	Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Afyon

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Matematik Öğretmeni 2016-2017	Metropol Eğitim Kurumları Antalya Şubesi, Antalya
Şantiye Şefi 2015-2016	Vikavt İnşaat Konya-Akören Yol Yapım Çalışması, Konya