

**ESKİ KNİDOS / BURGAZ KAZISINDA ELE GEÇEN METAL ESERLERİN
ARKEOMETRİK YÖNDEN İNCELENMESİ**

Hüseyin TANRIKULU

YÜKSEK LİSANS

Arkeometri Anabilim Dalını



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ESKİ KNİDOS / BURGAZ KAZISINDA ELE
GEÇEN METAL ESERLERİN
ARKEOMETRİK YÖNDEN İNCELENMESİ**

Hüseyin TANRIKULU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arkeometri Anabilim Dalı

**Ocak-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin TANRIKULU tarafından hazırlanan “Eski Knidos/Burgaz Kazısı’nda Ele Geçen Metal Eserlerin Arkeometrik Yönden İncelenmesi” adlı tez çalışması 25/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Arkeometri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Mahmut AYDIN

Danışman

Doç.Dr. Mahmut AYDIN

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Murat BAYAZIT

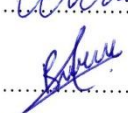
Üye

Dr.Öğr.Üyesi Burcu KIRMIZI

İmza


.....

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hüseyin TANRIKULU

Tarih: 25.01.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESKİ KNİDOS / BURGAZ KAZISINDA ELE GEÇEN METAL ESERLERİN ARKEOMETRİK YÖNDEN İNCELENMESİ

Hüseyin TANRIKULU

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Arkeometri Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Mahmut AYDIN

2019, 98

Jüri

**Doç. Dr. Mahmut AYDIN
Dr. Öğr. Üyesi Murat BAYAZİT
Dr. Öğr. Üyesi Burcu KIRMIZI**

Burgaz antik kentinde 1993 yılından bu yana düzenli olarak sürdürülmekte olan arkeolojik kazılarda gün yüzüne çıkarılan metaller incelenmiştir. Yüksek lisans tez çalışmasında 1996-2016 yılı kazı sezonu sonu arkeolojik çalışmalarda ele geçirilen tasnif dışı metal eserler arkeometrik olarak incelenmiştir. Bu amaçla, tahribatsız arkeometrik analiz metotları kullanılarak 48 adet sergilenmeye uygun olmayan tasnif dışı metal eserlerin Taşınabilir Enerji Dağılımlı X Işınları Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) analizleri yapılmıştır. Analizleri yapılan tasnif dışı eserlerin hepsi Burgaz (Palaia Knidos) antik kentinde 1996-2016 yılları arasında South East (SE) ve North East (NE) sektörlerinde yapılan kazı alanlarından farklı zamanlarda, farklı açmalarda ve farklı derinliklerde ele geçirilen örnekler olup bu tez çalışmasında bir arada tanıtılmaktadırlar. Örnekler esas itibarıyla Klasik ve Helenistik dönemlere tarihlendiği düşünülen örneklerdir. Tarihi ve arkeolojik eserlerin analizleri için birçok analiz yöntemi ve tekniğinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada arkeometri’de kullanılan tahribatsız analiz yöntemleri kullanılarak çalışılan malzemeye herhangi bir zarar vermeden esere ilişkin bilgi alınabilen teknikler ele alınmıştır. P-EDXRF analiz yöntemiyle eserlerin kimyasal kompozisyonları belirlenerek bu eserlerin hangi elementlerden oluştuğu ve element yüzdelikleri hakkında detaylı bilgiler edinilebilmiştir. Bununla birlikte SEM-EDX analizinde ise Burgaz antik kentinin metal eserlerin teknolojisi ve üretim teknikleri hakkında ileri bilgiler edinilmiştir. Yapılan her iki analiz tipinde de 48 adet tasnif dışı metal örneklerin ana ham maddesinin bakır olmakla birlikte örneklerin yüksek oranda kalay alaşımlı olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra bu yüksek kalaylı metal örneklerin bazılarında yüksek ve az oranda kurşun alaşımı tespit edilmiştir. Aynı zamanda analizler sonucunda bu örneklerin az ve iz oranda demir içerdikleri görülmüştür. SEM görüntüleri incelendiğinde ise herhangi bir darp izinin rastlanmamasından dolayı örneklerin döküm ile yapıldıkları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arkeometri, Burgaz, Datça, Demir, Kalay, Kurşun, Metal, NE, P-EDXRF, SEM-EDX, SE

ABSTRACT

MS THESIS

ARCHAEOOMETRIC ANALYSIS OF METAL ARTIFACTS OF ANCIENT KNIDOS/BURGAZ EXCAVATION

Hüseyin TANRIKULU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ARCHAEOOMETRY**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mahmut AYDIN

2019, 98 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Mahmut AYDIN

Asst. Prof. Dr. Murat BEYAZİT

Asst. Prof. Dr. Burcu KIRMIZI

The archaeological excavations of the ancient city of Burgaz/Datça-Turkey, which has been regularly carried out since 1993, have been explored. In this thesis, it is aimed to investigate non - graded metal works which were found during the archeological studies of 1996-2016 excavation season. For that purpose, non-destructive analyses were performed, Portable Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (P-EDXRF) and Scanning Electron Microscopy (SEM-EDX), for non-classified 48 pieces metal works which are not suitable for exhibition. All the unclassified metal artifacts analyzed belong to the ancient city of Burgaz (Palaia Knidos) uncovered between 1996-2016 in the South East (SE) and North East (NE) sectors at unearthed in different times, different trenches and at different depths are studied in thesis. The examples are considered to be dated to the Classical and Hellenistic periods. Many analysis methods and techniques are used for characterization historical and archaeological artifacts. In this study, non-destructive analysis methods preferred in archeometry are used and techniques that can be obtained from the work without any damage are discussed. By using the P-EDXRF analysis method, the chemical composition of the artifacts can be determined and the elements of these works and the elementary percentages of the works have been obtained. Beside SEM-EDX analysis provides comprehensive information about the technology and production techniques of metal works of the ancient city of Burgaz. In both analysis types, the main raw material of 48 non – classified metal samples were found to be, but the samples were high - tin - alloyed. In addition, high and small amounts of lead alloys were detected in some of these high tinned metal samples. In addition, these samples were found to contain low and trace amounts of iron. Considering the SEM images, it was deduced that the samples were produced by casting technique because of the absence of any minting traces.

Key words: Archaeometry, Burgaz, Datça, Iron, Tin, Lead, Metal, NE, P-EDXRF, SEM-EDX, SE

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmamın tüm aşamalarında değerli zamanını, bilgi ve desteklerini benden esirgemeyen, arkeometri dalındaki bilgi birikimini aktararak beni yönlendiren, danışman hocam ve Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı Bölüm Başkanı ve kurucusu Doç. Dr. Mahmut AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tasnif dışı metal örneklerin temininde büyük destek olan ve çalışma izni veren Burgaz (Eski Knidos) Kazı Başkanı Prof. Dr. Numan TUNA'ya ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Tarihi Çevre Değerlendirme ve Araştırma Merkezi (TAÇDAM) ekip üyeleri Dr. Nadire ATICI ve Dr. İlham SAKARYA'ya teşekkür ederim. Örneklerin SEM-EDX analizlerinin yapılması konusundaki yardım ve katkılarından dolayı, Turkish Cultural Foundation (TCF) Doğal Boya Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı uzmanı Emine Torgan Güzel'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yardımını, dostluğunu ve desteğini eksik etmeyen Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Furkan TANYERİ'ye teşekkürlerimi bildiririm.

Her şeyden öte hayatımın her safhasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Hüseyin TANRIKULU
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
BÖLÜM 1	1
1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	7
2. BURGAZ ÖREN YERİNİN (PLAİA KNİDOS) TARİHSEL VE COĞRAFİ TANIMI	7
2.1. Burgaz Ören Yerine Genel Bir Bakış	7
2.2. Burgaz'ın Konumu	8
2.3. Burgaz'daki Arkeolojik Araştırmalar	9
BÖLÜM 3	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal	11
3.2. Yöntem.....	12
3.2.1. Taşınabilir Enerji Dağılımlı X - Işınları Floresans Spektrometresi (P-EDXRF)	13
3.2.1.1. Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi' nin Çalışma Prensibi	15
3.2.1.2. Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi'nin Avantajları ve Dezavantajları	16
3.2.1.2.1 Avantajları	16
3.2.1.2.2 Dezavantajları	17
3.2.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	17
3.2.2.1. Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (Energy Dispersive X Ray Spectroscopy - EDX) Tekniği.....	21
3.2.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobunda Kullanılan Kimyasal Analiz Yöntemleri.....	21
3.2.2.3. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (SEM-EDX) Analizleri	22
BÖLÜM 4	23
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	23

4.1. Kimyasal Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi	23
4.1.1 Taşınabilir Enerji Dağılımlı X – Işını Floresans Spektrometresi (P–EDXRF) Analiz Sonuçları	23
4.2. Mikroyapı Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi	29
4.2.1. Burgaz Kazısı Tasnif Dışı Metal Örneklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) Analiz Sonuçları.....	29
BÖLÜM 5	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
5.1. Sonuç	43
5.2. Öneriler	48
EKLER	54
EK-1: ŞEKİLLER LİSTESİ	55
EK-2: TABLOLAR LİSTESİ.....	59
EK-3: GRAFİKLER LİSTESİ.....	79
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C : Santigrat derece

% : Yüzde

µm: Mikrometre

BZ: Burgaz

Ed.: Editör

İ.Ö.: İsa'dan Önce

kV: Kilovolt

km: Kilometre

M.Ö.: Milattan Önce

m: Metre

NE: North East

ND: Not Detected (Tespit Edilemedi)

P-EDXRF: Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi

ppm: Milyonda Bir Oranında

SEM-EDX: Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi

SE: South East

SRM: Standart Referans Malzeme

TACDAM: Tarihi Çevre Değerlendirme ve Araştırma Merkezi

vb.: ve benzeri

WDX: Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Spektrometresi

XRF: X-Işınları Floresans Spektrometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Datça Yarımadası Haritası	55
Şekil 2. 2. Burgaz'ın planı	56
Şekil 2. 3. SE Sektörünün Planı	57
Şekil 2. 4. NE Sektörünün Planı	57
Şekil 3. 1. Batman üniversitesi arkeometri anabilim dalında kullanılan P-EDXRF cihazı	58
Şekil 3. 2. P-EDXRF Çalışma prensibi.....	16
Şekil 3. 3. Taramalı elektron mikroskobunun üç boyutlu görünümü	19
Şekil 3. 4. SEM 'de elektron demetinin numune ile etkileşim hacminin temsili gösterimi	20
Şekil 3. 5. Taramalı elektron mikroskobunun şematik çizimi	20
Şekil 3. 6. Taramalı elektron mikroskobu.....	58
Şekil 4. 1. BZ.SE.00.M2 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 2 mm, b 200 µm).....	30
Şekil 4. 2. BZ.SE.00.M2 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (a) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	30
Şekil 4. 3. BZ.SE.07.M13 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 2 mm, b 500 µm)...	31
Şekil 4. 4. BZ.SE.07.M13 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	31
Şekil 4. 5. BZ.SE.09.M23 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 500 µm, b 200 µm, 100 µm).....	32
Şekil 4. 6. BZ.SE.09.M23 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	32
Şekil 4. 7. BZ.SE.08.M15 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 500 µm, b 200 µm, c 20 µm).....	33
Şekil 4. 8. BZ.SE.08.M15 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	33

Şekil 4. 9. BZ.SE.15.M46 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 500 μ m, b 500 μ m, c 50 μ m).....	34
Şekil 4. 10. BZ.SE.15.M46 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	34
Şekil 4. 11. BZ.SE.16.M48 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 200 μ m, b 20 μ m) 35	
Şekil 4. 12. BZ.SE.16.M48 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (a) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	35
Şekil 4. 13. BZ.SE.11.M30 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 50 μ m, b 20 μ m)..	36
Şekil 4. 14. BZ.SE.11.M30 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	36
Şekil 4. 15. BZ.NE.14.M40 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 2 mm, b 500 μ m)37	
Şekil 4. 16. BZ.NE.14.M40 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	37
Şekil 4. 17. BZ.NE.12.M34 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (500 μ m)	38
Şekil 4. 18. BZ.NE.12.M34 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	38
Şekil 4. 19. BZ.SE.15.M43 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 1 mm, b 200 μ m, c 200 μ m).....	39
Şekil 4. 20. BZ.SE.15.M43 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (c) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu.....	39

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. 1. Malzeme karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan fiziksel karakterizasyon teknikleri.....	59
Tablo 3. 1. Burgaz Kazısı tasnif dışı metal örneklerin kazı envanter kodu, çalışma kodu ile analiz numaraları, malzemesi ve metalin türü hakkındaki tanımlamaları	61
Tablo 3. 2. Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları.....	64
Tablo 3. 3. Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim dalında bulunan taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresan spektrometresi (P-EDXRF) ile analiz edilebilen elementlerin sayısı ve elementleri tespit etme limitleri	72
Tablo 3. 4. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi analiz sonuçları	75
Tablo 3. 5. Sertifikalı tunç ve P-EDXRF analiz sonuçları.....	14
Tablo 3. 6. Sertifikalı gümüş ve P-EDXRF analiz sonuçları.....	14
Tablo 3. 7. Alloy Plus (Alaşım Modu)'da tespit edilen elementler	76
Tablo 4. 1. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi analiz sonuçları, tanımlamaları ve ortalamaları	77
Tablo 4. 2. Analizi yapılan 10 adet tasnif dışı metal örneğin SEM-EDX analiz sonuçları	78
Tablo 4. 3. Analizi yapılan 10 adet tasnif dışı metal örneğin P-EDXRF ve SEM-EDX analiz sonuçları	78

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 4. 1. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu) dağılım oranı.....	79
Grafik 4. 2. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Kalay (Sn) dağılım oranı	79
Grafik 4. 3. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu) ve Kalay (Sn) dağılım oranları	80
Grafik 4. 4. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Demir (Fe), Kalay (Sn) ve Kurşun (Pb) dağılım oranları	80
Grafik 4. 5. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu), Kalay (Sn) ve Kurşun (Pb) dağılım oranları	81
Grafik 4. 6. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu), Kalay (Sn) ve Demir (Fe) dağılım oranları	81
Grafik 4. 7. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu), Kalay (Sn), Kurşun (Pb) ve Demir (Fe) dağılım oranları	82
Grafik 4. 8. Az ve iz elementlerin yüzdelik oranları (%)	82
 Grafik 5. 1. Bakır ve bakır alaşımlarının yüzdelik oranları	83
Grafik 5. 2. Bakır ve bakır alaşımlı örneklerin adet sayısı	83

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Ülkemiz, kültür varlıklarının zenginliği açısından dünyanın sayılı ülkeleri arasında yer almaktadır. Sahip olduğu sayısız kültürel mirasıyla geçmişe ışık tutan Anadolu coğrafyası arkeometrik çalışmaların uygulanması için oldukça zengin bir birikime sahiptir. Bu kültürel mirasın korunması çerçevesinde arkeolojik ve tarihi eserler üzerine uygun restorasyon ve konservasyon tekniklerini belirlemek özellikle son yıllarda daha çok gündeme gelmektedir. Bu amaçla çeşitli arkeometrik metotlar geliştirilmiş olup bu kapsamda birçok müze, araştırma merkezleri ve üniversite kurumları ilgili analiz yöntem ve tekniklerini uygulamaktadır. Tahribatsız ve mikro analiz yöntemleri, arkeolojik ve tarihi malzemelerin korunması için büyük bir avantaj sağlamaktadır (Karadağ ve Torgan, 2017). Bu konuda yapılan araştırmalar ileri analiz tekniklerinin ve kullanılan cihazların gelişmesini sağlayarak laboratuvar ortamında çok küçük boyutta (mikron mertebesinde) tahribatlı ve yerinde (in situ) tahribatsız analizlerin yapılabilmesini olanaklı hale getirmiştir (Bakiler, 2013).

Arkeolojik kazı çalışmaları sırasında yerleşim alanlarında seramik, hammaddesini taş ve metalin oluşturduğu küçük buluntuya kadar birçok eser ele geçirilmektedir. Arkeolojideki çalışma metotları da genel olarak bu malzemeler üzerinden gerçekleşmektedir. Bu malzeme gruplarının incelenmesinde, arkeolojik çalışmaların yanı sıra farklı bilimsel alanlardan da destek alınarak disiplinler arası çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Akın ve ark., 2015). Bu çalışmalarda sıklıkla uygulanan tahribatsız arkeometrik analiz metotları olarak P-EDXRF (Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi) ve SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskobu - Enerji Dağılımlı X-Işını Spektrometresi) analiz teknikleri dikkat çekmektedir. Bu yöntemlerle kazılarda ortaya çıkarılan birçok tipteki buluntunun mikro yapı ve kimyasal analizleri yapılarak kimyasal kompozisyonları bulunabilmektedir. Son yıllarda arkeolojik kazı çalışmalarında ele geçen birçok buluntu gruplarından biri olan ve en sık bulunan buluntular içerisinde yer alan metal eserler üzerinde elementel analiz imkânı sağlayan arkeometrik bir çalışma metodu olan P-EDXRF yöntemi ve benzer şekilde kimyasal yapı belirlenmesinde ve mikro görüntülerin alınmasında kullanılan SEM-EDX yöntemi kullanılmıştır.

Ülkemizin üzerinde bulunduğu coğrafya 14 bin yıl öncesine kadar giden ve birbiri ardına gelişmiş zengin bir kültürel mirasa sahiptir. Bu kültür varlıklarının incelenmesi, tanımlanması, korunması ve gelecek nesillere aktarılması hepimiz için çok önemli bir görevdir. Bunları yapabilmek için kimyasal ve fiziksel analizler araştırmacılar için vazgeçilmez birer araçtır. Ancak kültür varlıklarının analizleri ile diğer analizler arasındaki en önemli fark uygulanacak analizlerin bu eserlerde herhangi bir tahribata yol açmamasıdır (Zararsız ve ark., 2011).

Arkeometri, arkeolojik eserleri veya buluntuları fen ve doğa bilimi yöntemleriyle inceleyip disiplinler arası çalışmalarla değerlendiren bilim dalıdır. Arkeolojik kazılarda veya yüzey araştırmalarında çıkarılan buluntuların kimyasal analiz ile matematiksel modelleme ve istatistiksel analiz yoluyla incelenip değerlendirilmesini ifade eder.

Tite (1991) ve Saltık (2010) tarafından arkeometri geçmiş yaşamı anlamaya ve yeniden kurmaya çalışan, arkeolojiye doğru bilgi edinmesinde yardım eden ve önemi giderek artan bir bilim dalı olarak tanımlamıştır. Ayrıca arkeometrinin, arkeolojinin doğa bilimleriyle bağlantısını kuran bir yöntem olduğu ve gelişiminin de arkeolojiden çok doğa bilimlerinin gelişmesine bağlı olduğu ileri sürülmüştür.

Günümüzde yapılan arkeolojik araştırmaların kültür tarihi açısından mümkün mertebe eksiksiz olarak değerlendirilebilmesi için fen ve doğa bilimlerinin çeşitli dallarından birlikte yararlanılan bu yeni bilim alanından diğer ülkelerde olduğu gibi son yıllarda ülkemizde de daha yoğun bir şekilde yararlanılmaya başlanmıştır. Bilindiği gibi eskisinden farklı olarak bugün arkeolojik araştırmalar geçmiş uygarlıkları tarihsel gelişimleri içinde mümkün olduğunca eksiksiz bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu yüzden eski bir kültürün anlaşılabilmesi, tanımlanabilmesi için o kültürü meydana getiren insanların ellerindeki kaynaklardan yararlanma biçim ve derecelerine bağlı olarak ekonomik, teknolojik, sosyal, politik ve sanatsal düzeylerinin aydınlatılması gerekmektedir (Esin, 1985).

Metal, kullanımının keşfinden bugüne kadar toplumların sosyal ve ekonomik gelişimlerinde önemli bir rol oynamıştır. Bu önem insanoğlunun tarihsel gelişiminin ilk dönemlerinin veya evrelerinin teknolojik seviyesine bağlı olarak kullanılan metalin niteliğine bağlı olarak, çağların isimlendirilmesine yol açmıştır. Eski çağların metallere göre isimlendirilmesi metallerin insanlık tarihinde oynadığı önemli rolü göstermektedir. Son yıllarda arkeoloji ve eski tarih gibi kültür bilimleri ile fen bilimleri arasında eski madencilik teknolojisini araştırmak amacını taşıyan arkeometalurji adında yeni bir disiplin oluşmuştur. Arkeometalurjiyi bir yerde eski kültürlerin madenci ustalarını metali

kazanırken ve işlerken izlemek olarak tarif edilebilir. İnsanların metalle tanışması M.Ö. 8. binlere kadar tarihlendirilmektedir. İnsanoğlunun tanıştığı ilk metal bakırdır. Günümüzden 10.000 yıl önce Çayönü Tepesi ve Aşıklı Höyük sakinleri, daha çanak çömlek üretimine geçmeden, yaşadıkları yörelerde doğal olarak bulunan nabit bakırı toplayıp balık oltası, iğne ve boncuk gibi küçük nesneler üretmişlerdir. Metallerin alet olarak kullanılmaya başlaması insanların günlük yaşamlarını ve gelişmelerini önemli ölçüde etkilemiştir. İşte burada arkeometalurjinin önemi anlaşılmaktadır. Arkeometalurjinin başlıca alanları eski dönemlerdeki cevher yatakları işletmeciliğinin ve izabe veya ergitme, döküm, dövmeçilik, kaplamacılık vs. gibi teknolojilerin araştırılması olarak sayılabilir. Arkeometalurji ayrıca metallerin geliş kaynaklarını araştırır. Böylece hem eski kültürlerin teknolojileri hakkında bilgi edinilmekte hem de toplumların ticari ilişkileri hakkında yeni veriler kazanılmaktadır (Yalçın ve ark., 1994; Yalçın, 2013).

1993 yılından beri Burgaz'da yürütülmekte olan arkeolojik kazılarda Klasik Dönem evlerinin bir kısmının M.Ö. geç 4. yüzyılda işlikler şeklinde kullanıldığı saptanmıştır. Bu işliklerin metal ve dokumacılıkla ilişkili oldukları anlaşılmıştır. Analiz gerçekleştirilen metal eserlerin ele geçirildiği SE (South East) ve NE (North East) sektörlerinde yapılan arkeolojik kazılar sonucunda SE ve NE sektörlerinde iki ayrı metal işliği ortaya çıkarılmıştır. NE sektöründe açığa çıkarılan işliklerden birincisi 1998-2000 yılları arasında yapılan kazı çalışmalarında sektörün kuzeyinde ortaya çıkarılan ve büyük olasılıkla demircilikle ilişkili olan işliktir. İ.Ö. 5. yüzyıla ait olup iki evi birbirinden ayıran bir peristasis duvarı İ.Ö. 4.yy sonlarında iptal edilip iki farklı evin bazı bölümleri bu işlikle ilişkili duruma getirilmiştir. Bu alanda üst seviyelerden itibaren seramik parçaları ile birlikte demir cürufları da ele geçmiştir. Bazı kesimlerde ise, yanık, küllü-killi toprak ve karbon parçaları yoğun olarak gözlenmiştir. Bu alanda olasılıkla içinde ateş yandığı için iç tarafları kırmızıya dönüşmüş konglomera bloklardan oluşturulmuş bir fırın saptanmıştır. Bu fırının çevresinde yoğun demir cürufları ve kül görülmüştür. Fırının hemen bitişiğine yerleştirilmiş olan pithos muhtemelen demiri soğutmak amacıyla kullanılmıştır. Tarım toprağından itibaren görülmeye başlayan ve yoğunlaşarak devam eden demirci cürufları, 7 adet demir çivi, yine dolgu içinden gelen killi, karbon parçalı ve yanık tabakalar ve konglomera bloklardan oluşturulmuş fırın bu mekanın bir demirci işliğine ait olduğunu göstermektedir. Konglomera bloklardan oluşan fırının güneyinde iki duvar arasına yapılmış yarım daire şeklinde bir ocak ve in situ durumda bir taşınabilir ocak saptanmıştır. Çalışmalar esnasında bu alanda kurşun atıkları yoğun olarak gözlenmiştir. Ele geçen taşınabilir ocak içinden ve çevresinden yoğun kurşun parçalarının

ele geçmiş olması kurşunun portatif ocaklarda eritildiğini düşündürmektedir. Bu alanda ele geçen demir cürufları ve kurşun atıkları MTA'dan Ergun Kaptan tarafından analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda bu alanda ele geçen cürufların hematit cevheri ergitmesine ait cüruflar olduğu anlaşılmıştır. NE sektöründeki ikinci işlik ise sektörün güneyinde yer almaktadır. 2004 ve 2005 yılı çalışmalarında ortaya çıkarılan bu işlik sektörün doğusunda kuzeydoğu güneybatı doğrultulu uzanan bir caddeye açılmaktadır. Bu işlikte de yine iki duvar arasına inşa edilmiş yarım daire şeklinde bir ocak ortaya çıkarılmıştır. Ocak içinden ve ilişkili mekanlarda yoğun bronz parçalarının ele geçmiş olması ve ele geçen seramik buluntuların genelde kaba kaplar olup günlük evsel faaliyetlerde kullanılan seramik parçalarının ele geçmemiş olması bu alanın bir bronz işliği olduğunu göstermektedir. Yine bu alanda yoğun bronz sikkelere rastlanılmış olması bu işliğin sikke üretimi yaptığını akla getirmektedir. Bu alandaki işlik NE sektörünün kuzeyinde yer alan işliğe göre daha erken tarihlidir (İ.Ö. 4. yy ortaları ve 3. çeyreği). SE sektöründe yapılan çalışmalarda da iki farklı işlik saptanmıştır. Kentin terkediliş evresinden sonra sektörün batısında yer alan kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu caddenin kuzeyinde yer alan mekanlar atölyelere dönüştürülmüştür. Bu sektörde saptanan ilk işlik bu alanın güney tarafında yer alan metal işliğidir. Bu alanda taşlar etrafına yerleştirilen ters bir pithos ele geçmiş, ayrıca yoğun demir cürufları, bronz ve demir çiviler ele geçmiştir. Bu işliğin hemen yanında ise dokumacılıkla ilişkili bir başka işlik saptanmıştır. Bu sektördeki bir başka metal işliği ise kuzeybatı tarafta saptanmıştır. Bu alanda da yine demir cürufları, kül ve bronz atıkları gözlenmiştir (Burgaz kazı arşivi).

Günümüzde teknolojinin gelişimi doğrultusunda birçok analiz tekniği mevcuttur. Arkeolojik öneme sahip herhangi bir nesnenin analiz sürecinde temel hedef tahribatsız yöntemler kullanılması veya tahribatın kaçınılmaz olduğu durumlarda ise bunun asgari düzeyde olmasıdır. Gerçekleştirilmesi düşünülen analiz türleri arkeolojik bir sorunun çözümüne paralel olarak numune veya malzemenin bu analiz türüne imkân verip vermemesi ile belirlenmektedir. Bu nedenle arkeometrik çalışmalarda kullanılabilecek analiz tekniklerinde belirli bir sınırlama yoktur. Arkeolojik materyallerin karakterizasyonu, o dönemin üretim teknolojisinin belirlenmesinde büyük bir rol oynar. Arkeometrik materyallerin karakterizasyonunda, fiziksel ve kimyasal analiz teknikleri kullanılabilir. Tablo 1.1'de sırasıyla malzeme karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan çeşitli fiziksel ve kimyasal analiz türleri görülmektedir (İssi, 2011).

Bir arkeolojik malzemenin karakterizasyonundaki yöntem; numuneye hiç tahribat vermemek veya minimum tahribat vermek olmalıdır. Karakterizasyon yöntemlerinin

seçimi altyapılar doğrultusunda hangi bilgilerin elde edilmek istendiğine göre değişebilir. Her tekniğin birbirine göre avantajı veya dezavantajı olabilir. Örneğin, X-Işını Floresans Spektroskopisi (XRF) arkeometri alanında çok yaygın olarak kullanılan spektroskopik bir analiz yöntemidir. Nicel ve nitel olarak elementel analize imkan vererek orijin belirlenmesinde kullanılabilir. Fakat XRF analizinde numunenin toz olarak hazırlanması gerekir ve eser (iz) elementlerin belirlenmesinde bazı sıkıntılar gözlenebilir (Özçatal, 2013).

Son yıllarda analiz teknikleri tahribatsız, hızlı, doğru, güvenilir ve pratik olması nedeniyle kültür varlıklarının tanımlanması, tarihlendirilmesi, yapıldığı teknolojiler hakkında bilgi edinilmesi, malzemenin değişimi ve yapıldıkları dönemin sosyoekonomik alanlarında bilgi edinilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle tüm dünyada yaygın olarak kullanılmakta olup bu tip analizler koruma işleminin de ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Karydas, 2007; Bayley ve Eckstein, 2004).

Arkeolojik eserlerin herhangi bir zarar görmemesi ve ileri bilgilerin elde edilmesi önem arz etmektedir. Bu yüzden “Tahribatsız Muayene Metotları”, adından da hemen anlaşılacağı üzere, uygulandığı obje veya malzemeye herhangi bir hasar ve kayba neden olmadan, malzeme veya objenin özellikleri hakkında bilgi verebilen teknikler olarak nitelenmektedir. Dolayısıyla, incelenmek istenen obje veya malzemenin bizzat kendisi üzerine uygulanabilmektedir. Bu bağlamda, tek ve yegâne olan antik ve arkeolojik eserlerin incelenmesi için tahribatsız muayene metotları tercihen uygulanan teknikler olmaktadır (Tuğrul, 2013).

Bu konuda gelişen teknolojiyle, günümüzde tahribatsız muayene metodu kapsamında farklı birçok teknik bulunmaktadır. Tahribatsız bu teknikler arasında önemli teknik olan P-EDXRF ve SEM-EDX teknikleri olmaktadır (Tuğrul, 2014).

Hasarsız / tahribatsız analiz yöntemi, malzemedeki herhangi bir hasar oluşmaması, özellikle, yerine konması mümkün olmayan antik ve arkeolojik eserlerin incelenmesi açısından son derece uygun teknikler olarak nitelenir (Tuğrul ve Darga, 2000).

Metal eserler ait oldukları dönemin gelişmişlik düzeyini ve zenginlik ölçüsünü yansıtan önemli arkeolojik verilerdir. Bu arkeolojik eserlerin değerlendirilmesinde izlenen en önemli yol eserlerin analizinin yapılmasıdır. Buna paralel olarak bu tez çalışmasında, Burgaz (Eski Knidos) kazı alanında 1996-2016 yılları arasında iki farklı alanda South East (SE) ve North East (NE) sektörlerinde yürütülen arkeolojik kazılar sonucu açığa çıkarılmış olan tasnif dışı metal örnekler materyalimizi oluşturmuş ve bu metallerin üzerinde tahribatsız analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Bu kapsamda, P-

EDXRF (Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi) ve SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X-Işını Spektrometresi) teknikleri kullanılmıştır. Çalışmadaki bütün tasnif dışı metal örnekler üzerinde öncelikle P-EDXRF analizleri yapılmıştır. Daha sonra seçilmiş 10 adet örneğin mikroyapıları, element içerikleri ve üretim teknolojisi Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (SEM-EDX) kullanılarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı Burgaz (Eski Knidos) kazısında ele geçirilen tasnif dışı metal olarak tanımlanan buluntuların arkeometrik yönden incelenmesi ve elde edilen analiz sonuçları kapsamında metal örneklerin kimyasal kompozisyonlarını ortaya çıkarmaktır. Bununla birlikte alaşım elementlerinin hangilerinin olduğunu saptamak ve aynı zamanda SEM-EDX ile örneklerin mikroyapı, kimyasal yapıları ve yüzey özellikleri (üretim teknolojisi; döküm, dövme tekniği) ile metal işleme teknolojisini tespit edebilmek amacı taşımaktadır. Bu analizler sonucunda, Burgaz ören yerine ait metal eserlerin kimyasal kompozisyonları hakkında önemli veriler elde edilmiştir. Sonuçların bölgenin arkeolojisine ve metalürji tarihine katkıda bulunması beklenmektedir.

BÖLÜM 2

2. BURGAZ ÖREN YERİNİN (PLAİA KNİDOS) TARİHSEL VE COĞRAFİ TANIMI

2.1. Burgaz Ören Yerine Genel Bir Bakış

Muğla ili Datça ilçesi Burgaz mevki arkeolojik alanı bir dizi edebi kaynaktan, Burgaz'ın (Eski Knidos) antik ve klasik dönemlerde zengin ve önemli bir ekonomik merkez olduğunu öğreniyoruz. Tekir Burnu'na Geç Klasik dönemde yerleştirilmeden önce Burgaz ilk olarak bilim dünyasına G. E. Bean ve J. M. Cook tarafından 1952 yılında arkaik ve klasik Knidos olarak tanıtıldı (Sakarya, 2016). Knidos ile ilgili tarihi bilgiler Aeolian, İyon ve Dorlar'ın Anadolu'ya göçüyle M.Ö. 12. yy'dan başlayarak antik metinlerde yer almaktadır (Sevimli, 2016). Anadolu'nun bütün Ege kıyı bölgesi gibi Datça yarımadası da antik çağlarda önemli bir yerleşme alanı olmuştur. O dönemlere ait arkeolojik kalıntılar bütün yarımada da fakat özellikle Tekir burnunda, Betçe düzlüklerinde ve Datça berzahında yoğun olarak bulunur. Betçe düzlükleri ve Datça berzahı ise yarımada'nın tarıma elverişli alanlarıdır. Antik çağlarda buralarda tarıma dayalı olarak gelişme gösteren dağınık yerleşme birimleri kurulmuştur. Bunlardan batıdaki Betçe düzlüklerinde Triopion adındaki yerleşme merkezi gelişmiştir. Datça berzahında ise en önemli antik yerleşme kalıntıları Datça körfezi kıyısında bugün Datça iskelesinin 1,5 km kadar kuzeydoğusundaki Dalacak burnu ve Burgaz düzlüğünde bulunmaktadır. Bütün Datça yarımadasında Helenistik dönem öncesine ait en zengin yüzey buluntularına burada rastlanmıştır. Yüzey buluntularına göre Eski Knidos kentinin ilk kuruluş alanı Dalacak burnu üzerinde yer tutmuş, ilk limanlar bu burnun Güneybatı ve Kuzeydoğusundaki küçük koylarda kurulmuştur. Yerleşim alanı daha çok Dalacak'tan Kuzeydoğuya, Burgaz düzlüğüne doğru yayılmıştır. Kemercik, Kanırcak, Tülü, Çalca tepelerinin yamaçları ve daha batıdaki etek düzlükleri ise en yakın ve yoğun tarımsal kullanım alanları olmuştur. Yeni yeni düzenlenen bazı zeytinlikler dışında bugün pek kullanılmayan bu alanların, antik çağlarda zeytinlik ve bağ olarak yoğun biçimde kullanıldığını gösteren yapay tarım sekileri hâlâ tanınabilmektedir. Eski Knidos kent alanında bugün ayakta kalmış hiç bir önemli yapı yoktur. Yalnızca yer yer kenti koruyan surların kalıntıları görülür. Bunlar birkaç sırası kalmış iri blok taşlardan örülmüş kalın duvarlardan ibarettir. Yapı olarak ayrıca Dalacak burnu üzerindeki su sarnıcı ve bunun

eteğinde kıyıdaki duvar ile liman mendirekleri dikkati çekmektedir. Burgaz (Eski Knidos) kıyı şeridinde 4 adet antik liman bulunmaktadır. Antik Kentin limanları, belirlenebilen yapılaş sırasına göre 1 den 4'e kadar numaralandırılarak L1, L2, L3 ve L4 kısaltmaları kullanılmıştır. Bunlardan kuzeydeki L1 ve L4 limanlarının ticari amaçlarla, güneydeki L2 ve L3 limanlarının ise daha çok askeri amaçlarla yapılmış oldukları sanılmaktadır. Burgaz, Bean ve Cook (1952) tarafından "Eski Knidos" olarak tanıtılır (Kayan, 1989). Bu araştırmacılara göre, Knidos kenti önce Dalacak - Burgaz'da kurulup gelişmiş daha sonra Knidoslular kentlerini Datça Yarımadası'nın ortalarında yer alan Burgaz'dan en uçtaki Tekir'e, İ.Ö 4. yüzyılda taşıdıkları 1952'de yayınlanan bir çalışmada G. E. Bean ve J. M. Cook tarafından ileri sürülmüştür (Tuna, 2008). Bu hipotezin geçerliliğini sınamak ve modern kentsel gelişmeler ile yok olma tehlikesi karşısında bulunan Burgaz sit alanının belgelenerek kurtarılması ve korunması için Orta Doğu Teknik Üniversitesi tarafından 1993 yılından itibaren arkeolojik çalışmalar Prof. Dr. Numan Tuna başkanlığında sürdürülmektedir (Tuna, 1994). Burgaz'da ele geçirilen en eski buluntuların M.Ö 8. yüzyıla tarihlenen Geometrik Dönem yerleşim katlarına ait olduğu tespit edilmiştir. Antik yerleşimin M.Ö. 330'larda kısmen terk edildikten sonra, özellikle kıyı kesiminde depolama, liman yükleme, küçük üretim işlikleri ve nekropolis kullanımı içinde dağınık bir yerleşimin devam ettiği kazılar sonrasında ortaya konmuştur (Tuna, 2008).

2.2. Burgaz'ın Konumu

Bu tez için seçilen Burgaz Ören Yeri, antik Karia bölgesine ait Datça Yarımadası olan Knidian Teritoryumu olarak adlandırılmaktadır. Antik Karia bölgesi, kuzeyde Büyük Menderes Vadisi, güneyde Dalaman Çayı, doğudaki Babadağ, Honozdağ, Bozdağı ve batıda Ege Denizi'nin doğal sınırları ile tanımlanabilir. Datça Yarımadası, Karia Bölgesi'nin güneybatısında yer alır ve kuzeydeki İnce Burun Tepe'sinden güneydeki İnce Buruna kadar 65 km uzunluğunda ve 17 km genişliğinde en geniş kesimde ölçülür. Bu alandaki en önemli yerleşim yerlerinden biri olan Burgaz, modern Datça Limanı'nın 2 km kuzeydoğusunda yer alan Burgaz Ovası'nda yer almaktadır (Şekil 2.1) (Sevimli, 2016). Datça yarımadasında en büyük kentsel yerleşim yeri olan bu bölge, "Akropolis" olarak tanımlanan başkent Dalacak Burnu'nda yer almaktadır. Burgaz, deniz seviyesinden 12 m yükseklikte bir burun gibi çıkıntı yapar ve arkeolojik alan yaklaşık 400 m uzunluğunda olan Klasik sur duvarları ile çevrilidir. Surların kuzeybatılarında,

kulelerin ve dalgakıranın temelleri tarafından doğrulanan iki liman kalıntıları vardır. Küçük burun, 45 hektarın üzerinde uzanan eski yerleşim bölgeleri tarafından çevrelenmiştir (Sakarya, 2013). Datça yarımadasında bulunan arkeolojik alanlar özellikle Tekir burnu, Betçe ovaları ve Datça berzahında yoğunlaşmaktadır. Yarımada'nın ekilebilir alanlarından biri olan Betçe ovasındaki yerleşim birimleri çoğunlukla tarım ve dağınık arazilerdir (Atıcı, 2013).

2.3. Burgaz'daki Arkeolojik Araştırmalar

Burgaz (Eski Knidos), Bean ve Cook (1952) tarafından arkeoloji dünyasına tanıtılmıştır. Daha sonra, 1980'li yıllarda ise Prof. Dr. Numan Tuna tarafından yarımada da gerçekleştirilen yüzey araştırmalar kapsamında Burgaz'ın önemi tekrar ortaya çıkarılmıştır (Tuna, 1994; Bean ve Cook, 1952). Datça Yarımadası üzerinde, Helenistik öncesi buluntu veren sit alanında, arkeolojik kazılar 1993 yılından bu yana Prof. Dr. Numan Tuna Başkanlığında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Tarihi Çevre Değerlendirme ve Araştırma Merkezi (ODTÜ-TAÇDAM) tarafından ve Türkiye'deki diğer üniversitelerden bir araştırma ekibi ile yönetilmektedir. Eski Knidos'da 1993 yılından itibaren başlatılan arkeolojik kazılara sistematik olarak devam edilmektedir. 1993 yılında yapılan kazıların başlangıcından bu yana, 20 hektar arkeo-jeofizik araştırmasıyla yoğun bir şekilde araştırılmış ve araştırma sonuçlarına göre toplam 11675 m² alan kazılmıştır. Başlangıç noktası (datum) L1 limanı güneyine düşen bir yerde seçilerek, bu noktadan geçen kuzey - güney ve doğu - batı eksenlerinin sit alanını dört alt - bölgeye böldüğü bir kazı plan kare sistemi benimsenmiştir (Şekil 2.2) (Sevimli, 2016; Tuna, 1994). Yerleşimin stratigrafisini ve genişlemesini belirlemek için kazılar SE (Şekil 2.3), NE (Şekil 2.4), Akropolis ve B11 olmak üzere dört ana sektörde araştırmalar gerçekleştirilmiştir ve akropolis, limanlar, konut alanları, kamu binası ve şehrin ortogonal yerleşimi gibi alanlar araştırılmıştır (Sevimli, 2016). Burgaz yerleşimi ortogonal plan üzerine yayılmış ve sokaklar ile tanımlanan yapı adalarına (*insulae*) bölünmüştür. Analiz gerçekleştiren metal buluntuların ele geçirildiği SE ve NE sektörlerinde yürütülen kazı çalışmalarının asıl amacı konut alanlarının planlarını anlamaktır. SE ve NE sektörlerinde konut alanlarında yürütülen çalışmalar ile üç adet yapı adası ortaya çıkarılmış ve yapı adalarının boyutlarının farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Bu yapı adalarında ortaya çıkarılan konutların büyüklükleri çoğunlukla değişmektedir. Merkezi bir avlu çevresinde konumlanmış olan Burgaz konutlarında iç mekan düzenlemeleri de farklılık

göstermektedir. Avlu kapalı ve yarı-kapalı mekanlarla çevrili olup genelde doğrudan sokağa açılmaktadır. Bu iki sektörde yapılan arkeolojik kazılar sonucunda M.Ö. 5. ve 4. yüzyıllara tarihlenen yapılar ortaya çıkarılmıştır. Kazılar ışığında, Klasik dönem avlulu evlerin çoğunun Arkaik dönem mülkiyet duvarları üzerine kurulduğu anlaşılmıştır. Buna göre Burgaz'daki yerleşimde M.Ö. 6. yüzyıl başından itibaren ortogonal plan uygulandığı görülmektedir. SE ve NE sektörlerinde yürütülen çalışmalarda (sondajlarda) yerleşim stratigrafisinin en erken evresi olan Geometrik dönem seramik parçalarına ulaşılmıştır. Yerleşimin en erken M.Ö. 8. yüzyıla tarihlenmesi açısından önemli olan bu Geometrik dönem seramik buluntuları hiçbir mimari öge ile ilişkilendirilememiştir. SE sektöründe yürütülen çalışmalar sonucunda Klasik dönem yapılaşma faaliyetleri ile M.Ö. 6. yüzyıl yapı katının büyük oranda tahrip edildiği anlaşılmıştır. Bunun sonucu olarak Klasik dönem öncesine ait arkeolojik bulgulara sınırlı alanlarda ulaşılmıştır. Bu sektördeki kazılar ile yerleşim evrelerinin devamlılığını gösteren iyi tanımlanmış M.Ö. 6. yüzyıl tabakaları ortaya çıkarılmıştır. Buna ek olarak, SE sektörünün çeşitli alanlarında yapılan çalışmalar ile Arkaik dönem yerleşim mekânlarının Klasik dönemde yürütülmüş yapılaşma faaliyetleri sonucunda tesviye edilerek yeniden düzenlendiği anlaşılmıştır. Arkaik Dönem duvarları ile uyumlu olan Klasik Dönem duvarlar ve Klasik Dönem yükseltilmiş tabanlar, yerleşim düzeninin Arkaik dönemden itibaren korunarak daha sonraki dönemlerde de kullanıldığını göstermektedir. Burgaz Ören Yeri yerleşim düzeninin arkaik planını, sokak hizalarını ve konutların iç duvarlarını koruyarak M.Ö. 5. yüzyılın ortalarında yeni bir düzen ile yeniden inşa edilmiştir. Burgaz'ın 5. yüzyıla ait yerleşiminin genel düzeni, planda küçük değişiklikler ile M.Ö. 4. yüzyılda da korunmuştur (Atıcı, 2013; Sakarya, 2013).

BÖLÜM 3

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu araştırmanın materyalini oluşturan metal eserler Burgaz Ören Yeri kazı başkanı Prof. Dr. Numan Tuna, başkanlığında yapılan South East (SE) (Şekil 2.3) ve North East (NE) (Şekil 2.4) sektörlerinde farklı yıllarda (1996-2016) ve farklı açmalarda yapılan arkeolojik kazı sonucunda ele geçirilen tüm metal buluntuları temsil edecek şekilde belirlenmiş ve tasnif dışı metal grubunun içerisinde seçilmiş 48 adet tasnif dışı metal örnekten oluşmaktadır. Bu sebeple çalışılan eserler ait oldukları metal gruplarını temsil edecek niteliktedir. Seçilen 48 adet metal örneklerin belgeleme ve tanımlanmasına yönelik çalışma, Burgaz Kazısı koruma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tüm metal örnekler ölçek ile fotoğraflanarak (NIKON COOLPIX L310) belgelenmiş ve analizler sırasında örnekler daha iyi takip edilebilmeleri için Burgaz Kazısı isminin baş harfleri BZ, ele geçirildiği arkeolojik kazı bölgesinin (South East ve North East) baş harfleri, SE, NE ve ele geçirildiği yılların tarihleri ve tasnif dışı metal örneklerin olduğu her bir örneğe Metalin baş harfi olan (M) ile birlikte örnekleri sıralamak için bir sayı kullanılmış ve analiz numarası ile kodlanarak BZ.NE.96.M1.4, BZ.SE.09.M1.6, BZ.SE.09.M2.7, BZ.SE.15.M3.16 şeklinde kodlamaları yapılarak kayıt altına alınmış ve arkeometrik yöntemler kullanılarak fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir (Tablo 3.1). Tahribatsız yüzey analizlerinde; metal yüzeylerinin korozyonla kaplanmış olması, dönemin üretim teknolojisine bağlı olarak alaşımların homojen olmaması ve hammadde kaynağının özgün kimyasal yapısından kaynaklanan farklı alaşım kompozisyonları gibi nedenler yüzünden, verilerin tanımlanmasında ve yorumlanmasında yer yer zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeplerle çalışma yapılacak örneklerin “kirlenmemiş” yani herhangi bir koruma işlemine tabi tutulmamış olması veya uygulanan yöntem veya kimyasalların bilinmesi gerekmektedir. Bu soruna özellikle Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işımları Floresans (P-EDXRF) gibi yüzeysel analiz yapılan yöntemlerde sıkça karşılaşılmaktadır. Dolayısıyla bu tür analizler öncesinde, analiz yapılacak noktanın mümkün olduğunca metalik olmayan ekipmanla mekanik temizlik ile korozyon tabakasından ve yüzey kirlerinden arındırılması gerekmektedir (Karatak ve ark., 2016).

P-EDXRF bir yüzey ölçüm tekniği olduğundan dolayı yapılan analiz metalinin derinlerinden değil yüzeyinden yapılmıştır. Bu yöntem yüzeydeki kirlenme ve korozyonlardan etkilenmektedir (Aydın ve Devecioğlu, 2015). Söz konusu metal eserler, uzun süre toprak altında kaldığından dolayı çevre şartlarından önemli ölçüde etkilenerek korozyona uğramışlardır. Bu yüzden analizi yapılan tüm örneklerin mekanik temizlik çalışmaları Burgaz Kazısı laboratuvarında Uzman Restoratör Burcu Taş tarafından yapılmıştır. Analiz edilen tüm metallerin yüzeyinde belirgin, gözle görülebilen bir korozyon tabakası bulunmamaktadır. Bundan dolayı spektrometrenin yüzeysel kirlenmelerden etkilenmiş olma olasılığı çok azdır. Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi, filtreli analiz yapılarak yüzey kirlilik etkisi minimuma indirilmiştir. Analiz yapılacak yüzeyden korozyon ve yüzey kirlerinin uzaklaştırılmasından sonra ulaşılan özgün materyale ait metalik yüzeyde analiz işlemine geçilmiştir. Bu tez kapsamında üzerinde çalışılan metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları hakkındaki bilgiler sırasıyla Tablo 3.2’de verilmiştir.

3.2. Yöntem

Analitik Kimya yöntemleri, arkeolojide birçok bilinmeyen konuların aydınlatılmasına yardımcı olmaktadır. Bu yöntemler; eserin üretim teknolojisi, hangi bölgede üretildiği ve buna bağlı olarak ticari ilişkiler, üretim çağı, benzerlikleri veya sahteliğini aydınlatılabilir. Amaca yönelik olarak nitel, yarı nicel veya nicel analiz yapılarak eserin ana bileşenleri ve iz element içerikleri saptanmaktadır. Uygulanan yöntemleri ve amaçlarını sınıflamak olasıdır (Kunç, 1985).

Burgaz (Eski Knidos) metallerinin kimyasal kompozisyonun belirlenmesi amaçlı bu tezde, metal eserlerin analizlerinde farklı tahribatsız analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu tahribatsız analiz yöntemleri, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) ve Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) analiz yöntemi ile metal eserler incelenmiştir. Arkeolojik eserlerin tanımlanması için mikro ve tahribatsız analiz yöntemleri 2 başlık altında incelenmiştir.

3.2.1. Taşınabilir Enerji Dağılımlı X - Işınları Floresans Spektrometresi (P-EDXRF)

Jeoloji, çevre (hava, su, toprak), nanoteknoloji, mineraloji, ilaç analizleri, adli tıp örnekleri, biyoloji, boya pigmentleri, tarım ürünleri, hammadde üretimin her aşamasında, kaplama kalınlığı ölçümleri (altın, gümüş, çinko, krom), uzay araştırmaları, arkeoloji ve koruma - onarım gibi pek çok alanda kimyasal analiz yapılabilen bir tekniktir. X-Ray Floresans (XRF) spektrometreleri, malzemelerin elementel kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden biridir (Genç ve ark., 2013). P-EDXRF yöntemi, tahribatsız, hızlı, doğru ve hassas analiz yeteneğine sahip olup; metal, alaşım ve jeolojik örnekler analiz edilebilmektedir. Tahribatsız, hızlı, yerinde ve doğru ölçüm yapabilme yeteneğine sahip bir ölçüm tekniği olan P-EDXRF spektrometresi alaşım, toprak, plastik numuneler içerisindeki kükürt'ten atom numarası 11 ve yukarısı olan elementlerin jeolojik, metal formdaki numuneler içerisindeki majör, minör ve eser miktardaki elementlerin analizleri yapılmaktadır (Zararsız ve ark., 2011). Aynı anda 32 element analiz edilip, sonuçlar, ppm ve elementlerin element olarak yüzdesini (%) verebilmektedir (Aydın, 2013).

Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı'nda bulunan Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresan spektrometresi (P-EDXRF) ile analiz edilebilen elementlerin tarama limitleri Tablo 3.3'de ve Alloy Plus (alaşım modu)'da tespit edilebilen elementler ve sayısı Tablo 3.7' de yer almaktadır. Analizi yapılan metal örnekler üzerinde gözle görülebilen herhangi bir kirlenmeye rastlanılmadığından dolayı analizden önce herhangi bir hazırlık işlemi yapılmamıştır. Analiz sırasında örnekler doğrudan spektrometrenin üzerinde yer alan analiz penceresinin üzerine konularak analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Bu çalışmada yapılan tüm analizlerde eserden parça almadan doğrudan analiz yapma imkânı veren, metal eserlere zarar vermeyen, taşınabilir olmasından dolayı “in situ” analiz imkânı tanıyan, anında analiz sonuçlarına ulaşılabilen ve kültür varlıklarının incelenmesinde kullanımı çok yaygın olan Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) kullanılmıştır (Aydın, 2017). Analiz aşamasında, tüm tasnif dışı metal örneklerin element içerikleri için tahribatsız analiz yöntemlerinden biri olan ve Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı bünyesinde bulunan Olympus, Delta Premium Marka Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) kullanılmıştır. Spektrometre, analiz sonuçlarında doğruluk

sapmasının belirlenmesi için kalibre edilmiştir. Spektrometrelerin doğru analiz yapıp yapmadığını anlamının iki temel yöntemi vardır. Birincisi sertifikalı referans malzemeyi (SRM) analiz ederek sonuçları değerleriyle karşılaştırmaktır (Tablo 3.5). İkinci yöntem ise aynı numuneyi farklı spektrometrelerle test etmektir (Tablo 3.6). Bu tez çalışmasında birinci yöntem tercih edilmiştir. Sertifikalı tunç ve gümüş analiz sonuçları Tablo 3.5. ve Tablo 3.6’da ki gibidir (Aydın ve Zoroğlu, 2018).

Tablo 3. 5. Sertifikalı tunç ve P-EDXRF analiz sonuçları

	Ag	Sb	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Si	Sn	Zn
SRM Tunç (CDA 314UNS C31400) 	0,002	0,006	0,003	90,08	0,007	0,004	1,99	0,002	0,029	7,81
P-XRF Değerleri	ND	ND	ND	90,11	ND	0,019	1,7	0,1	ND	7,89

Tablo 3. 6. Sertifikalı gümüş ve P-EDXRF analiz sonuçları

SRM Gümüş (132x925Zn3) Değerleri 	Ag	Cu	Zn
	92,64	4,53	2,88
P-XRF value	91,95	5,19	2,85

Tablo 3.5. ve Tablo 3.6. değerlendirildiğinde P-EDXRF sonuçlarıyla tunç ve gümüş sertifika değerleri arasında temel elementlerdeki farklılıklar bile % 0,50’nin altında olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı mevcut çalışmada kullanılan spektrometrenin doğru sonuçlar verdiğine dair güvenilir veriler elde edilmiştir (Aydın ve Zoroğlu, 2018).

Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı’nda bulunan ve metal örneklerin element içeriklerinin belirlenmesinde kullanılan spektrometre Şekil 3.1’de görülmektedir.

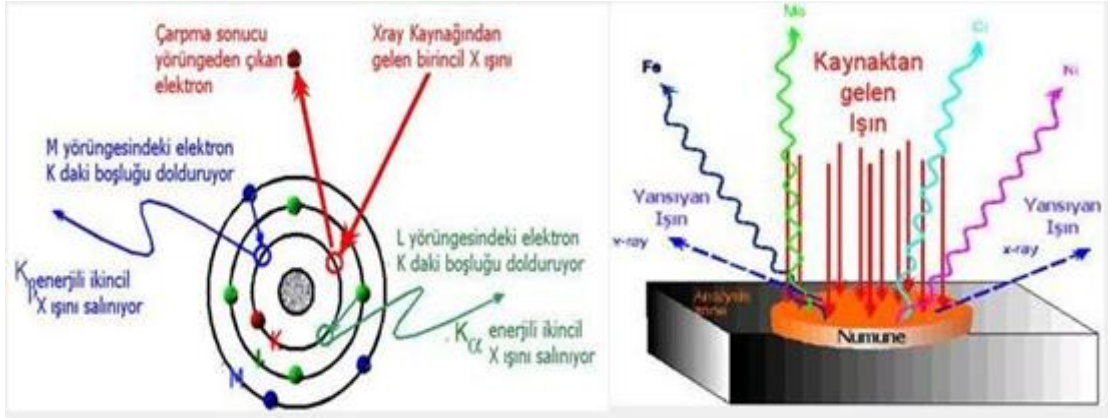
Spektrometrenin farklı modlarında farklı elementler tespit edilebilmektedir. Spektrometrenin toprak kökenli numuneler için Soil ve Geochem modu, saf metal (altın, gümüş, platin vb.) numuneler için ise Precious (değerli metal modu) ve alaşımlar için Alloy Plus Modları bulunmaktadır. Her modda farklı enerjiler kullanıldığı gibi farklı elementler tespit edilebilmektedir. Burgaz metal analizlerinde analiz edilen metaller bakır

alaşımları olduğundan dolayı Alloy Plus modu kullanılmıştır. Analizlerde, oluşabilecek hataları en aza indirmek ve tunç eserlerde birden fazla malzemenin bir arada kullanıldığından dolayı segreposyanlarda düşünülerek eserlerin ön ve arka yüzlerinden analiz edilmiştir. Her metal örnek için analiz süresi 60 saniye seçilerek analiz edilmiştir. Bu modda kullanılan enerji seviyeleri ve tespit edilebilen elementler aşağıdaki gibidir;

Alloy Plus; metal alaşım modunda Tablo 3.7. yer alan tüm elementlerin nitel ve nicel analizleri asgari 30 saniyede yapılabilmektedir ve aynı zamanda 3 farklı ışınla analiz yapılabilmektedir. Işın 1 ile 40 kV'de tespit edilen elementler, ışın 2 ile 13 kV'de tespit edilen elementler ve ışın 3 ile 8 kV'de tespit edilen tüm elementler Tablo 3.7'de yer almaktadır. Ayrıca Işın 1 ile 40 kV'de, ışın 2 ile 13 ve ışın 3 ile 8 kV'de tespit edilen elementler Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı'nda bulunan Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresan Spektrometresi'nin (P-EDXRF) aynı anda tespit edebildiği elementlerdir.

3.2.1.1. Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi' nin Çalışma Prensibi

X-Işını Floresans spektrometresi, yani daha yaygın bilinen adıyla XRF analizi, maddenin elementel kompozisyonunun belirlenmesi için kullanılan tahribatsız bir yöntemdir. Bu yöntemde örneğe, yüksek enerjili X-ışınları uygulanır. Örnek yüzeyinin yüksek enerjili bir X-ışını kaynağı ile ışınlanması sonucu, elementlerde atom çekirdeğine en yakın katmanlarındaki elektronlar atomdan uzaklaşırlar. Daha sonra bir üst veya daha üstteki katmanlarda bulunan elektronlar, enerji kaybederek oluşan bu boşluğu doldurur ve bu süreçte kaybedilen enerji, yine bir X-ışını olarak salınır (Şekil 3.2). Her element farklı elektron yapısında olduğu için, salınan X-ışınının enerjisi de analit elemente özgü ve tanımlayıcı nitelikte olur. Bu yöntem temelde, örnekten geri salınan X-Işınının, bir detektörlerle algılanması ve X-ışınının enerji karakterine göre elementin kimliğinin belirlenmesi prensibine dayanır (Ataman, 2012).



Şekil 3. 2. P-EDXRF Çalışma prensibi (<http://www.repamet.com>)

3.2.1.2. Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi'nin Avantajları ve Dezavantajları

3.2.1.2.1 Avantajları

- Analiz edilecek numune için herhangi bir ön hazırlık uygulaması gerektirmez. Aynı zamanda numunenin hazırlanması diğer analiz yöntemlerine göre kolaydır ve örnek çeşitli boyut ve şekillerde olabilmektedir.
- Tahribatsız bir analiz yöntemi olarak kullanılmaktadır. Analizi yapılacak olan örneği/eseri tahrip etmek, kırmak parçalamak, kesmek veya ufalamak gibi herhangi bir işlemten geçirmeyi gerektirmez.
- Çeşitli fiziksel ve kimyasal yapıda maddeler analiz edilebilmektedir (metal, taş, cam ve toprak).
- Taşınabilir olması nedeniyle taşınmaz kültür varlıkları objelerini analiz etme imkânı sunmaktadır (İn situ analiz imkanı tanınması).
- Bir eserde birden çok analiz imkânı tanınması.
- Hızlı sonuç vermesi (asgari 30 sn) ile birlikte analizlerin sonuçları hemen alınır.
- Düşük fiyat özelliklerinin olması ile satın alma kolaylığı sayesinde bilimsel araştırmaların artması ile önemini artırmaktadır (Aydın, 2013).

3.2.1.2.2 Dezavantajları

- Yüzeyden ölçüm yapan bir tekniktir.
- Kaplama eserlerde kısmen yanıltır.
- Korozyona uğrayan eserlerde, yüzeyi kirli eserlerde analiz sonuçları daha çok korozyon ya da yüzey kirliliklerinin sonuçlarını az miktarda da hammadde sonuçlarını içermesi yüksek ihtimaldir.
- Analiz limiti 10 ppm seviyesindedir (Aydın, 2017).

3.2.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Elektron-optik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (SEM), görüntü iletimini sağlayan, ışık yollarını merceklerle değiştirerek, daha küçük ayrıntıların görülebilmesine olanak sağlayan bir cihazdır. Gerek ayırım gücü, gerek odak derinliği ve gerekse görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, tarama elektron mikroskobunun, araştırma ve incelemelerde geniş ölçüde kullanılan bir aygıt olmasına neden olmuştur. Mikro işlemci ve bilgisayarların mikroskop ile birlikte kullanılması kullanım kolaylığı getirmiş ve yeni araştırma yöntemlerine olanak sağlamıştır (Torucu ve ark 1986).

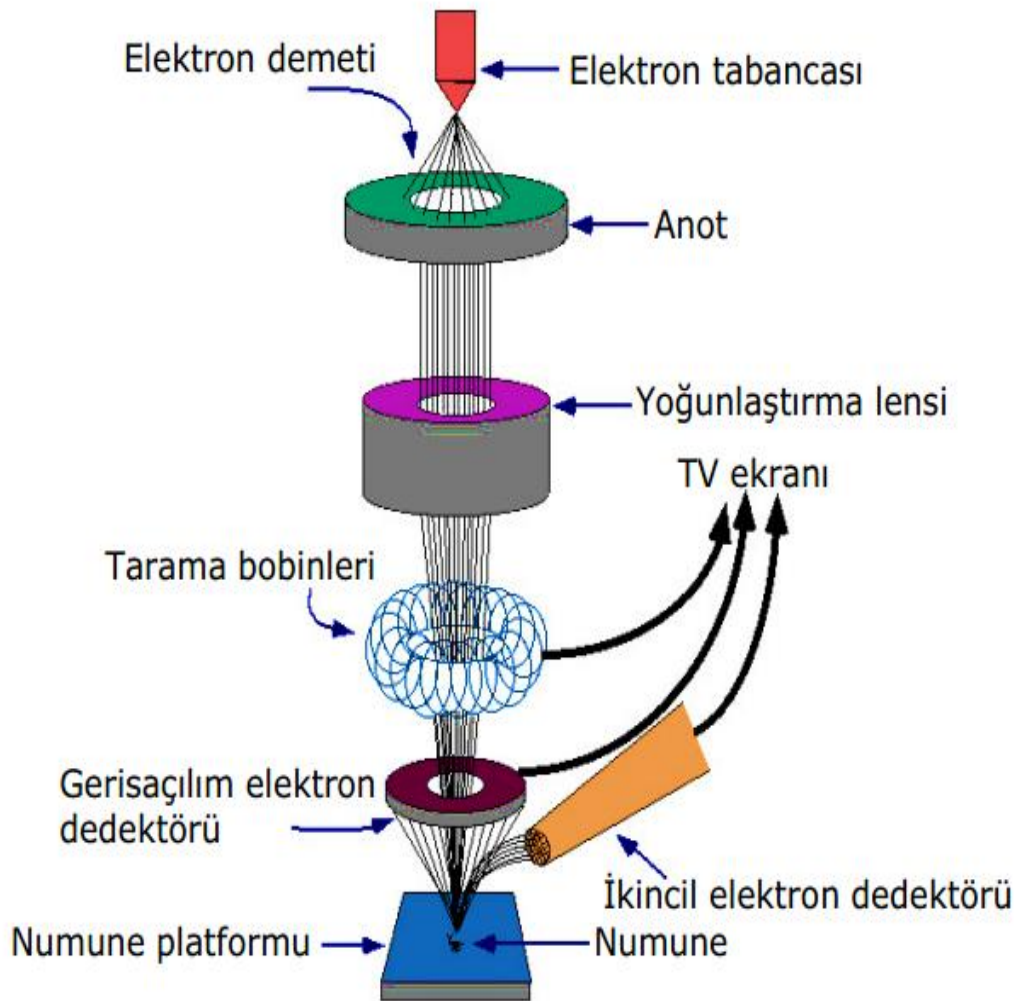
Taramalı Elektron Mikroskobu için örnek hazırlanması oldukça kolaydır. Örnekte aranılan başlıca koşullar, vakumda bozulmamaları ve iletken olmalarıdır. Katı haldeki örnekler genellikle vakuma dayanıklıdır. Metaller gibi iletken örnekler herhangi bir ön hazırlık işlemi yapılmadan doğrudan incelenebilirler. Seramik ve cam gibi yalıtkan örnekler mikroskoba alınmadan önce iletken bir tabaka ile kaplanırlar (paladyum (Pd) ya da Altın (Au)). Görüntü analog elektrik sinyalleri ile oluşturulur. Bu sinyallerin ölçümü ve modifikasyonu elektronik devrelerle yapılmaktadır. Bu şekilde görüntü üzerinden kantitatif (nicel) ölçümler yapılabilir. Görüntü sinyallerinin sayısal hale çevrilmesiyle görüntü üzerindeki ölçüm ve analizlerin bilgisayarla yapılması mümkün olmaktadır ve elde edilen görüntüler kullanılmak üzere kaydedilmektedir (Torucu ve ark 1986).

Mikroskopların tiplerine göre siyah beyaz film üzerine kaydedilen görüntülere film numarası, uyarma gerilimi, büyütme, birim uzunluk işareti, birim uzunluk değeri ve numunenin bulunduğu yükseklik gibi bilgiler de eklenebilmektedir (Goldstein, 1986).

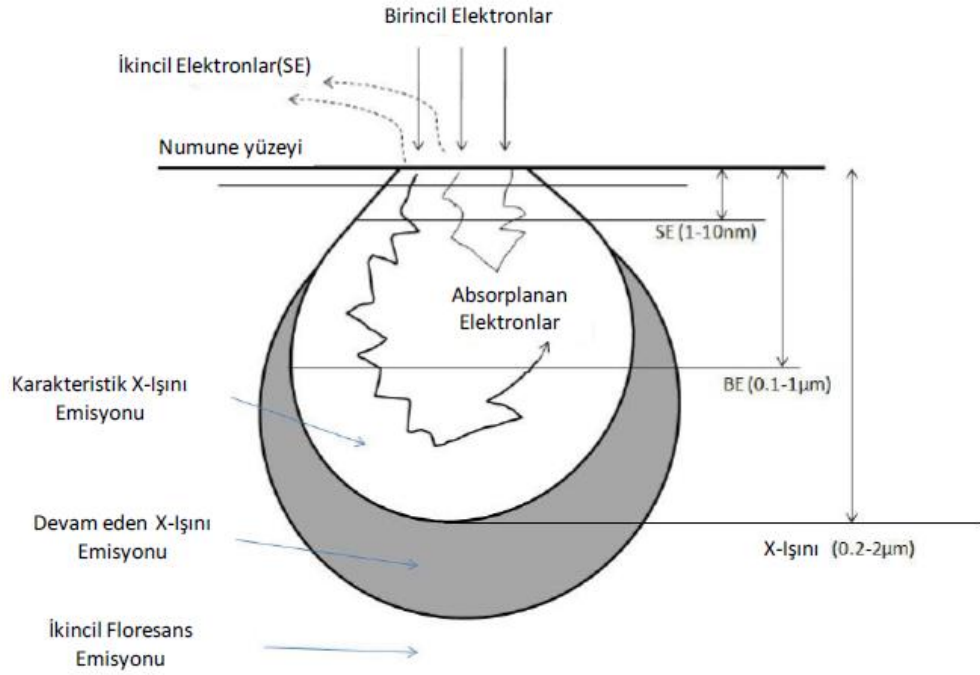
Taramalı elektron mikroskobu optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer Şekil 3.3’de almaktadır (Bilen, 2010).

Taramalı elektron mikroskobunda bulunan elektron tabancası, kararlı bir elektron demeti oluşturacak şekilde düzenlenmiş bir elektron kaynağıdır. Elektron demeti numune üzerine düşürülerek örnek uyarılır. Uyarma sonucu çıkan sinyallerin algılanması ile görüntü oluşur. Örnek üzerine gelen elektronların bir kısmı elastik çarpışma sonucu enerjilerinden fazla bir kayıp vermeden, örnek içinde hareket ederler ve bazıları aynı enerjiyle örnekten dışarı çıkarlar. Demet ile gelen elektronlar, örnekteki atomların elektrostatik alanlarıyla etkileşebilir veya bu atomların yörüngelerindeki elektronlarla çarpışır. Demet elektronları atomların en dış yörüngesindeki elektronlara çarparak bunları yörüngelerinden çıkarabilir. Çekirdeklerine oldukça zayıf bir kuvvetle bağlı olan bu elektronları çekirdekten ayırmak için az bir miktar enerji yeterlidir. Elastik olmayan çarpışmalar sonucu serbest hale geçen bu elektronlara ikincil elektronlar denir. İkincil elektronlar demet elektronları veya geri saçılan elektronlarca oluşurlar. Bu iki kaynağın oluşturduğu ikincil elektron oranı mikroskopta görüntü kalitesini etkiler. Demet elektronlarının oluşturduğu ikincil elektronlar, dar bir hacimden çıktıkları için yalnız bu hacmin özelliklerini yansıtır. Geri saçılmış elektronlar ise daha geniş bir alanda yayılırlar ve bunların oluşturduğu ikincil elektronlar, daha geniş bir hacmin özelliklerini yansıtır. Demet örnek odasına girdiğinde, örnek yüzeyine tek bir noktadan çarpar ve ikincil, geri sayılan, soğrulmuş elektronlar ve karakteristik kaydedilebilir sinyaller ortaya çıkar. Bu sinyallerin uygun bir algılayıcı ile toplanmasıyla bu noktanın topoğrafisi, bileşimi gibi özellikler belirlenir. Bir noktaya odaklanmış elektron demeti, bu noktanın altında ve üstünde genişler. İncelenen örnek eğer pürüzlü ise, demetin çarptığı yüzeydeki çapı, yüzeyin odak düzlemine olan uzaklığına göre genişleyecektir (Torucu ve ark., 1986). Elektron Mikroskobunda elektronların numune ile etkileşim hacimleri Şekil 3.4’de verilmiştir.

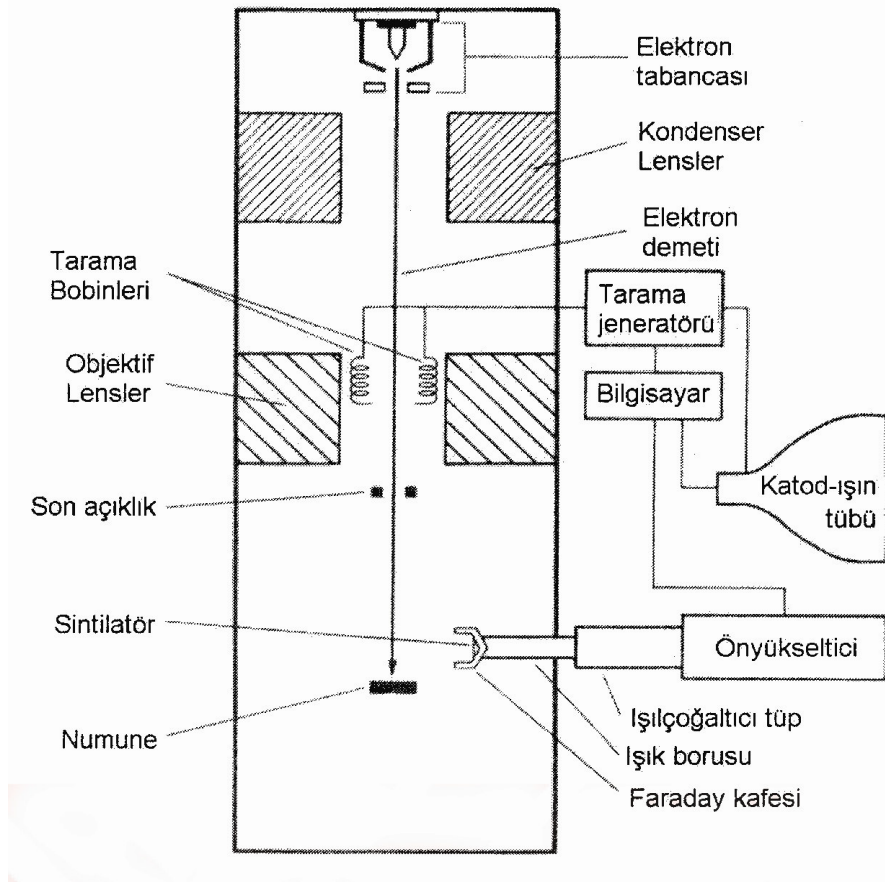
Taramalı elektron mikroskopunda (SEM), X-ışınlarının ölçülmesinde iki teknik kullanılmaktadır. Bunlar, enerji dağılımlı X-ışınları (EDX) spektrometresi ve dalga boyu dağılımlı X-ışınları (WDX) spektrometresidir. Mikroskoba bağlı olan enerji dağılımlı X-ışınları spektroskopisi (EDX) ve dalga boyu dağılımlı X-ışınları spektroskopisi (WDX) yöntemleri yardımıyla yarı kalitatif ve kantitatif elementel analizler yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında, bu iki yöntemden biri olan EDX kullanılmıştır. Taramalı Elektron mikroskopuna ait bir şematik çizimi Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3. 3. Taramalı elektron mikroskopunun üç boyutlu görünümü (Coşkunsu, 2015)



Şekil 3. 4. SEM 'de elektron demetinin numune ile etkileşim hacminin temsili gösterimi (Yaygingöl, 2012)



Şekil 3. 5. Taramalı elektron mikroskobunun şematik çizimi (Goldstein, 1986)

3.2.2.1. Enerji Dağılımlı X-Işınlari Spektrometresi (Energy Dispersive X Ray Spectroscopy - EDX) Tekniği

Çalışma Prensibi: Numunede elektronların çarpmasıyla oluşan X-Işınlari önce bir Berilyum penceresinden geçer ve Silisyum'lu malzemeye ulaşır. Silisyum'a çarpan X-ışını birkaç elektronu Silisyum'un iletkenlik bandına sıçratır ve dış elektron yörüngesinde pozitif yüklü elektron boşluk çiftleri (é hole pairs) oluşturur. Her bir elektron boşluk çiftinin oluşması için 3, 8eV'luk enerji gerekir. Bunun sonucunda üretilecek olan elektron boşluğu sayısı X-ışınlarının enerjisi ile orantılı olacaktır. Berilyum penceresinin kullanılmasının temel nedeni, hafif elementlerden elde edilen X-ışını ağır elementlerden geçirirlerse, çoğu kaybolur. Bu yüzden hafif olan Berilyum pencere kullanılır (Fatih, 2002). EDX ile yapılan analizlerde yüksek büyötmelerde çalışılması tavsiye edilir. Bunun nedeni yüksek büyötmelerde çalışılarak yandan gelen bilgilerin analiz dışında tutulmasını sağlamaktır. Elektron mikroskobu görüntüleri örnek hakkında bir ön bilgi vermediği ve sonuçların bir anlam ifade etmediği durumlarda birleştirilmiş bir analiz tekniğine (EDX) ihtiyaç duyulur. EDX/EDS (Enerji Dağılımı X- Işını Spektroskopisi) bir örneğin bileşenlerinin analizinde ya da kimyasal karakterizasyonunda kullanılan bir analitik tekniktir (Tülay, 2011). Taramalı Elektron Mikroskobu'nda EDX yöntemi uygulanırken, yüzeyden belli bir derinliğe kadar elde edilen görüntülerden faydalanılarak, örneğin korozyon tabakası altında kalmış yüzeyinden bilgiler edinmek mümkün olmaktadır. Bu yöntemde; süratli analiz yapılabilmesi (rapid response) ve aynı anda birçok elementin analizinin yapılabilmesi imkânı sağlamaktadır (Fatih, 2002).

3.2.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobunda Kullanılan Kimyasal Analiz Yöntemleri

1. Nokta Analizi: Elektron demeti analiz edilmek istenen bir noktada durdurulur ve noktanın analizi yapılır. Yalnız unutmamak gerekir ki elde ettiğimiz bilgi minimum 1 μm^3 'lük bir hacimden gelmektedir.

2. Geniş Bir Alandan Analiz: Buradan istenen alan tarama ile elde edilir ve analizler bu alandaki elementlerin averajıdır.

3. Kompozisyon Değişimini Saptamak: Bunun değişik yolları vardır. Geri yansıyan elektronlar kullanılarak elde edilen görüntüde spot analizi yapılabilir. Belirli bir çizgi üzerinde istenen bir elementin değişimi izlenebilir.

4. X-Isınları Haritalaması: Elementlerin dağılımını göstermek için en kullanışlı yöntemlerden biridir. Çizgi analizin iki boyuta taşınması ile elde edilir (Engin, 2008).

3.2.2.3. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (SEM-EDX) Analizleri

Burgaz (Eski Knidos) kazısında elde edilen metal numune (48) gruplarından yapılan P-EDXRF analizleri sonucunda bakır (Cu), kalay (Sn), kurşun (Pb) ve Çinko (Zn) oranları yüksek olan örneklerden 10 adet (BZ.SE.00.M2, BZ.SE.07.M13, BZ.SE.09.M23, BZ.SE.08.M15, BZ.SE.15.M46, BZ.SE.16.M48.67, BZ.SE.11.M30, BZ.NE.14.M40, BZ.NE.12.M34, BZ.SE.15.M43) metal numune seçilerek, numunelerin karakterizasyonu ve mikrokimyasal analizleri Turkish Cultural Foundation (TCF) Doğal Boya Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı'nda (DATU) bulunan TESCAN SBU Easy Probe marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), elementel analizler ise bu mikroskoba bağlı Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi Bruker marka EDX dedektörü (X-Flash detector 410-M) ile çalışılarak analiz edilmiştir. Metallerin görüntüleri BSE (backscattered electron detector) detektörü ile alınmıştır. Metal örneklerin mikrokimyasal içeriklerinin belirlenmesinde kullanılan taramalı elektron mikroskobu Şekil 3.6'da yer almaktadır. Tüm numuneler analiz sonucuna etki etmeyen karbon bandına yapıştırılmış, yüksek vakum altında ve 20 kV enerji düzeyinde çalışılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında özellikle topraktan ve kirlilikten gelen Karbon (C), Oksijen (O), Magnezyum (Mg), Alüminyum (Al), Silisyum (Si), Fosfor (P), Kükürt (S), Klor (Cl), Potasyum (K) ve Kalsiyum (Ca) elementleri ihmal edilmiştir. 10 adet metal numunenin karakterizasyonu için farklı noktalardan çekilen SEM görüntüleri ile bu görüntüler üzerinde işaretlenen alan ve noktalarda yapılan farklı büyütmelelerdeki görüntüler üzerinde EDX ile elementel analizler yapılmış ve tüm analiz spektrumları Şekil 4.1–4.20'de ve Tablo 4.2'de değerlendirilerek sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 4

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Kimyasal Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

4.1.1 Taşınabilir Enerji Dağılımlı X – Işını Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) Analiz Sonuçları

Taşınabilir Enerji Dağılımlı X – Işını Floresans Spektrometresi ile tasnif dışı metal örneklerin spektrometrenin belirleyebildiği kimyasal kompozisyonları belirlenmiş ve metal örneklerin elde edilen analiz sonuçları Tablo 3.4’de yer almaktadır. Element, metalin içeriğinde spektrometrenin belirleyebileceği miktarın altında ise analiz sırasında spektrometre tarafından ND (Not Detected) harfleri ile ifade edilmektedir. Burgaz kazısı metal örnekleri üzerinde yapılan tahribatsız (P-EDXRF) analizlerinin sonuçlarına göre sergilemeye uygun olmayan tüm tasnif dışı metal örneklerinin analiz sonuçları incelendiğinde üzerinde çalışılan metal örneklerin element kompozisyonlarında farklı dağılımların olduğu görülmüş ve metal örneklerin elde edilen analiz sonuçları, tanımlamaları ve ortalamaları Tablo 4.1’de yer almaktadır.

Klasik ve Helenistik döneme ait oldukları düşünülen bu örneklerin büyük çoğunluğu bakır-kalay (tunç) alaşımından oluşan yüksek kalay alaşımlı tunç, saf bakır, kalay, bakır, kurşun ve demir alaşımlarından oluşan;

- a) Yüksek kalay ve yüksek kurşun alaşımlı tunç
- b) Yüksek kalay yüksek kurşun ve demir alaşımlı tunç
- c) Yüksek kalay ve kurşun alaşımlı tunç
- d) Yüksek kalay ve demir alaşımlı tunç
- e) Yüksek kurşun alaşımlı tunç ve kurşun alaşımlı tunç örneklerinden oluştuğu belirlenmiştir.

Analizi gerçekleştirilen örneklerin element türleri ve oranları şu şekildedir;

Cu: Burgaz Ören Yeri’ne ait 48 adet sergilenmeye uygun olmayan tasnif dışı tüm metal örneğin ana elementinin bakır (Cu) olduğunu ve örneklerin element içeriklerindeki maksimum oranının % 99.41 ve minimum oranın ise % 45.07 oranlarında değiştiği ve ortalama değerinin % 83.32 bakır (Cu) içerdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.1).

Sn: Tüm örneklerde rastlanmamakla beraber bir diğer en yüksek oranda rastlanan element kalay (Sn) olup maksimum oranının % 43.14 minimum oranın ise % 0,109 oranında değiştiği ve ortalama değerinin % 17.37 Kalay (Sn) içerdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.1).

Pb: Üçüncü element olan ve genelde tüm örneklerde görülüp sadece iki örnekte (BZ.NE.01.M3.6 ve BZ.SE.16.M48.67 hariç) görülmeyen kurşun alaşımının miktarı % 0.023 ile % 24.04 arasında değişmekte ve ortalama değeri % 2.94'dür.

Fe: Bir diğer alaşım olan ve yukarda bahsedilen bakır alaşımından yapılmış olan iki örnekten birinde (BZ.NE.01.M3.6) görülmeyip bütün örneklerde görülen Demir (Fe) elementinin miktarı % 0,028 ile % 8.12 arasında değişmekte olup ve ortalama değerinin % 1.31'dir.

Zn-Hg: Tüm metal örneklerde görülmeyip bazı örneklerde görülen çinko ve cıva elementleridir. Çinko 14 örnekte, Cıva ise 5 örnekte görülmektedir. Çinko (Zn) % 0.1402 ile % 3 arasında değiştiği, ortalama değerinin 0.40 olduğu ve bununla birlikte Cıva (Hg) elementini miktarının da % 0.3177 ile % 0.0585 arasında değiştiği, ortalama değerinin % 0.13 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.1).

Tüm örneklerde görülmemekle beraber cevherden kaynaklanan safsızlık olarak az ve iz oranlarda metal örneklerde Kobalt (Co) 3 adet örnekte ve Nikel (Ni) ise 16 adet örnekte rastlanılmıştır. Nikel (Ni) % 0.238 ile % 0.0248 arasında, Kobalt (Co) ise % 0.157 ile % 0.0407 arasında değişen oranlarda rastlanılmıştır.

Örneklerin hepsinde bulunmamakla beraber çoğu örneklerde rastlanan Cıva (Hg) % 0.3177 ile % 0.0585, Çinko (Zn) % 0.1402 ile % 3, Krom (Cr) % 0.2086 ile % 0.0185, Mangan (Mn) % 0.3637 ile % 0.017 metallerin element içeriklerinde az ve iz elementleridir (Tablo 3.4).

İncelenen örneklerde demir (Fe) alaşımın bu derece (BZ.NE.09.M25.31 kodlu örnek hariç (%8); bu örneğin cüruf olduğu düşünülmektedir) düşük olması uygulanan zenginleştirme yönteminin gelişmiş olduğunu göstermektedir. Buradan hareketle düşük demir alaşımının cevherden geldiğini kanıtlamaktadır.

Burgaz kazısı 48 adet tasnif dışı metal örnekleri (Tablo 3.2) üzerinde yapılan tahribatsız (P-EDXRF) analizlerinin sonuçları değerlendirildiğinde BZ.SE.00.M2.5, BZ.NE.01.M3.6, BZ.NE.01.M5.8, BZ.SE.06.M11.14, BZ.SE.06.M12.16, BZ.SE.08.M14.18, BZ.SE.09.M19.25, BZ.SE.10.M26.33, BZ.SE.10.M27.35, BZ.SE.11.M30.39, BZ.SE.11.M32.42, BZ.NE.12.M33.43, BZ.NE.12.M35.47, BZ.NE.12.M36.48, BZ.NE.13.M39.51, BZ.NE.14.M40.52, BZ.NE.15.M41.53,

BZ.NE.15.M42.55 ve BZ.SE.16.M48.67 kodlu örneklerin ana yapısının bakır (Cu) (% 99.41 - % 95.05) içerdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.1). Bakır örnekler içerisinde en yüksek bakır oranına (% 99.41) sahip olan örnek BZ.SE.16.M48.67, en düşük bakır oranına (% 95.05) sahip örnek ise BZ.NE.01.M3.6 kodlu örnektir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde BZ.SE.16.M48.67 kodlu örneğin saf yani alaşımsız bakırdan (% 99.41) yapıldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte P-EDXRF analiz sonuçlarına bakıldığında tüm örneklerde bakır alaşımına rastlanılmış ve hemen tüm örneklerin demir ve kurşun alaşımı içerdiği dikkat çekmektedir. Burgaz metal buluntuların içerdiği bakır, demir ve kurşun oranları Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Bazı örneklerin yüksek oranda kalay içermeleri dikkat çeker. Bu örnekler; BZ.NE.96.M1.2, BZ.SE.01.M4.7, BZ.NE.01.M6.9, BZ.SE.06.M8.11, BZ.SE.06.M9.12, BZ.SE.06.M10.13, BZ.SE.08.M15.20, BZ.SE.09.M16.21, BZ.SE.09.M17.22, BZ.SE.09.M18.23, BZ.SE.09.M21.27, BZ.SE.09.M23.29, BZ.SE.09.M24.30, BZ.SE.09.M25.31, BZ.SE.11.M28.36, BZ.SE.11.M29.37, BZ.SE.11.M31.40, BZ.NE.13.M37.49, BZ.NE.13.M38.50, BZ.SE.15.M43.59, BZ.NE.15.M44.60, BZ.NE.15.M45.61 ve BZ.SE.15.M47.64 kodlu örneklerin kimyasal kompozisyonları değerlendirildiğinde bu örneklerin çan alaşımı (Savaş, 2006) olarak tanımlanan kalay oranı (%17,17 ve % 14.70 Sn) yüksek bir tunçtan (Cu+Sn) oluştuğu görülmektedir.

Tunç terimi genel olarak, değişik oranlarda bakır ve kalayı kapsayan herhangi bir alaşım için kullanılabilir (Moorey, 1994). Tunç olarak tanımlanan alaşım için kalayın bakıra % 6-10 oranları arasında olması yeterli olarak görülmekte ve %10’luk kalay miktarı olan tunç alaşımları için “kaliteli tunç” olarak nitelendirilmektedir (Esin, 1969). Bakıra % 10 oranında kalay katılarak üretilen tunç, sert bir alaşımdır. Bu alaşımın % 10 oranında bakıra katıldığında en kaliteli tuncun oluşacağı herhalde bir hayli deneme yanılma sonucunda ortaya çıkmıştır (Özbal, 2013). Analizleri yapılan 48 adet örneğin 26 tanesinde %10’un üzerinde kalayın (Sn) bulunması kaliteli tunç alaşımlarına uygun örnekler oldukları ve kalay katkısının bakıra bilinçli olarak yüksek oranlarda kullanılmış olduğunu göstermektedir (Tablo 4.1). Yukarıda çalışma kodu ve analiz numarasıyla birlikte verilen bu örneklerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde bazı örneklerin yüksek kalay alaşımlı tunç olduğu saptanmıştır. Bu sebeple yüksek kalay tespit edilen örnekler yüksek kalay alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır.

Bunun yanı sıra P-EDXRF analiz sonuçları değerlendirildiğinde yüksek kalay (% 10.09 - % 43.14) tespit edilen örneklerin hepsinde bulunmamakla birlikte bazı (BZ.SE.09.M25.31, BZ.SE.11.M28.36, BZ.NE.15.M44.60 ve BZ.NE.15.M45.61)

örneklerde demir elementine rastlanılmıştır. Yüksek kalay ve az demir içeriği tespit edilen bu örnekler yüksek kalay ve demir alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır (Tablo 4.1).

Kalay katkısının bakırın sertliğini artırmasının (Esin, 1969) yanı sıra kalayın bakıra farklı oranlarda katılması sonrasında bu alaşımın ergime noktasının da değişiklik gösterdiği ifade edilmektedir. Örneğin % 15 kalay katılmış bir bakır alaşımı ortalama 960°C’de ergimekte ve akışkan hale gelmektedir (Moorey, 1994). Bu bilgilerden hareketle, yukarda belirtilen örneklerin bu oranlarda kalayın içeriyor olması kullanılacak olan tunç obje parçasının dayanımını artırmak, kullanım ömrünü uzatmak ve dolaylı olarak da alaşımın ergime noktasının aşağı çekilmesini sağlamak amacıyla bilinçli olarak kullanıldığını söylemek mümkündür. Bunun yanı sıra BZ.SE.01.M4.7, BZ.SE.07.M13.17, BZ.SE.09.M16.21, BZ.SE.09.M22.28, ve BZ.NE.12.M34.45 kodlu örneklerde yüksek sayılabilecek bir oranda kalay (Sn) (% 30.88 - % 11.81) ve kurşun (Pb) (% 24.04 – % 7.95) elementleri bulunmaktadır. Bu kadar yüksek kalayın ve kurşunun bulunması ilgi çeki. Bu örneklerde yüksek kalay ve yüksek kurşun alaşımı tespit edilmesi ile bu tip tunç örnekler yüksek kalay ve yüksek kurşun alaşımlı tunç, kalay ve yüksek kurşun alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yüksek kalay ve yüksek kurşun alaşımlı olarak tanımlanan örnekler içerisinde yer alan BZ.SE.09.M16.21 kodlu örneğin temel element olarak % 3.37 oranda demir elementi içerdiği tespit edilmiştir. Bu sebeple bu örnek yüksek kalay yüksek kurşun ve demir alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır. BZ.SE.09.M20.26 kodlu örnek kurşun alaşımlı tunç, BZ.SE.15.M46.62 kodlu örnek ise yüksek kurşun alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır. Genel olarak bu örnekler yüksek kalaylı kurşun tuncu olarak tanımlanmıştır (Tablo 4.1).

Bu tasnif dışı metal örneklerdeki yüksek orandaki kurşununun (Pb) varlığı antik saflaştırma teknolojisinin yetersizliği sonucunda oluşan zenginleştirme problemi ile açıklanması mümkün gözükmemektedir. Buradan hareketle yüksek oranda kalay ve kurşunun alaşıma bilinçli olarak eklendiği fikri açığa çıkmaktadır.

Burgaz kazısı metal örneklerinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde Cu-Sn alaşım oranlarının % 3-5 maksimum değerler vermesi günlük kullanım için ideal niteliklere sahip “iyi bir tunç” üretmek için yeterli kabul edilmektedir (Zimmermann ve Yıldırım, 2008). Buradan hareketle Burgaz metal örneklerinin kalay oranlarının (% 7.13- % 43.14) bu kadar yüksek miktarda kalay içeren bakır alaşımlanmasının içermeleri sebebiyle metal işçiliğinin geliştiği söylenebilir. Bu uygulama için, fazla kalay ekleyerek döküm prosedürünü kolaylaştıracağı ya da renk değiştireceği gibi yorumlar yapmak mümkündür (Zimmermann ve Yıldırım, 2008).

Söz konusu tasnif dışı metal örneklerin analiz sonuçlarına bakıldığında büyük çoğunluğunda (% 50'sinden fazla) kalaya rastlanılması Burgaz kazısı metal eserlerinde yüksek kalitede tuncun yoğun olarak kullanıldığını göstermektedir. Bununla birlikte tunç örneklerin kurşun ya da demir ile zenginleştirildiği tespit edilmiştir.

Metal örnekler içerisinde en yüksek kurşun oranına (% 24.04) sahip olan örnek BZ.SE.07.M13.17, en düşük (% 0.023) örnek ise BZ.SE.06.M11.14 örneğidir (Tablo 4.1). Bununla birlikte bünyesinde kurşun bulunan örneklerin hemen hepsinde (BZ.NE.01.M3.6 ve BZ.SE.16.M48.67 örnekler hariç) bakır (% 99.31 - % 45.07) alaşımı tespit edilmiş ve hemen hemen tüm örneklerde de (BZ.NE.01.M3.6 örnekte hariç) az ve iz miktarda demir (Fe) elementi (% 0,0283 ile % 8.12) içermesi dikkat çekicidir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde tunç örneklerin, daha önce bahsedildiği gibi bu örnekler yüksek kalay ve demir alaşımlı tunç olarak tanımlanmış idi.

Burgaz metal örneklerin 48 tanesinin bakır ve/veya bakır alaşımı olduğu tespit edilmiştir. Bakır ve bakır alaşımlarının (Cu, Sn, Cu+Sn, Cu+Fe+Pb, Cu+Sn+Pb, Cu+Sn+Fe, Cu+Sn+Pb+Fe) yüzdelik oranları Grafik 4.1.–4.7'de bununla birlikte bilinçli olarak örneklere katılmayan yani cevherden gelen az (% 0.10 – % 2) ve iz elementlerin (% 0.10 <) yüzdelik oranları Grafik 4.8.'de yer almaktadır.

Bununla birlikte tüm örneklerde Silisyum (Si) tespit edilmiştir. Silisyum elementi örneklerin yüzey ve yüzey altına işleyen kirlilikten geldiği düşünülmektedir.

Tüm analiz sonuçları incelendiğinde Titanyum ve Antimon sadece birer örnekte rastlanılmıştır. BZ.NE.14.M40.52 kodlu örnekte Titanyum (Ti) % 0.2027 oranında, bir diğer BZ.SE.15.M46.62 kodlu tek örnekte ise Antimon (Sb) % 0.209 oranında rastlanılmıştır.

Titanyumun tespit edildiği örneğin ana elementinin bakır olduğu, antimonun görüldüğü örneğin ise % 77.56 bakır, % 18.71 kurşun olduğu görülmektedir. Antimonun görüldüğü örneğin yüksek kurşun alaşımlı tunçtur.

Vanadyum (V) ise üç örnekte BZ.SE.01.M4.7 % 0.361 oranında, BZ.NE.12.M34.45 % 0.102 oranında ve BZ.SE.15.M46.62 kodlu örnekte % 0.127 oranında rastlanmıştır (Tablo 4.1).

Bu çalışmada incelenen iki farklı sektörün (South East ve North East) ele geçirilen metal örneklerin tunç alaşımının kullanım yoğunlukları birbirleriyle karşılaştırıldığında, South East sektöründe ele geçirilen örneklerde kalay oranının North East sektöründe ele geçirilen örneklere göre daha fazla kullanıldığı görülmektedir. South East sektöründe ele geçirilen ve incelenen toplam 32 örneğin yirmisi tunç olarak tespit edilmiştir. Bu oran

North East sektöründe ele geçirilen ve incelenen örneklerde ise 16 örnekten sekizi tunç olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte her iki sektörde incelenen örneklerde bakır oranı ise South East alanında ele geçirilen 32 örneğin 10'unu saf bakır olduğu tespit edilmiştir. North East sektöründe ise incelenen 16 örneğin dokuzunun bakır olduğu analizler sonucunda tespit edilmiştir. South East ve North East metal örneklerin tunç alaşım oranı karşılaştırıldığında bariz farkın olduğu fakat saf bakır oranları karşılaştırıldığında az bir farkın olduğu görülmektedir.

Söz konusu incelenen metal örneklerin, tasnif dışı (amorf) örnekler olduğundan dolayı bu örneklerin hangi amaçla kullanıldığı bilinmemektedir. Fakat analiz sonuçlarına bakıldığında metale katılan kalay alaşım elementinin miktarının fazla olması bu örneklerin metal aletlerinde ihtiyaç duyulan sertlik ve dayanıklılığı sağlamak için metal ustalarının bilinçli olarak kattığı ve bu sebeplerden dolayı ustaları bu tercihe iten etkenlerden biri olduğu düşünülmektedir. Ayrıca alaşım tiplerinin ve element kompozisyonlarının değişkenliğin çeşitliliği analiz sonuçlarında ortaya çıkması bunu desteklemektedir.

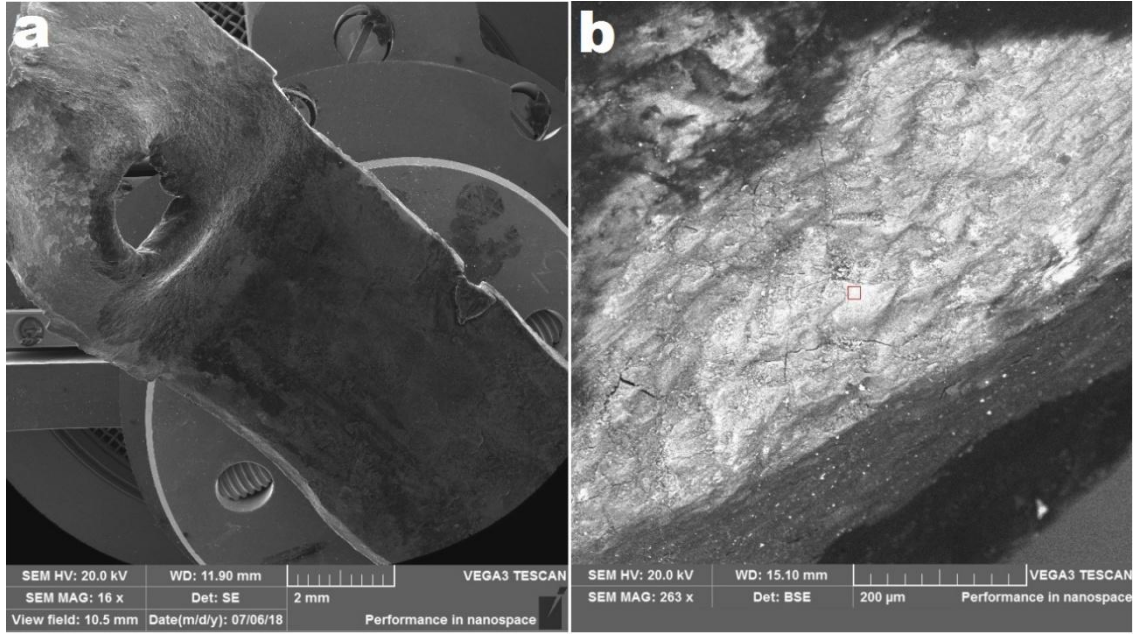
Burgaz (Eski Knidos) Kazısı 1996-2016 yılları arasında ele geçen tasnif dışı metal örneklerin Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınlı Floresans Spektrometresi analiz sonuçları değerlendirildiğinde alaşımı oluşturan elementlerin tespit edilen yüzdelik (%) oranlarına göre sıralaması; birinci Bakır (Cu), ikinci Kalay (Sn), üçüncü Kurşun (Pb), dördüncü Demir (Fe), beşinci Çinko (Zn), altıncı Krom (Cr) ve yedinci element olarak da Cıva (Hg)'dir.

4.2. Mikroyapı Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

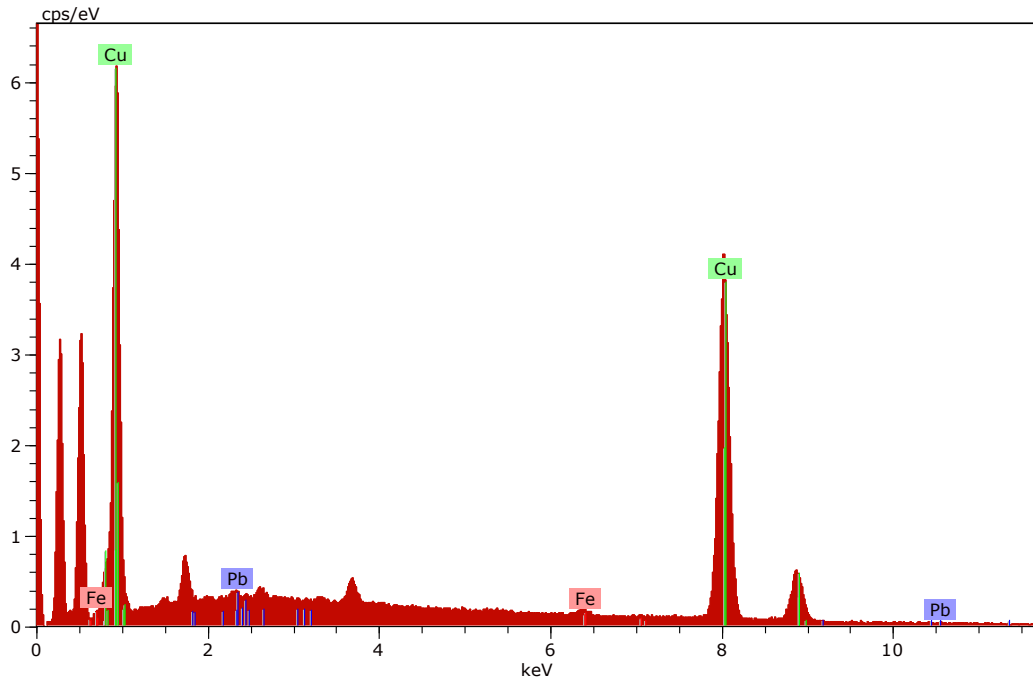
4.2.1. Burgaz Kazısı Tasnif Dışı Metal Örneklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) Analiz Sonuçları

Burgaz (Eski Knidos) Kazısı SE ve NE sektörlerinde yapılan arkeolojik kazılar sonucunda ele geçirilen tasnif dışı metal örnekler üzerinde (48 adet) yapılan Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (P-EDXRF) analizleri sonucunda bakır (Cu), kalay (Sn), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) element oranları yüksek olan örneklerden 10 adet örnek seçilerek SEM-EDX ile analiz edilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu arkeolojik örneklerin ve buluntuların, yani metalik buluntular, seramik ve toprak örneklerin mikro yapılarının bilinmesi bunların karakterize edilmeleri için önemlidir. Metal buluntuların incelenmesi ile bunlardaki ana madde ve safsızlıkların belirlenmesinde önemli rol oynadığını ve bununla birlikte tanelerin şekil ve düzenlenmeleri metal işleme tekniğinin anlaşılmasında önemlidir (Demirci, 1985).

Seçilen 10 adet tasnif dışı metal örneğin mikro kimyasal analizleri için farklı noktalardan çekilen SEM görüntüleri ile bu görüntüler üzerinde işaretlenen alan ve noktalarda yapılan farklı büyütmelelerdeki görüntüler üzerinde SEM-EDX kullanılarak elementel analizler yapılmış ve tüm analiz sonuçları Şekil 4.1. – 4.20’de ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

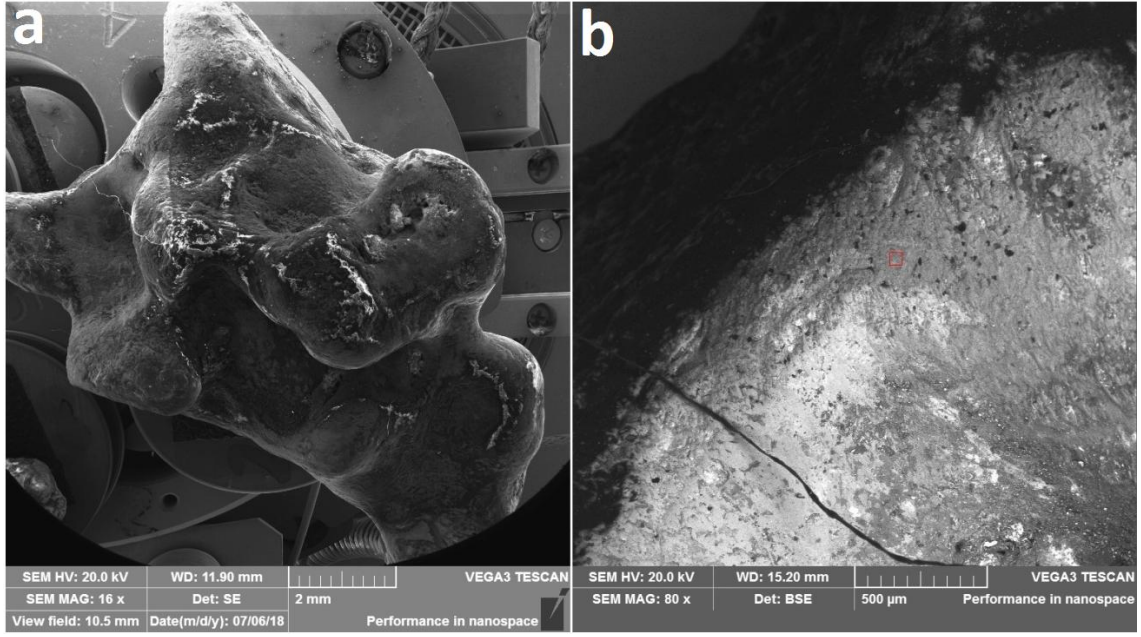


Şekil 4. 1. BZ.SE.00.M2 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 2 mm, b 200 μm)

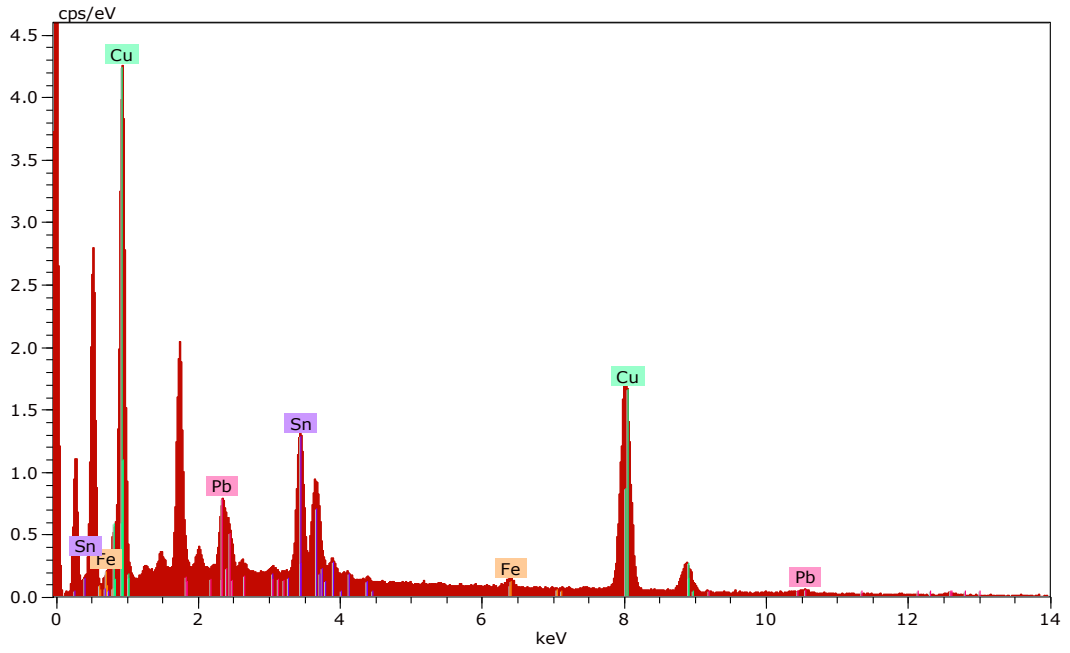


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.37	0.56	0.64	0.04
Copper	K-series	64.80	99.25	99.30	1.79
Lead	L-series	0.12	0.19	0.06	0.05
Total:		65.29	100.00	100.00	

Şekil 4. 2. BZ.SE.00.M2 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (a) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

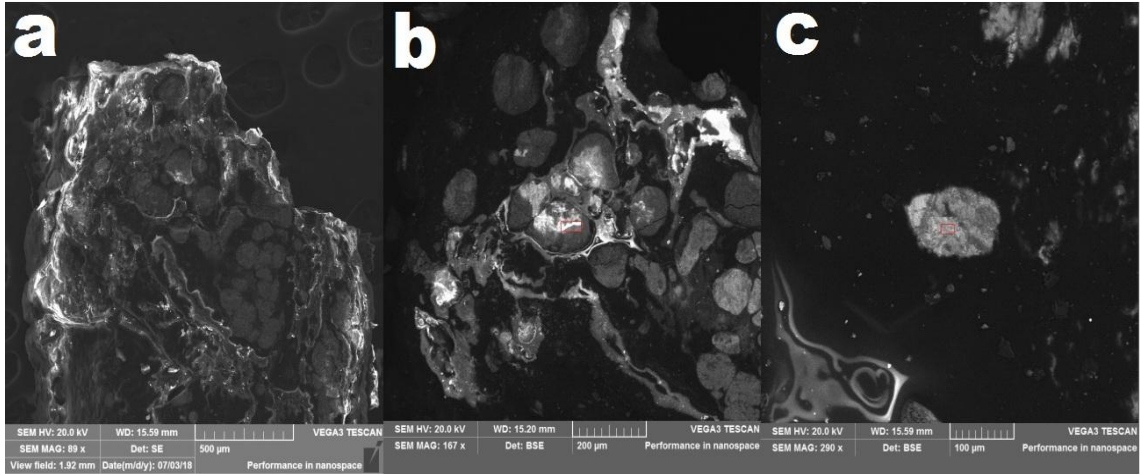


Şekil 4. 3. BZ.SE.07.M13 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 2 mm, b 500 μ m)

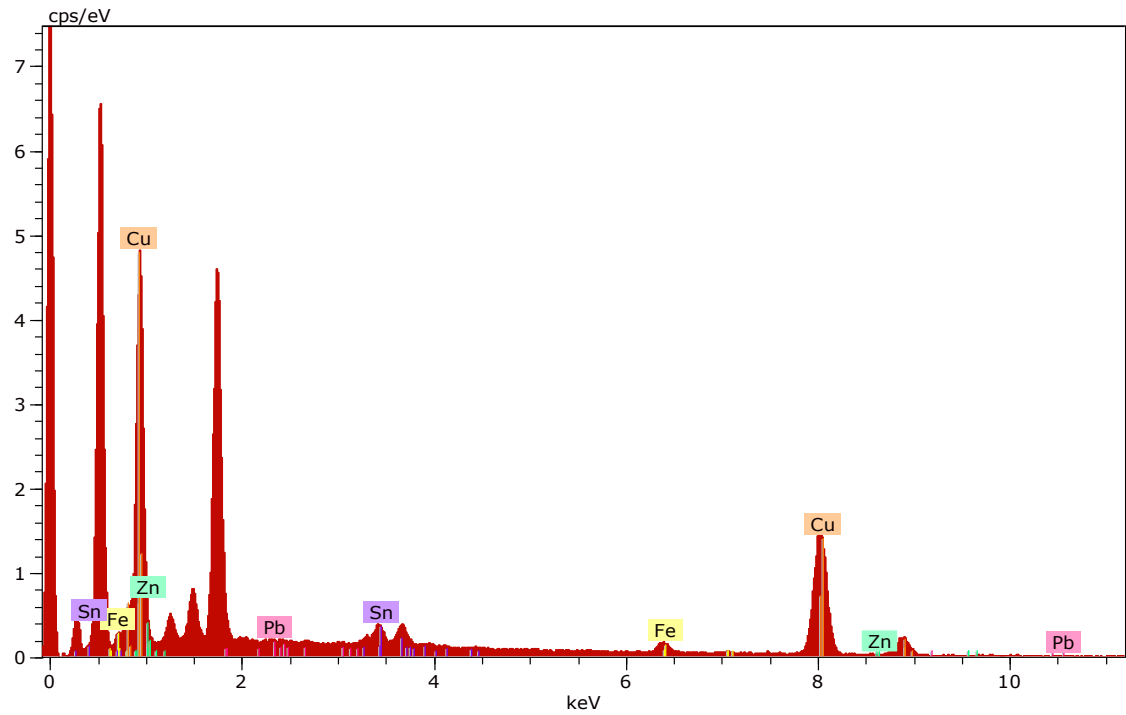


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.77	1.00	1.38	0.06
Copper	K-series	50.46	65.40	79.32	1.42
Tin	L-series	18.92	24.52	15.92	0.60
Lead	L-series	7.01	9.08	3.38	0.38
Total:		77.15	100.00	100.00	

Şekil 4. 4. BZ.SE.07.M13 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

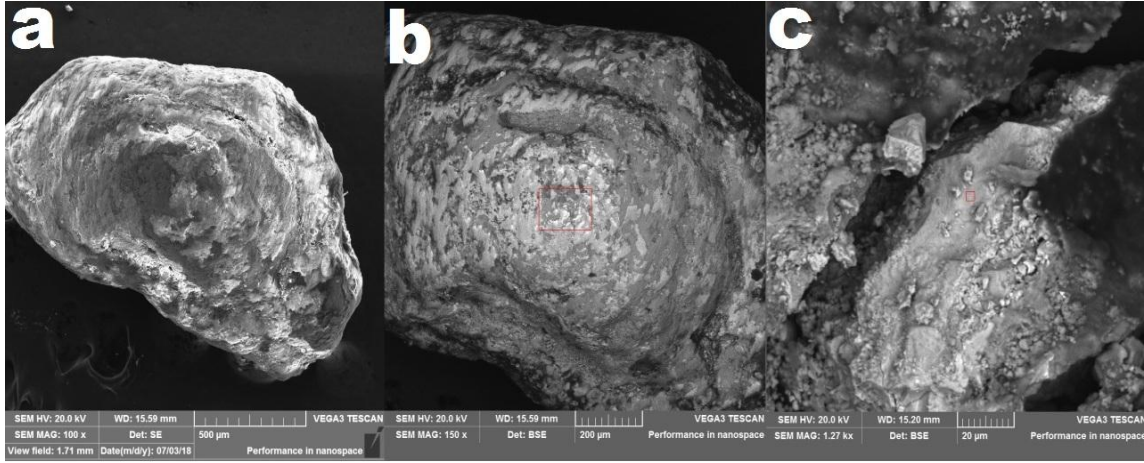


Şekil 4. 5. BZ.SE.09.M23 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 500 µm, b 200 µm, 100 µm)

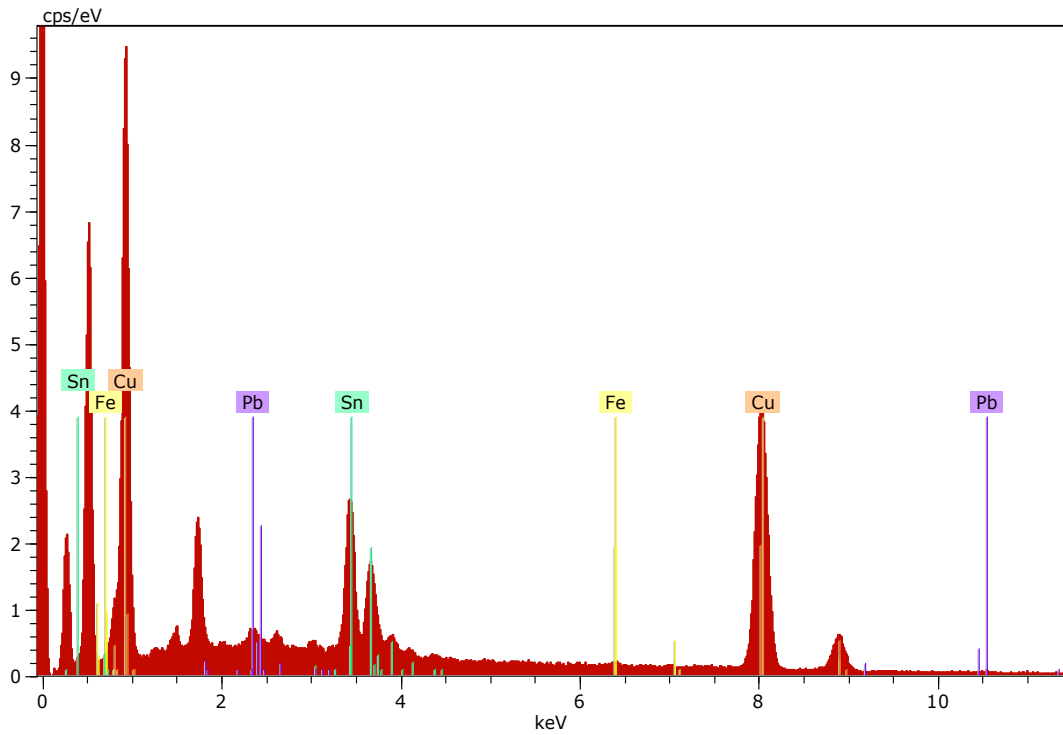


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	1.66	2.91	3.49	0.09
Copper	K-series	49.07	85.77	90.49	1.39
Zinc	K-series	0.06	0.11	0.11	0.04
Tin	L-series	5.40	9.44	5.33	0.20
Lead	L-series	1.01	1.77	0.57	0.14
Total:		57.22	100.00	100.00	

Şekil 4. 6. BZ.SE.09.M23 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

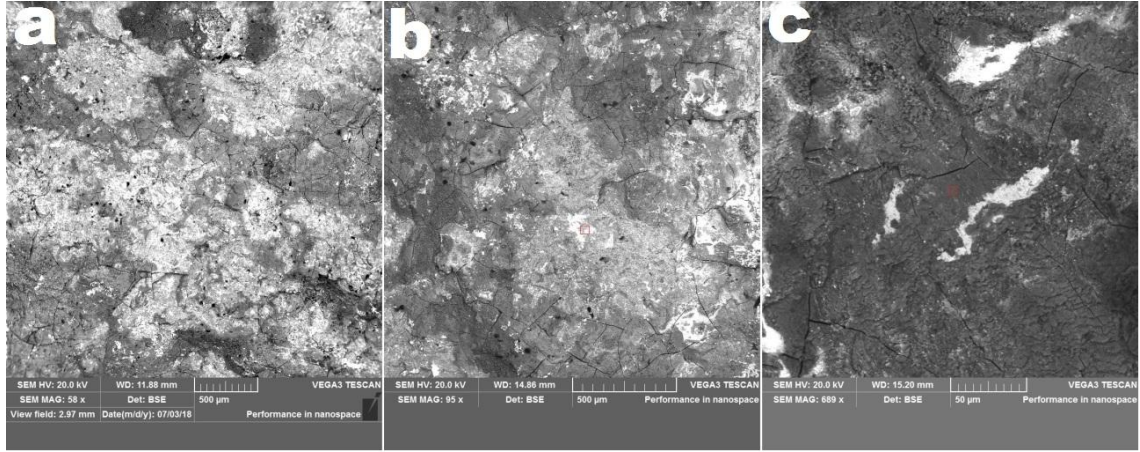


Şekil 4. 7. BZ.SE.08.M15 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 500 μm , b 200 μm , c 20 μm)

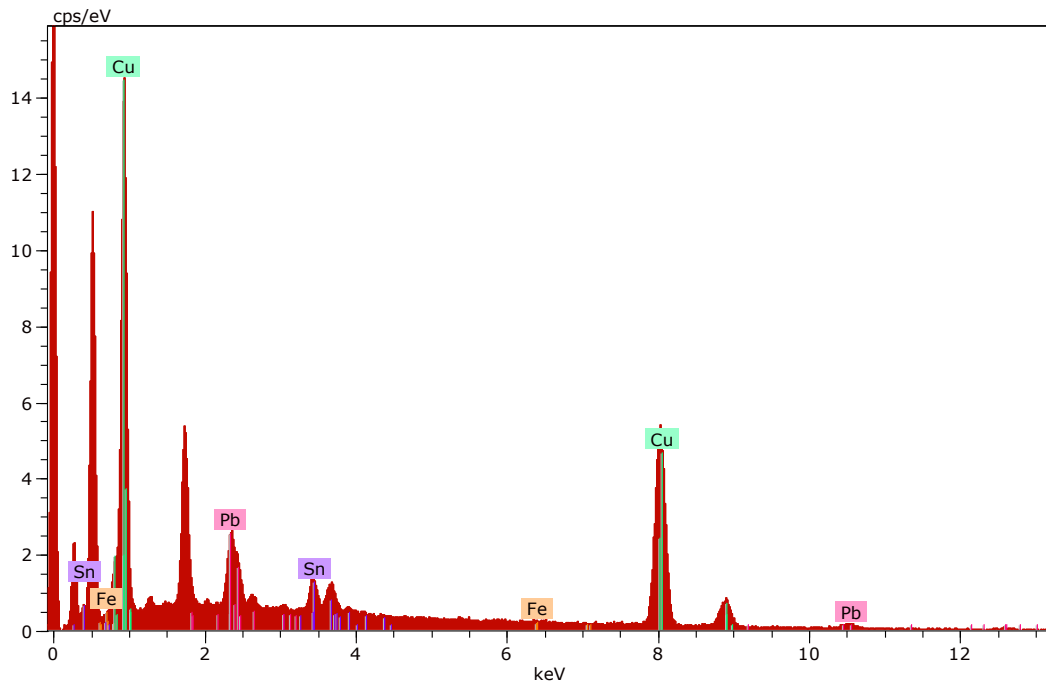


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.28	0.37	0.48	0.04
Copper	K-series	57.00	75.08	85.06	1.59
Tin	L-series	17.37	22.88	13.87	0.55
Lead	L-series	1.27	1.67	0.58	0.14
Total:		75.92	100.00	100.00	

Şekil 4. 8. BZ.SE.08.M15 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

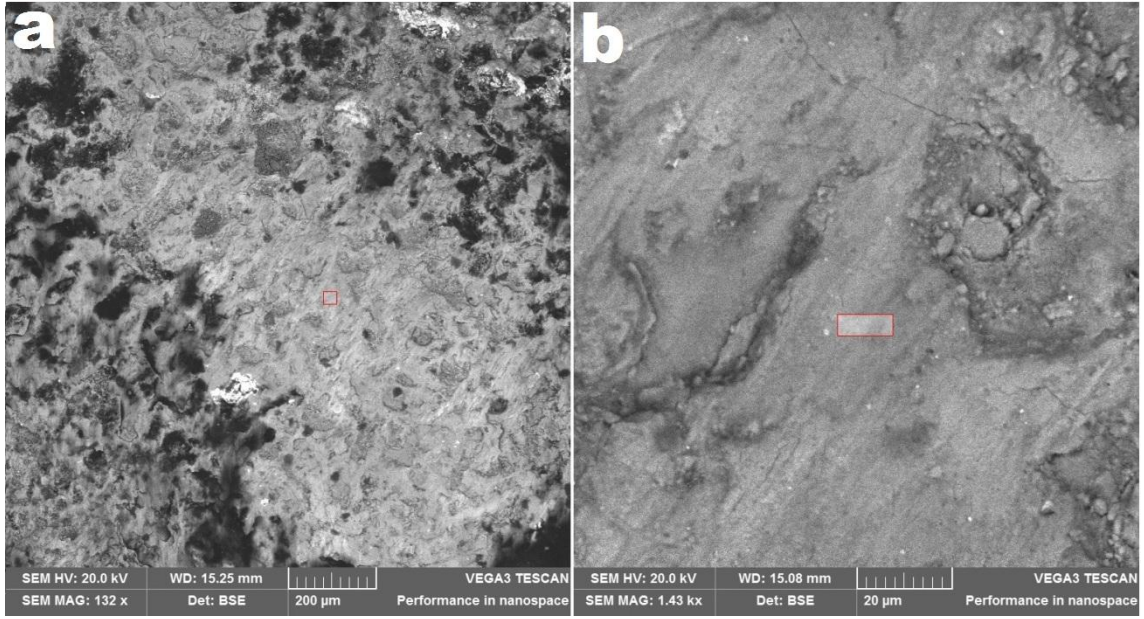


Şekil 4. 9. BZ.SE.15.M46 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 500 µm, b 500 µm, c 50 µm)

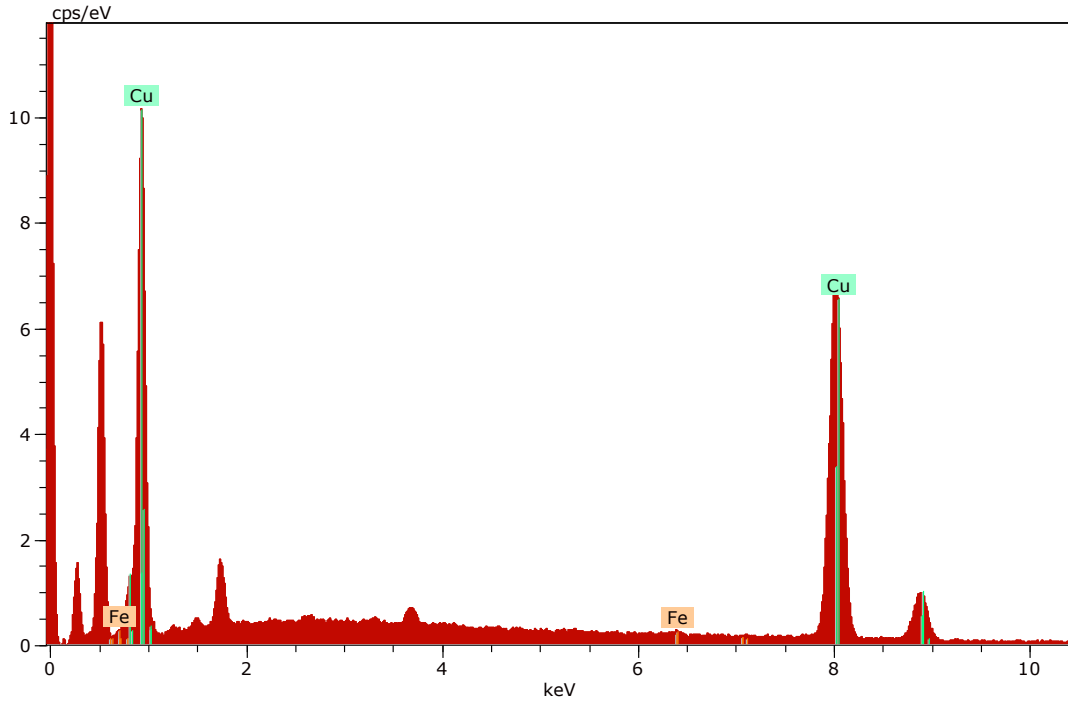


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.14	0.20	0.27	0.04
Copper	K-series	52.98	78.01	89.64	1.48
Tin	L-series	6.24	9.19	5.65	0.23
Lead	L-series	8.55	12.59	4.44	0.43
Total:		67.91	100.00	100.00	

Şekil 4. 10. BZ.SE.15.M46 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu



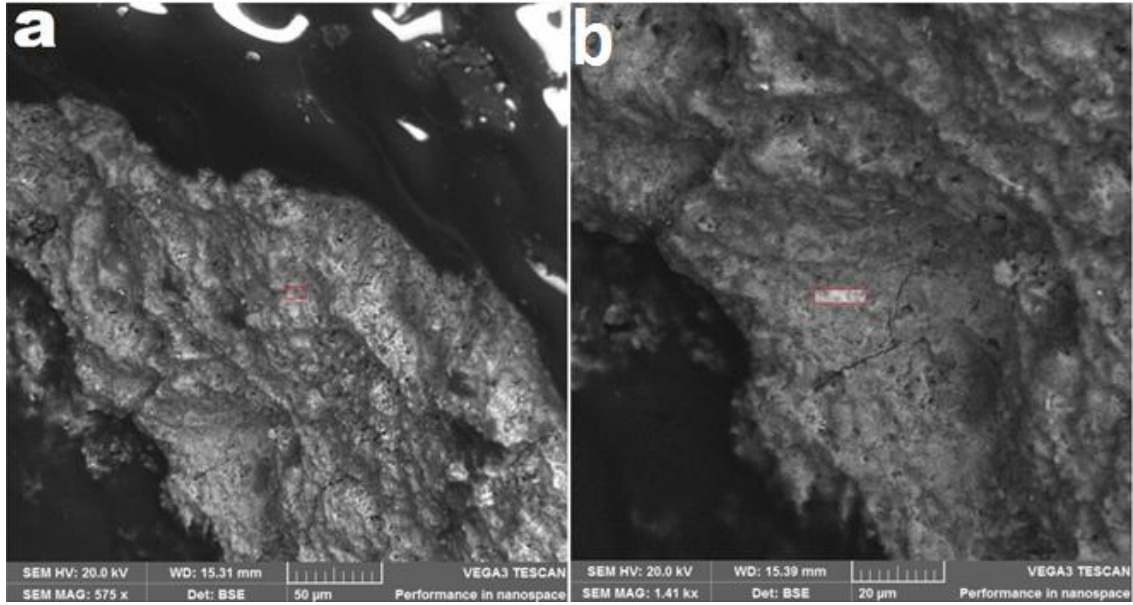
Şekil 4. 11. BZ.SE.16.M48 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 200 µm, b 20 µm)



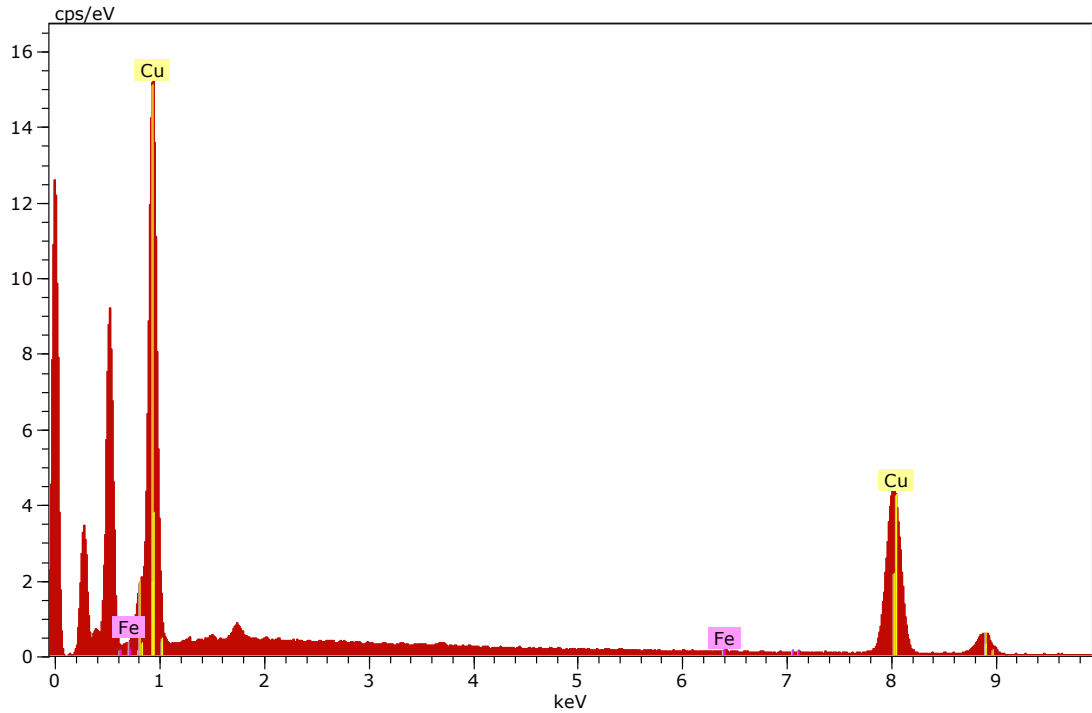
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.19	0.27	0.31	0.04
Copper	K-series	70.66	99.73	99.69	1.94

Total:		70.85	100.00	100.00	

Şekil 4. 12. BZ.SE.16.M48 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (a) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

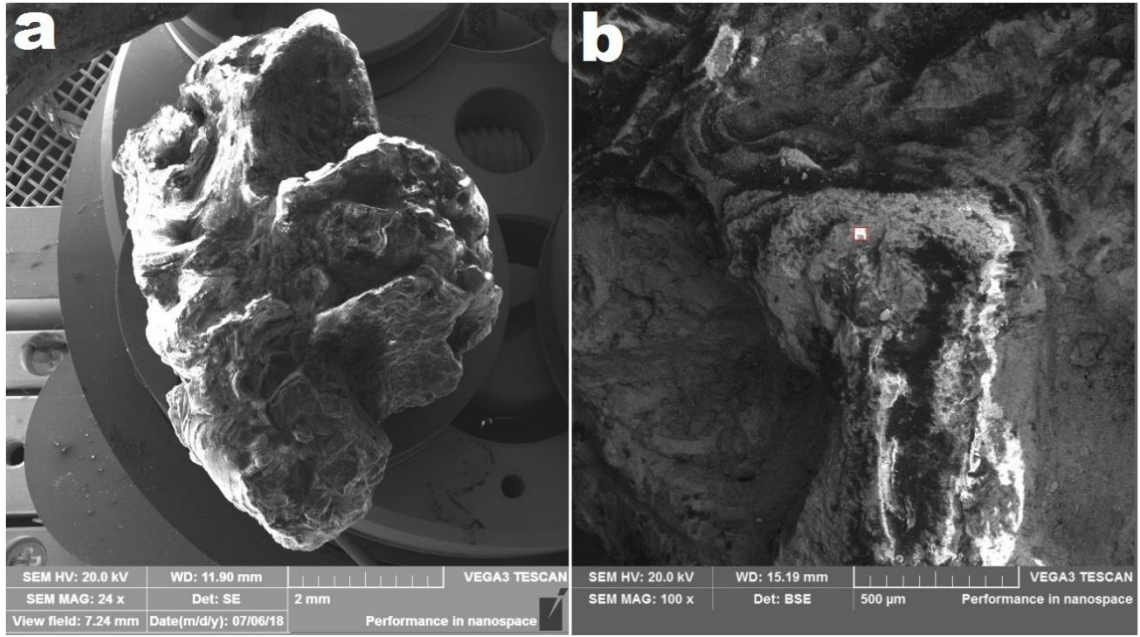


Şekil 4. 13. BZ.SE.11.M30 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 50 µm, b 20 µm)

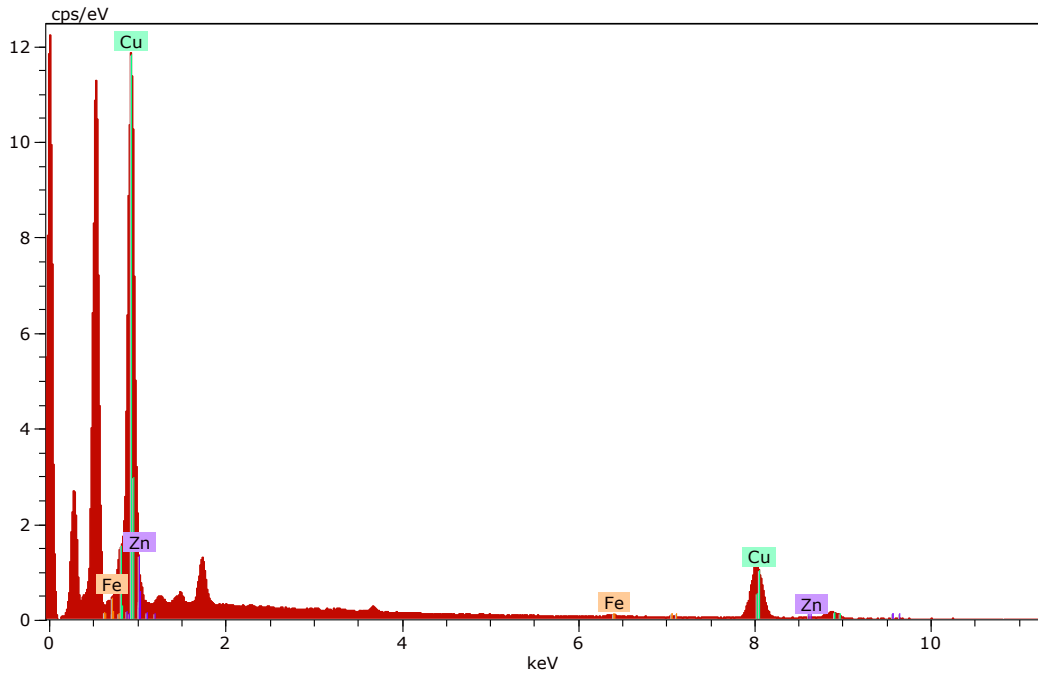


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.14	0.23	0.26	0.04
Copper	K-series	60.97	99.77	99.74	1.69
Total:		61.11	100.00	100.00	

Şekil 4. 14. BZ.SE.11.M30 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

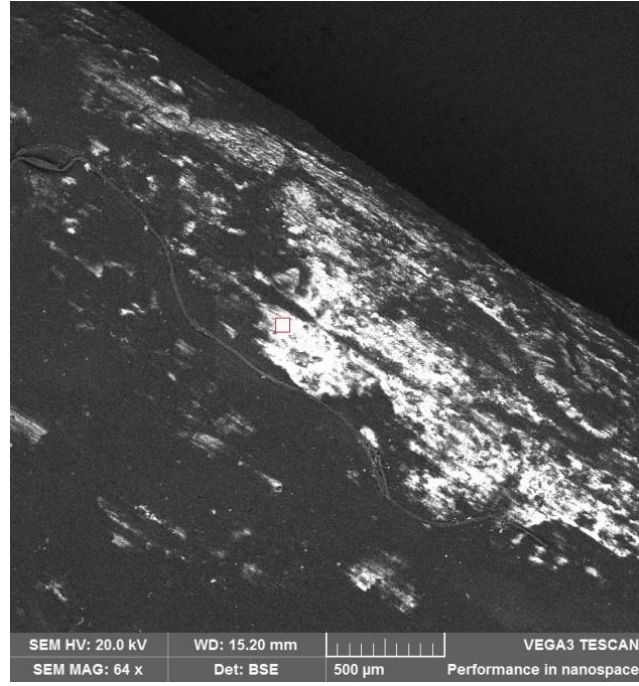


Şekil 4. 15. BZ.NE.14.M40 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 2 mm, b 500 µm)

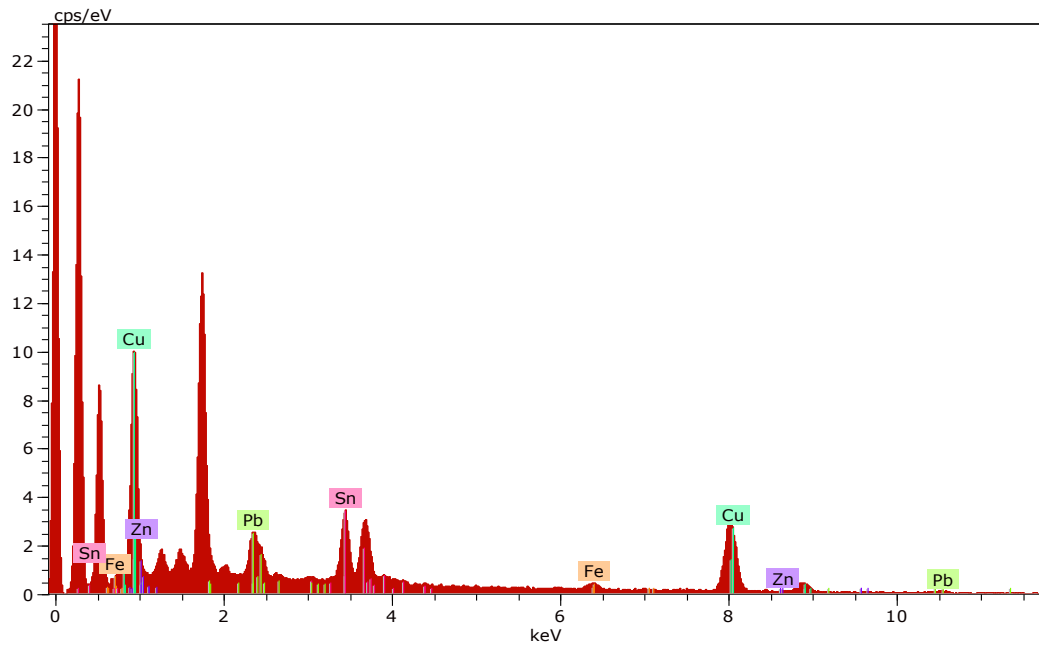


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.19	0.70	0.79	0.04
Copper	K-series	26.76	97.80	97.75	0.79
Zinc	K-series	0.41	1.50	1.46	0.06
Total:		27.36	100.00	100.00	

Şekil 4. 16. BZ.NE.14.M40 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (b) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

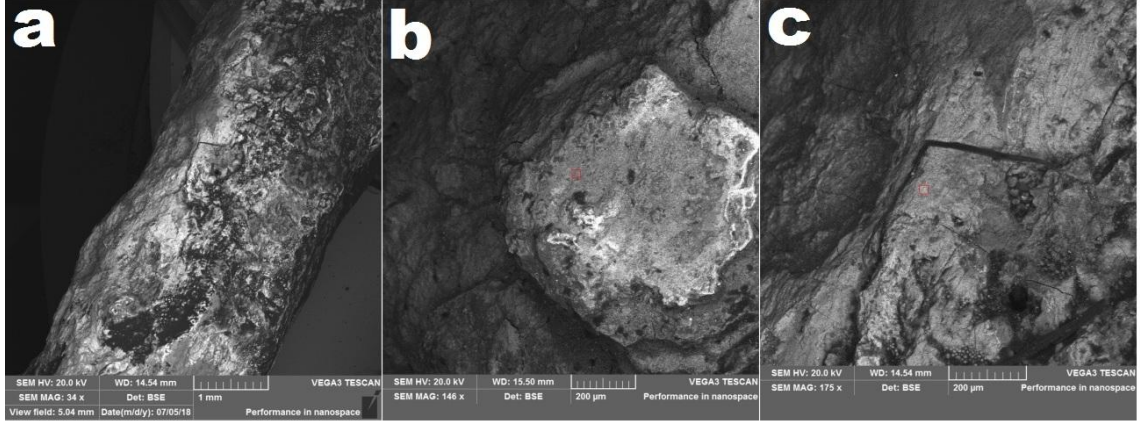


Şekil 4. 17. BZ.NE.12.M34 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (500 µm)

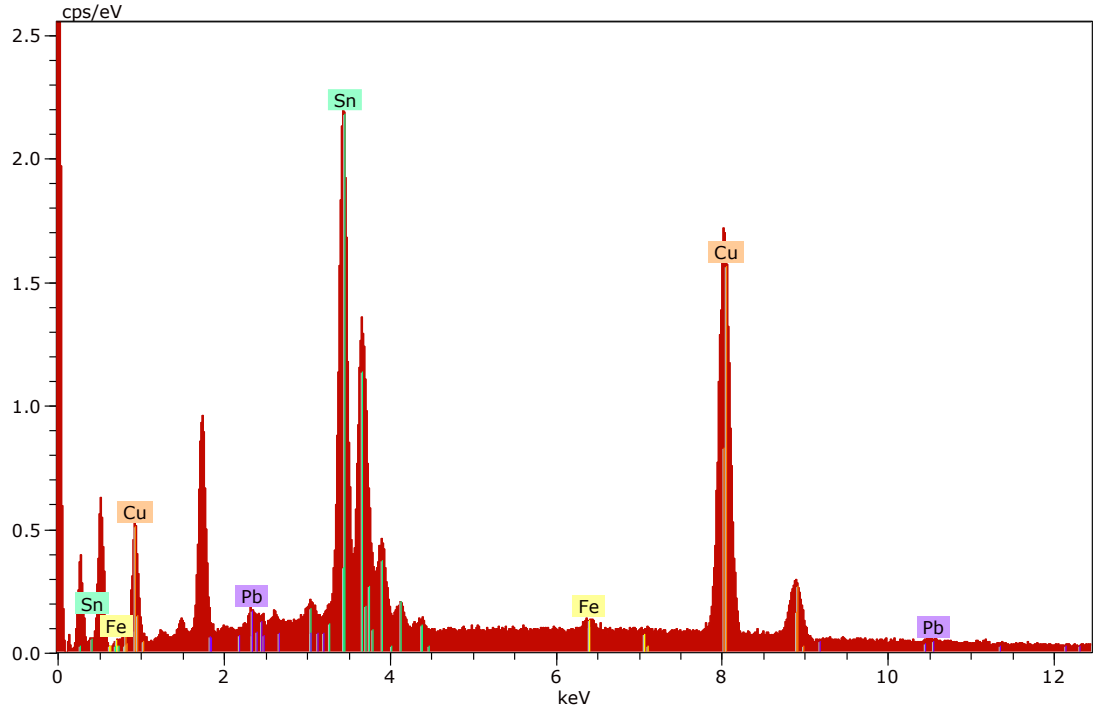


Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	1.43	2.41	3.47	0.09
Copper	K-series	33.16	55.94	70.69	0.97
Zinc	K-series	0.19	0.32	0.39	0.05
Tin	L-series	19.35	32.63	22.07	0.62
Lead	L-series	5.16	8.70	3.37	0.34
Total:		59.29	100.00	100.00	

Şekil 4. 18. BZ.NE.12.M34 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu



Şekil 4. 19. BZ.SE.15.M43 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü (a 1 mm, b 200 μ m, c 200 μ m)



Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Iron	K-series	0.60	0.72	1.05	0.05
Copper	K-series	46.69	55.73	71.50	1.30
Tin	L-series	29.46	35.16	24.15	0.90
Lead	L-series	7.02	8.38	3.30	0.34
Total:		83.78	100.00	100.00	

Şekil 4. 20. BZ.SE.15.M43 kodlu numuneye ait SEM görüntüsünde (c) seçili bölgenin EDX spektrumu ve analiz sonucu

Şekil 4.1-4.20’de verilen 10 adet tasnif dışı metal örneğin SEM görüntüleri ve EDX spektrumlarının elementel analiz sonuçlarına göre bu örneklerin bakır (Cu), yüksek alaşımlı tunç (Cu+Sn), yüksek kalay ve demir alaşımlı tunç (Cu+Sn+Fe) ve kurşun tuncu (Cu+Sn+Pb) ile yüksek kalay, kurşun ve demir (Cu+Sn+Pb+Fe) alaşımlarından oluştukları saptanmıştır. Örneklerin hangi alaşımdan oluştuklarına dair tanımlanmaları ve analiz sonuçları ile elementlerin ortalamaları Tablo 4.2’de verilmiştir. Daha öncede bahsedildiği gibi topraktan ve kirlilikten geldiği düşünülen Karbon (C), Oksijen (O), Magnezyum (Mg), Alüminyum (Al), Silisyum (Si), Fosfor (P), Kükürt (S), Klor (Cl), Potasyum (K) ve Kalsiyum (Ca) elementleri analiz yapılırken bu elementler analiz edilemeyecek şekilde ihmal edilmiştir. Burgaz (Eski Knidos) Kazısı, Taramalı Elektron Mikroskobu ile tasnif dışı metal örneklerin mikroyapısal ve EDX ile elementel analizleri yapılarak daha önceden P-EDXRF ile yapılan analiz sonuçlarındaki kimyasal kompozisyonlarının birbirleriyle uyumlu olduğu saptanmıştır (Tablo 4.3). Seçilen 10 adet örneğin SEM-EDX analiz sonuçları değerlendirildiğinde daha önce yapılan P-EDXRF analiz sonuçlarında ortaya çıktığı gibi tüm örneklerde ana elementin bakır olduğu ve yine ikinci en yüksek orana sahip elementin de kalay olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yapılan SEM-EDX analiz sonuçlarına bakıldığında P-EDXRF analiz sonuçları ile aralarında az fark olmakla birlikte sonuçların genel olarak uyuşmuş olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.3).

10 adet tasnif dışı metal örneğin SEM-EDX analiz sonuçlarına bakıldığında P-EDXRF analizinde BZ.SE.00.M2, BZ.SE.11.M30, BZ.NE.14.M40 ve BZ.SE.16.M48 kodlu örneklerin bakır esaslı olduğu anlaşılmakla beraber SEM-EDX analizlerinde de ana elementin bakır olduğu teyit etmektedir (Tablo 4.3). Bu örnekler bakır alaşımlı olarak tanımlanmıştır. SEM-EDX analizi yapılan 10 adet tasnif dışı metal örneğin bakır oranları % 99.25 ile % 55.73 oranları arasında değişmektedir. Aynı şekilde yapılan P-EDXRF analizinde kalay elementinin bakır elementinden sonra en yüksek element olduğu tespit edilmiş idi. Yapılan SEM-EDX analizinde de kalay elementinin oranı ikinci sırada olduğu ve analizi yapılan 10 adet örneğin (BZ.SE.00.M2, BZ.SE.11.M30, BZ.NE.14.M40 ve BZ.SE.16.M48 hariç) altısında kalay tespit edilmiştir. BZ.SE.07.M13, BZ.SE.09.M23, BZ.SE.08.M15, BZ.SE.15.M46, BZ.NE.12.M34 ve BZ.SE.15.M43 kodlu örneklerde yüksek oranda (% 35.16 - % 9.19) kalay içerdikleri tespit edilmiştir. Tüm örneklerde görülmemekle (üç örnekte rastlanılmadı) beraber üçüncü en yüksek oranlarda tespit edilen element ise kurşun (Pb) elementidir. 10 örneğin yedisinde görülen kurşun oranı maksimum % 12 minimum oranı ise (% 0.19) tespit edilmiştir (Tablo 4.2).

BZ.SE.00.M2 kodlu örnekte hem P-EDXRF (% 0.0665) hem de SEM-EDX analizinde görülen kurşun oranının (% 0.19) az ve iz element olarak örneğin içeriğinde olduğu görülmüştür. Bu örneklerin bakır ve kalay alaşımlarından oluşan yüksek kalaylı tunç eserler, bakır eserler, kalay ve yüksek kurşun alaşımlarından oluşan yüksek kalaylı kurşun tuncu alaşımlarından oluştuğundan dolayı örnekler yüksek kalay alaşımlı tunç, yüksek kalay ve kurşun alaşımlı tunç, kalay ve kurşun alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte kalay, yüksek kalay ve yüksek kurşun görülen örneklerin hepsinde az miktarda (% 0.2 - % 2.91 arasında) demir (Fe) elementinin görülmesi bu örneklerin aynı zamanda kalay ve demir alaşımlı tunç, yüksek kalay kurşun ve demir alaşımlı tunç ile yüksek kalay ve demir alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır.

Analiz sonuçlarına bakıldığında bakır (Cu) esaslı eserlerin kalay (Sn) oranı % 5'in üzerindedir (Tablo 4.2), dolayısıyla kalay katkısının safsızlık değil kasıtlı kullanıldığı düşünülmektedir (Coghlan, 1975). Kalay katkısının bakır alaşımına birçok avantajı olduğu bilinmektedir. Kalay katkısı, bakır alaşımının sertliğini artırmakla beraber, sıvı metalin ergime sıcaklığını düşürmektedir (1085 °C saf bakır, ~1000 °C ağırlıkça % 10 kalay eklentisiyle), sıvı metalin döküm işlemini kolaylaştırır, akışkanlığı artırır ve aynı zamanda altın rengine benzer bir görünüm sağlar (Ponting ve Segal, 1998; Unglik, 1991). Bakır metaline kurşun (Pb) katkısı kalay gibi çalışma sıcaklığını düşürür ve kolay döküm işlemi sağlar. Tunç alaşımına (Cu-Sn) % 25 kurşun katkısı alaşımın ergime sıcaklığını 800 °C'nin altına düşürmektedir (Young, 1967). Metal eserlerdeki kurşun katkısının da kalay gibi bilinçli olarak eklendiği düşünülmektedir. Teknik olarak karmaşık şekildeki objelerin üretiminde (döküm), eriyik metalin viskozitesini metalin mukavemetini kötü etkilemeden düşürmek amacıyla kurşun eklenir (Smythe, 1936). Kurşun, döküm işlemine avantaj sağlamasına rağmen, katı çözelti oluşturmadığı ve alaşım yapısına girmedığı için damlacıklar halinde yapıdan ayrışır ve bu yüzden dövme (hammering) işlemini zorlaştırır (Unglik, 1991; Dungworth, 1997). Bunun yanı sıra, kurşunun kalaya göre daha yoğun ve ucuz olması, objelerin ağırlığını artırır ve üretim maliyetini düşürür (Hook ve Craddock, 1996).

Burgaz örneklerinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde kalay oranının % 9.19'un üzerinde olması ve kurşun oranının da % 12'ye ulaşması Burgaz metal objelerine kalay ve kurşun elementlerinin kasıtlı bir şekilde katıldığını göstermektedir. Bu sebeple ergime sıcaklığını düşürülmesi ve döküm işlemini kolaylaştırmak gibi etkenlerin etkin olmasını sağlamıştır. Bu yüzden yukarda bahsedilen kurşun (Pb) katkısının döküm işleminde avantaj sağladığı için Burgaz ustalarının metal işliklerinde kurşun ve kalayı

kasıtlı bir şekilde metal örneklerle kattığını göstermektedir.

Bilindiği gibi, bakır işlemesi kolay, yumuşak bir madendir. Doğal veya bakır oksitleri ile karbonatlarına ait arınmış bakır, soğukken çekiç vasıtasıyla şekillendirilebilir. Fakat bu tip bakır, dökümden sonra kolayca dağılabilir. Bu yüzden sertleştirilmesi için başka maden filizlerinin bakır filizleriyle eritilmesi yoluna gidilmiştir. Bakırın sertleştirilmesinde en elverişli maden kalaydır. Kalay miktarı bir bakır eserin içinde % 2-6 oranları arasında bulunduğu sürece o eser soğukken de çekiçleme ile şekillendirilebilir. Ancak içinde bulunan kalay miktarı % 6'nın üstüne çıktığı zaman, artık bu alaşım, tavlama esnasında sıcakken yahut da dökümden sonra suya daldırıp soğukken çekiçlenerek işlenebilir (Esin, 1969). 10 adet örneğin yapılan SEM görüntülerine (Şekil 4.1– 4.20) bakıldığında ise örneklerde dövme izlerine rastlanılmadığı bundan dolayı dövme tekniğiyle yapılmadığını döküm tekniğiyle üretildikleri görülmektedir. BZ.NE.14.M40 kodlu örnekte P-EDXRF analizinde demir (Fe) ve Çinko (Zn) elementlerinin % 3 oranında oldukları görülmüştür fakat SEM-EDX analizinde çinko oranı % 1.5 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte analizi yapılan 10 adet örneğin sadece üçünde (BZ.SE.09.M23, BZ.NE.12.M34 ve BZ.NE.14.M40) çinko oranlarının maksimum % 1.5 ve minimum oranın ise % 0.11 oranlarında düşük tespit edilmesi çinko elementinin safsızlık olduğunu düşündürmektedir. Aynı şekilde 10 adet örneğin SEM-EDX analizinde demir elementine tüm örneklerde rastlanılmıştır ve demir elementinin maksimum oranın % 2.91, minimum oranın ise % 0.2 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.2). Demir oranlarının bu derece düşük olması saflaştırma teknolojisinin geliştiğini düşündürmekle beraber az ve iz miktarda görülen demir elementinin cevherden geldiği anlaşılmıştır.

BÖLÜM 5

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu çalışmada Burgaz (Eski Knidos) Ören Yeri'nde 1996-2016 yılları arasında North East ve South East sektörlerinde yapılan arkeolojik kazılar sonucunda ele geçen sergilenmeye uygun olmayan tasnif dışı 48 adet metal örnekler öncelikle Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) ile element analizleri yapılmıştır. Kantitatif kimyasal karakterizasyonunun sonuçlarının yanı sıra bu 48 adet tasnif dışı metal örneğin içerisinden seçilen 10 adet örneğin mikroyapıları ve kimyasal kompozisyonları, Taramalı Elektron Mikroskobu ve buna bağlı Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (SEM-EDX) kullanılarak incelenmiş ve bu her iki analizlerin sonuçları ve değerlendirilmeleri yapılmıştır.

Bu tez çalışması, bakır, bakır-kalay (tunç) alaşımı ve yüksek kalay alaşımlı tunç, bakır, kurşun ve demir alaşımlarının kullanımı gibi Burgaz Ören Yeri'nin (Eski Knidos) antik metal işleme teknolojisine dair önemli veriler elde edilmiştir. Bununla birlikte, bu tez çalışması ile Burgaz Ören Yeri'ne ait metal buluntularının alaşım kompozisyonları hakkında önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Burgaz Kazısı'nda 1996-2016 yılları arasında North East ve South East sektörlerinde yapılan arkeolojik kazılar sonucunda ele geçen sergilemeye uygun olmayan 48 adet tasnif dışı metal örneklerinin analiz sonuçlarını genel olarak incelediğimizde metal örneklerin element kompozisyonlarında farklı dağılımların olduğu görülmüştür. Sergilenmeye uygun olmayan tasnif dışı metal örneğin P-EDXRF ve SEM-EDX analizleri sonucunda ana elementinin bakır (Cu) olduğu tespit edilmiştir. P-EDXRF analizi ile örneklerin element içeriklerindeki bakır (Cu) oranı % 45.07 ile % 99.41 arasında değiştiği ve ortalama değerinin % 83.32 bakır (Cu) olduğu, SEM-EDX analizinde ise bakır (Cu) oranı % 55.73 ile % 99.77 arasında değiştiği ve ortalama değerinin % 81.24 bakır içerdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte yapılan her iki analiz tipinde tüm örneklerde rastlanmamakla beraber bir diğer en yüksek oranda rastlanan element ikinci sıradaki kalay (Sn) olup yapılan P-EDXRF analiz sonucunda tespit edilen element oranı % 0,1093 ile % 43.14 arasında değiştiği ve ortalama değerinin % 17.37 olduğu, SEM-EDX analizinde ise kalay miktarı % 9.19 ile % 35.16 arasında değiştiği ortalama değerinin ise % 22.30 kalay olduğu tespit edilmiştir. Üçüncü element olan ve

yapılan P-EDXRF analizinde genelde tüm örneklerde görülüp sadece iki örnekte (BZ.NE.01.M3.6 ve BZ.SE.16.M48.67 hariç) görülmeyen bununla birlikte analizi yapılan 10 adet SEM-EDX analizinde de 7 örnekte görülüp sadece BZ.SE.16.M48, BZ.SE.11.M30 ve BZ.NE.14.M40 kodlu örneklerde görülmeyen kurşun alaşımının P-EDXRF analizinin oranı % 0.0223 ile %24.04 arasında değişmekte ve ortalama değerinin % 2.94 kurşun olduğu SEM-EDX analizinde ise % 1,67 ile % 12,59 arasında değiştiği ve ortalama değeri % 6.05 kurşun olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra bir diğer alaşım olan ve SEM-EDX analizinde tüm örneklerde (10 adet) görülen demir (Fe) elementinin oranı % 0.2 ile % 2.91 arasında tespit edilmiş fakat P-EDXRF analizinde yukarıda bahsedilen bakır alaşımından yapılmış olan iki örnekten birinde (BZ.NE.01.M3.6 kodlu örnek) görülmeyip bütün örneklerde % 0.02 ile % 8.12 oranları arasında tespit edilmiştir. P-EDXRF ile incelenen örneklerde demir alaşımının düşük olması (BZ.NE.09.M25.31 kodlu örnek hariç (% 8); bu örneğin cüruf olduğu düşünülmektedir) daha öncede bahsedildiği gibi uygulanan zenginleştirme yönteminin gelişmiş olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte yapılan analiz (P-EDXRF ve SEM-EDX) sonuçları değerlendirildiğinde incelenen tüm metal örneklerde görülmeyip bazı örneklerde görülen titanyum (Ti), antimon (Sb), vanadyum (V), çinko (Zn), kobalt (Co), nikel (Ni), krom (Cr), mangan (Mn) ve cıva¹ (Hg) elementlerin % 2 den düşük oranda tespit edilmesi bu elementlerin az element oldukları saptanmıştır. Bu elementlerin oranları % 2’den düşük olmasından dolayı az ve iz elementlerdir. Bu sebeple bu alaşımlar bilinçli bir alaşım öğeleri değildir. Buradan hareketle bu elementlerin cevherden geldikleri saptanmıştır. Bunun yanı sıra P-EDXRF analizinde tüm örneklerde Silisyum (Si) tespit edilmiştir. Silisyum elementi örneklerin üzerindeki yüzey kirliliğinden geldiği düşünülmektedir. SEM-EDX analizinde daha önce de bahsedildiği gibi analizi yapılan 10 adet örneğin topraktan gelen elementler ihmal edildiği için Silisyum elementine rastlanılmamıştır. Bu sebeple P-EDXRF analizinde silisyum’ un yüzeydeki kirlilikten geldiği teyit edilmiştir.

Yüzde oranı düşük demir alaşımlı tunç buluntuların sertlik derecesinin kısmen arttığı bilinmektedir. Dolayısıyla bu tip tunç buluntularında aşınma daha geç olmaktadır. Burgaz metal örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında demir yüzdesinin düşük olduğundan bu örneklerin sertlik derecesini artırdığını bunun yanı sıra aşınmanın da geç olmasını sağlamıştır (Tablo 4.1. ve 4.2). Ayrıca Burgaz Ören Yeri’nin konumuna

¹ Titanyum (Ti), Antimon (Sb), Vanadyum (V), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Krom (Cr), Mangan (Mn) ve Cıva (Hg) elementleri yapılan Taramalı Elektron Mikroskobu’nda (SEM-EDX) tespit edilmemiştir.

bakıldığında (Şekil 2.1) deniz kenarında olmasından dolayı nemli bir bölgede olması sebebiyle metal ustalarının demir oranını bilinçli olarak az miktarda kullanarak bu örneklerin korozyona olan dayanımını artırdıkları düşünülmektedir.

Tasnif dışı metal örneklerin, yapılan Taşınabilir Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi ve Taramalı Elektron Mikroskobu kimyasal analiz sonuçları genel olarak değerlendirdiğinde, bakır, kalay, kurşun ve demir alaşımlarının oranlarına bakıldığında ve özellikle demir alaşımının oranları dikkate alındığında saflaştırma işlemlerinin iyi yapıldığı düşünülmektedir. Analizi yapılan Burgaz Kazısı tüm metal örneklerin bakır ve/veya bakır alaşımlı olduğu tespit edilmiştir. Bakır ve bakır alaşımlarının % 37 tunç (Cu+Sn) alaşımlı, % 40 gibi büyük çoğunluğu bakır alaşımlı olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra % 8 kadarı ise bakır, kalay ve demir (Cu+Sn+Fe) alaşımlı tunçtan ve % 15 ise bakır, kalay, kurşun ve demir (Cu+Sn+Pb+Fe) alaşımlarından oluşmuştur (Grafik 5.1). Alaşımların adet sayısı ise Grafik 5.2’ de yer almaktadır. Bu sonuçlardan oluşan kanı incelenen tasnif dışı metal örneklerin çeşitli metal alaşımlarının kullanıldığı analiz sonuçlarından tespit edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda söz konusu tasnif dışı metal örneklerin çoğunun (% 50’den fazlası), önemli miktarda kalay içerdiğini göstermektedir. Öte yandan 48 adet örneğin içerisinde on dokuz örneğin bakır alaşımından üretilmiş olduğunu ve geri kalan örneklerin çoğunlukla % 7-40’u aşan yüzdelerde kalay ile alaşım halinde olduğu belirlenmiştir. Daha çok tunç (bakır-kalay) alaşımı kullanıldığı tespit edilmekle beraber yüksek kalay alaşımlı tunçtan (Cu+Sn) oluştukları görülmektedir. Bu kadar yüksek miktarda kalay içeren bakır alaşımlanmasının içermeleri sebebiyle metal işçiliğinin geliştiği söylenebilir. Daha önce belirttiği gibi Cu-Sn alaşımının bu oranlarda tespit edilmesi ideal niteliklere sahip olduğu ve “iyi tunç” üretmek için yeterli olduğu saptanmıştır (Zimmermann ve Yıldırım, 2008). Ayrıca (Esin, 1969) bakır ve kalay (Cu-Sn) oranının bu oranlarda yeterli olarak görülmekte ve bakır-kalay (tunç) alaşımı “kaliteli tunç” olarak tanımlanmaktadır. Bu sonuçlar bize Burgaz Kazısı metal örneklerinde yüksek kalitede tuncun yoğun olarak kullanıldığını göstermektedir. Bununla birlikte Burgaz Ören Yerine (Eski Knidos) ait incelenen tasnif dışı metal örneklerin arasındaki tunç’ un ayrı bir yeri ve öneminin olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra tunç örneklerin kurşun ya da demir ile zenginleştirildiği tespit edilmiştir. İncelenen örnekler sergilenmeye uygun olmayan tasnif dışı metal örnekler olduğundan dolayı hangi işlev ve amaç ile kullanıldığı hakkında bir bilgi sahibi değiliz. Fakat analiz sonuçları değerlendirildiğinde incelenen çoğu örnekte metale katılan kalay oranının yüksek olması ve bu yüksek oranın

da metal örneği sertleştirdiğinden dolayı bu örneklerin işlev bakımından önemli oldukları düşünülmektedir (Tablo 4.1 ve 4.2). Ayrıca bakır eserlerde sertliği ve dayanıklılığı sağlamak için Burgaz metalürjistlerinin yüksek miktardaki kalay alaşımını bilinçli olarak kattığı göstermektedir. Bizi bu sonuca iten ana etkenlerden birinin de yapılan iki analizi tipinde de incelenen örneklerin demir oranlarının düşük olmasından dolayı Burgaz metal ustalarının saflaştırma teknolojisinin gelişmiş olduğunu göstermekte ve tunç alaşımında demiri (Fe) istemediklerini de ispatlamaktadır. Analizi yapılan tüm örneklerde az ve iz miktarda görülen demir alaşımın cevherden geldiği daha önce teyit edilmiş idi. Bu yüzden yüksek oranda kalay ve kurşun oranlarının bilinçli bir şekilde katıldığını desteklemektedir. Bununla birlikte her iki analiz sonuçlarında da alaşım tiplerinin ve element kompozisyonlarının değişkenliğin çeşitliliği analiz sonuçlarında ortaya çıkması bunu desteklemektedir.

Bunun yanı sıra yapılan analizlerde, kalayın yüksek oranda bulunduğu bazı örneklerde aynı zamanda kurşun (Pb) alaşımının oranı da yüksek seviyede tespit edilmiştir. Bu örneklerin yüksek kalaylı ve yüksek kurşun alaşımlı olmasından dolayı bu tip tunç örnekleri yüksek kalaylı ve yüksek kurşun alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır. Bu tasnif dışı metal örneklerdeki kurşunun varlığı antik saflaştırma teknolojisinin yetersizliği sonucunda oluşan zenginleştirme problemi ile açıklanması mümkün değildir. Buradan hareketle yüksek oranda kalay ve kurşunun alaşıma bilinçli olarak eklendiği fikri açığa çıkmaktadır. Yapılan P-EDXRF analizinde BZ.SE.09.M25.31 kodlu örnekte bakır (% 45.47) ve kalay (43.14) alaşımlarının birbirine bu kadar yakın sonuçlar vermesi tam kesin olmamakla birlikte bu örneğin atık cüruf olduğu düşünülmektedir. Yapılan P-EDXRF analizinde (BZ.NE.01.M3.6 ve BZ.SE.16.M48.67 örnekler hariç) ve SEM-EDX analizlerinde de (BZ.SE.11.M30, BZ.NE.14.M ve BZ.SE.16.M4840 hariç) bünyesinde kurşun bulunan örneklerin hemen hepsinde yüksek oranda bakır alaşımı tespit edilmiş ve hemen hemen tüm örneklerde de (BZ.NE.01.M3.6 örnekte hariç) az ve iz miktarda demir (Fe) alaşımı içermesi dikkat çekicidir.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde yüksek kalay alaşımlı tunç örneklerin, yüksek kalay, yüksek kurşun ile az ve iz oranda demir alaşımları tespit edilmesi ile yüksek kalay, yüksek kurşun ve demir alaşımlı tunçlardan oluştuğu tespit edilmiştir. Bu yüzden bu örnekler şöyle tanımlanmıştır; bu örneklerin yüksek kalay ve yüksek kurşun alaşımlı olmasından dolayı bu tip tunçlara yüksek kalay ve yüksek kurşun alaşımlı tunç olarak tanımlanmıştır. Ayrıca analiz sonuçlarına göre kusursuz üretilen kaliteli tunç ve kurşun alaşımlı tunç eserler de tespit edilmiştir. Kusursuz üretilen tunç ve yüksek kalay alaşımlı

tunçlarla birlikte bir diğer ilginç örnekler ise içeriğinde kurşun ve demir bulunan tunçlardır. Ayrıca yüksek kalay ve demir alaşımlı tunç da Burgaz tunç örneklerini tanıtan ve analiz sonuçları sonucunda tespit edilen örnekler arasında yer alır.

Burgaz, South East ve North East kazı alanlarından gelen tasnif dışı metal örneklerin analiz sonuçlarına göre temel element olarak bakır ve bakır-kalay-kurşun-demir alaşımlı örnekleri kendi aralarında üç ayrı gruba ayırmak mümkündür;

1: Saf (alaşımsız) Bakır

2: Yüksek Kalay Alaşımlı Tunç (yüksek kalay ve demir alaşımlı tunç, kalay ve demir alaşımlı tunçlar buna dâhil)

3: Yüksek Kalaylı Kurşun Tunç'u (yüksek kalay ve yüksek kurşun alaşımlı tunç, yüksek kalay ve kurşun alaşımlı tunç, kalay ve yüksek kurşun alaşımlı tunç, yüksek kalay yüksek kurşun ve demir alaşımlı tunç örnekler buna dâhil) olarak tanımlanmıştır.

Tunç örneklerdeki kalay, kurşun ve demir alaşımlarının yüzde değerlerine bakıldığında (Grafik 5.1.) bunların az ve iz element olanların dışında kalanların bilinçli olarak Burgaz antik dönem metalurjistleri tarafından alaşıma ilave edildiği görülmektedir. Burgaz'ın çalışılan bazı tasnif dışı metal örneklerin analiz sonucuna göre yüksek kalay alaşımlı tunç olarak tanımlanmış ve bu tanımlama ile yüksek kalaylı tunçların sürtünmeli ortamlardaki direnci arttırmak için bakıra bilinçli olarak yüksek kalay ve yüzdelik değeri az demir alaşımlı yapıldıkları için tunç örneklerin sertlik derecesi artmaktadır ve bunun yanı sıra bu örneklerde aşınma dayanımı yüksek kalay ile sağladıkları düşünülmektedir. Buradan hareketle analizi gerçekleştirilen örneklerde farklı oranlarda kalayın tespit edilmesi ve kalayın bu oranlarda bakıra ilave edilmesi bakırın ergime noktasında değişiklik göstermektedir. Ayrıca analiz sonuçlarından da anlaşılabileceği gibi Burgaz tunç örneklerindeki % 2 den yüksek oranda kurşun katkısı da bilinçli olarak yapılmıştır. Bunun nedeni kurşun alaşımlı şekillendirilmiş tunç örneklerin ergime ve döküm işlemlerinin Burgazlı metal ustaları tarafından çok daha kolay yapılması olarak düşünülmektedir. Kurşun ve demir alaşımlı tunçlarda, sertliğin sağlanması, aşınmanın önlenmesi ile sürtünmeli ortamlarda sürtünme dayancının artırılması amaçlanmıştır. Burgaz kazısına ait olan bu tunç örneklerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde kusursuz birer alaşım örnekleri olduğunu söyleyebiliriz. Anadolu'da başka bölgelere ait tunçların analiz sonuçları ile Burgaz Kazısına ait bu tasnif dışı metal örneklerin analiz sonuçları gibi benzer oranlarda yüksek kalay-kurşun (Sn-Pb), kurşun-demir (Pb-Fe) ve demir (Fe) alaşımlı gibi tunç örnekler literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında tez çalışmamda incelenen bu örneklerin analiz sonuçlarına bu denli yüksek kalay oranları

açısından benzer sonuçlara rastlanmamıştır. M.Ö. 7. bin ile 2. bin arasına tarihlenen 30 farklı arkeolojik yerleşimden 750 farklı bakır eser üzerinde (Ahlatlıbel, Alacahöyük, Alişar, Bayındır Köy, Beycesultan, Boğazköy, Büyük Güllücek, Canhasan, Çayönü Tepesi, Emirdağ, Ergani Maden, Eti Yokuşu, Güzelova, Gözlükule (Tarsus), Horoztepe, Karayakuplu, Karaz, Kayapınar, Kusura, Kültepe, Kümbet, Mahmatlar, Polatlı, Pulur, Tilmen, Troas, Troya, Yazılıkaya, Yortan, Yumuktepe,) yapılan analizlerden sadece 9 adet eserde % 10'dan fazla kalay içerdiği tespit edilmiştir. Bunların 5 adeti uluslararası ticaret merkezi olan Kültepe'de 2'si ise deniz yerleşimi olan Troya'dadır (Esin, 1969). Eğer varsa bile analiz sonuçları yorumlanmadığı için tanımlanmamış veya isimlendirilmemiş olmalıdır. Bu çalışmada incelenen tasnif dışı metal örneklerin bakır, kalay, kurşun ve demir oranlarına bakıldığında özgün bir yapım tekniğine sahip olduğu söylenebilir. Yüksek orandaki kalayın nedeni yakınlardaki bir kalay kaynağı ya da Burgaz Ören Yeri'nin deniz ticareti yolları üzerinde olduğundan dolayı deniz ticareti yoluyla kalay alımının kolay olmasından kaynaklanmış olmalıdır.

5.2. Öneriler

Burgaz Ören Yeri'nde (Eski Knidos) South East ve North East sektörlerinde 1996-2016 yılları arasında yapılan arkeolojik kazılar sonucunda ele geçen sergilenmeye uygun olmayan tasnif dışı metal örnekler ile ilgili Burgaz Kazısı metal buluntularının üzerinde yapılan ilk kapsamlı arkeometrik çalışma sonucunda yapılan bazı öneriler aşağıdaki gibidir;

- ❖ Arkeometrik çalışmaların günlük araç gereçler, süs eşyaları, çiviler, tıp malzemeleri vb. gibi etütlük eserleri kapsayacak şekilde genişletilmesi.
- ❖ Burgaz'a çağdaş komşu yerleşim merkezlerinde yapılan arkeolojik kazılar sonucu elde edilen metalik buluntuların analizleri ile karşılaştırmalar yapılması.
- ❖ Yapılan araştırmalarda metal eserlerin yanı sıra cürufların payı da arkeometrik çalışmalarda oldukça önemlidir. Cüruflar hem oluştukları yerde metalurjistleri tarafından çöp olarak atıldıklarından dolayı madenciliğin en önemli delillerini oluştururlar. Ayrıca teknolojik parmak izleri taşıdıklarından dolayı eski ergitme veya ergitme teknolojileri cürufların araştırılması ile kısmen anlaşılabilir. Bununla birlikte günümüzün teknolojisinin gelişmesiyle cürufların kurşun izotop analizi yapılarak cevherin kaynağını belirleme araştırması yapılabilir. Bu sebeple arkeometrik çalışmalar cüruflar üzerinde de genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akın, A., Mouralis, D. ve Akköprü, E., 2015, Erzurum-Kars Müzesi'nde Bulunan Obsidiyen Buluntuların P-XRF Analizlerinin Ön Sonuçları, *31. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 11-15 Mayıs Erzurum, 177-188.
- Aydın, M., 2013, Authenticity of Roman Imperial Age Silver Coins Using Non-Destructive Archaeometric Techniques, Ph.D Thesis, *METU, Department of Archaeometry*, Ankara, 14-27.
- Aydın, M. ve Devecioğlu, Ü., 2015, Bir Grup Gümüş Tarsos Sikkelerinin Nümismatik ve Arkeometrik Açından Değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi, *Anadolu (Anatolia) Dergisi*, 41, 109-133.
- Aydın, M., 2017, Çalınan Orijinal Altın “Kanatlı Denizatı (Hippocampus)’nın Taşınabilir X-Işını Floresans Spektrometresi Yöntemiyle Türkiye’ye İade Edilmesinin Sağlanması, *Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi*, sayı 20, 148-157.
- Aydın, M. ve Zoroğlu, K. L., 2018, Kelenderis Seramik ve Metal Eserlerin Tahribatsız Arkeometrik Analiz Sonuçları, *40. Uluslararası kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu (yayında)*, 6.
- Atıcı, N. (2013), Household Organization in Classical Burgaz (Palaia Knidos): Domestic Assemblages, Space and Function, Doctoral Dissertation, Ph.D Thesis, *METU, Department of Settlement Archaeology, Social Sciences Institute*, Ankara, 1-250.
- Ataman, O.Y., 2012, Arkeometride Spektroskopi Yöntemleri, A.A. Akyol ve K. Özdemir (Ed.), *Türkiye’de Arkeometrinin Ulu Çınarları: Prof. Dr. Ay Melek Özer ve Prof. Dr. Şahinde Demirci’ye Armağan*, Ankara: Homer Kitabevi, 87-96.
- Coşkunsu, E., 2015, X-Ray Analizörlü Enerji Dağılımlı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM/EDS) ile Enfsi/GSR (European Network Forensic Science Institute/Gun Shot Residue Proficiency Test) Numunesinde Elementel Atış Artıklarının Analizi ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Disiplinlerarası Adli Bilimler Adli Kimya ve Adli Toksikoloji Anabilim Dalı, Ankara, 21.
- Bean, G.E. ve Cook, J.M., 1952, The Cnidia, *Annual of the British School at Athens*, 47, 171-212.
- Bayley, J. ve Eckstein, K., 2004, Roman and Materials Litharge Cakes: Structure and Composition, *34. International Symposium on Archaeometry*, Zaragoza, Spain.
- Bilen, M., 2010, Çelikhane Cürufurından Liç-Karbonatlaştırma Prosesi ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 59-60.

- Bakiler, M., 2013, Kültür Mirasının Tanısında İleri Analiz Yöntemlerinin Önemi, 29. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 27-31 Mayıs Ankara, 151-156.
- Coghlan, H.H., 1975, Occasional Papers on Technology, Pitt Rivers Museum, Oxford, (Chapter 4).
- Demirci, Ş., 1985, Arkeolojik Örneklerin Mikro Analizi, *I. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 20-24 Mayıs Ankara, 55-60.
- Dungworth, D.B., 1997, <http://intarch.ac.uk/journal/issue2/dungworth_index.html>.
- Esin, U., 1969, Kuantitatif Spektral Analiz Yardımıyla Anadolu'da Başlangıcından Asur Ticaret Kolonileri Çağına Kadar Tunç Madenciliği, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi*, Yayın No. 1427, İstanbul, 107.
- Esin, U., 1985, Arkeolojide Kullanılan Arkeometrik Araştırmalara Genel Bir Bakış, *I. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 20-24 Mayıs Ankara, 1-6.
- Engin, T., 2008, Çeşitli TeO₂ - Nb₂O₅ Camlarının Termal Optik ve Mikroyapısal Özellikleri, Yüksek Lisan Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 11-23.
- Fatih, E., 2002, Mersin Arkeoloji Müzesi'nden Bir Grup Antik Dönem Etütlük Sikkelerinin Temizlik ve Koruma Çalışmaları ile Tarihlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Arkeometri Anabilim Dalı, Adana*, 35-40.
- Genç, U., Başsarı, A. ve Ekinci, Ş., 2013, "Kültür Varlıklarının İncelenmesinde X-Işını Floresans Analiz Tekniğinin Kullanımı", *Uluslararası İstanbul Tarihi Yarımada Sempozyumu*, İstanbul Tarihi Yarımada Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, 77-82.
- Goldstein, J., 1986, Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, Plenum Press, Hardbound.
- Hook, D.R. and Craddock, P.T., 1996, The scientific analysis of the copper-alloy lamps: aspects of classical alloying practices, in: D.M. Bailey (Ed.), A Catalogue of the Lamps in the British Museum. *IV. Lamps of Metal and Stone and Lampstands*, British Museum Press, London, 144-164.
- İssi, A., 2011, Eskişehir-Şarhöyük (Dorylaion) Arkeolojik Kazılarında Ele Geçen Helenistik Dönem Seramiklerinin (Kalıplı Kaseler ve Batı Yamacı Seramikleri) Karakterizasyonu, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir*, 2-5.
- Karydas, A.G., 2007, Applications of Portable XRF Spectrometer for Non- Invasive Analysis of euseum Metal Artefacts, *Annali di Chimica*, 97, 419-432.

- Kayan, İ., 1989, Datça Yarımadasında “Eski Knidos” Yerleşmesini Etkileyen Doğal Çevre Özellikleri, *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, Ankara Üniversitesi, DTCF Yayınları, Ankara, 51-70.
- Karatak, A., Akyol, A.A. ve İren, K., 2016, Daskyleion Arkeolojik Alanı Metal Buluntuları Üzerine Arkeometrik Ön Çalışmalar, 32. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, Edirne, 149-166.
- Kunç, Ş., 1985, “Arkeolojik Eserlerde İz Element Analiz Yöntemleri”, *I. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Bildirileri*, T.C. Kültür Ve Turizm Bakanlığı, Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 20-24 Mayıs, Ankara, 47-54.
- Karadağ, R. ve Torgan, E., 2017, Farklı Dönem ve Materyallere Ait Arkeolojik Eserlerin Enstrümantel Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi, 33. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı 2. Cilt*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 22- 26 Mayıs, Bursa, 179-190.
- Loehman, R.E., 1993, Characterization of Ceramics, (Ed: Loehman, E.H.), Reed Publishing, Boston, USA, 84-85.
- Moorey, P. R. S., 1994, Ancient Mesopotamian Materials and Industries, Clarendon Press, Oxford-New York, 251-252
- Özbal, H., 2013, Başlangıcından Demir Çağı Sonuna Kadar Anadolu Madencilerinin ve Ustalarının Teknolojik Başarılarının Kısa Bir Değerlendirmesi, III. ODTÜ Arkeometri Çalıştay Bildiriler Kitabı, Kültür Kongre Merkezi - D Salonu, Ankara, 29-36.
- Özçatal, M., 2013, Seramik ve Metal Buluntuların Arkeometrik Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Temmuz, 1-32.
- Ponting, M., Segal, I., 1998, Inductively coupled plasma-emission spectroscopy analyses of roman military copper-alloy artefacts from the excavations at Masada Israel, *Archaeometry*, 40, 109–122.
- Smythe, J.A., 1936, Proceedings of the University of Durham Philosophical Society, 9, 382–405.
- Saltık, D., 2010, Bileç Höyük İskelet Buluntularının Arkeometrik Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Arkeometri Anabilim Dalı, Adana, 1-59.
- Stanley, L.F., 1993. Scanning and Transmission Electron Microscopy an Introduction, Oxford University Press, New York.
- Savaş, Ö.S., 2006, Çivi Yazılı Belgeler Işığında Anadolu’da (İ.Ö. 2. Bin Yılında) Madencilik ve Maden Kullanımı, Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları, 12.

- Sakarya, İ., 2016, Trade Relations of Ancient Burgaz From Archaic to Mid of 4th Centuries: The Amphorae Evidence Within the Domestic Contexts, Ph.D Thesis, *METU, Department of Settlement Archaeology, Social Sciences Institute*, Ankara, 35-42.
- Sevimli, E., 2016, Development of Burgaz (Palaia Knidos) and Its Hinterland in Context of Settlement Pattern Analysis, Master Thesis, *METU, Department of Settlement Archaeology, Social Sciences Institute*, Ankara, 1-23.
- Tuna, N., 1994, “Datça / Burgaz Kazıları 1993 Yılı Çalışmaları” XVI. *Kazı Sonuçları Toplantısı* II. Cilt, T.C. Kültür Bakanlığı, Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü, Ankara, 283-295.
- Tuna N., 2008, Burgaz Kazısı, Uluslararası Kazı, *Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu'nun 30. Yılı Anısına*, Türkiye Arkeolojisi, 72-73.
- Torucu, H., Özkan, O., Özen, S., Mısırlı, Z. ve Onurlu, S., 1986. “Malzeme Biliminde Tarama Elektron Mikroskobu Uygulamasına Giriş”, TÜBİTAK, Kocaeli, 89.
- Tülay, U., 2011, Perge Antik Kentine Ait Mozaik Harçlarının Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı, İstanbul, 116-117.
- Tuğrul B. ve Darga M., 2000, Bir Hitit Mühür Baskısının Tahribatsız Muayene Metotları İle İncelenmesi, 16. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür Bakanlığı, Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 22-26 Mayıs, İzmir, 49-56.
- Tuğrul, B., 2013, Farklı Mühürlerin Tahribatsız Muayene Metotları ile İncelenmesi, 29. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 27-31 Mayıs, Muğla, 29-36.
- Tuğrul, B., 2014, Urartu Buluntularının Tahribatsız Muayene Metotları İle İncelenmesi, 30. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 02-06 Haziran, Gaziantep, 17-24.
- Tite, M.S., 1991, Archaeological Science - Past Achievements and Future Prospects, *Archaeometry* 31 139-151
- Unglik, H., 1991, *Archeomaterials*, 5, 91–110.
- Young, J., 1967, The Addition of Lead to Alloys in the Late Bronze Age, Unpublished B.Sc. Dissertation, University of Oxford.
- Yalçın, Ü., 2013, Anadolu Madenciligi, III. ODTÜ Arkeometri Çalıştay Bildiriler Kitabı, Kültür Kongre Merkezi - D Salonu, Ankara, 17-28.
- Yalçın, Ü., Belli, O. ve Maddin, R., 1994, Van - Yukarı Anzaf Kalesinde Bulunan Metal Eserler Üzerine Arkeometalürjik Araştırmalar, X. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, T.C. Kültür Bakanlığı, Anıtlar Ve Müzeler Genel Müdürlüğü, *Yayın No: 1736*, Ankara, 39-53.

Yaygingöl., M., 2012, Geç Bizans - Erken Osmanlı Dönemi Seramiklerinin Arkeometrik Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Nanoteknoloji, 16.

Zararsız, A., Özen, L., Kalaycı, Y., Kırmaz, R., Koralay, H. ve Tan, E., 2011, Kültürel Mirasın Nükleer Tekniklerle Tanımlanması ve Korunması, *Türkiye Atom Enerjisi Kurumu*, Teknik Rapor, 1-43.

(<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/42/078/42078088.pdf>)

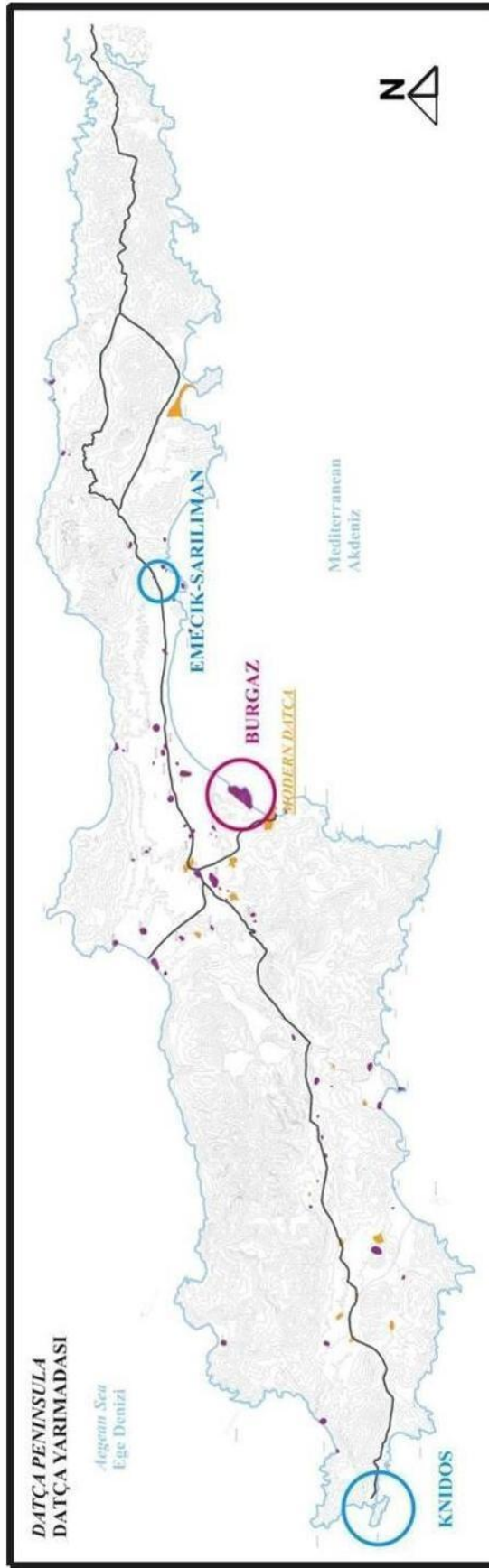
Zimmermann, T. ve Yıldırım, T., 2008, Three Best to Have in Plenty – Rethinking Central Anatolian Early Bronze Age Alloying Traditions, in Ü. Yalçın, H. Özbal, A. G. Paşamehmetoğlu (ed.), *International Conference AMITEM*, Ancient Mining in Turkey and the Eastern Mediterranean, Ankara, 87-91.

İnternet Kaynakları

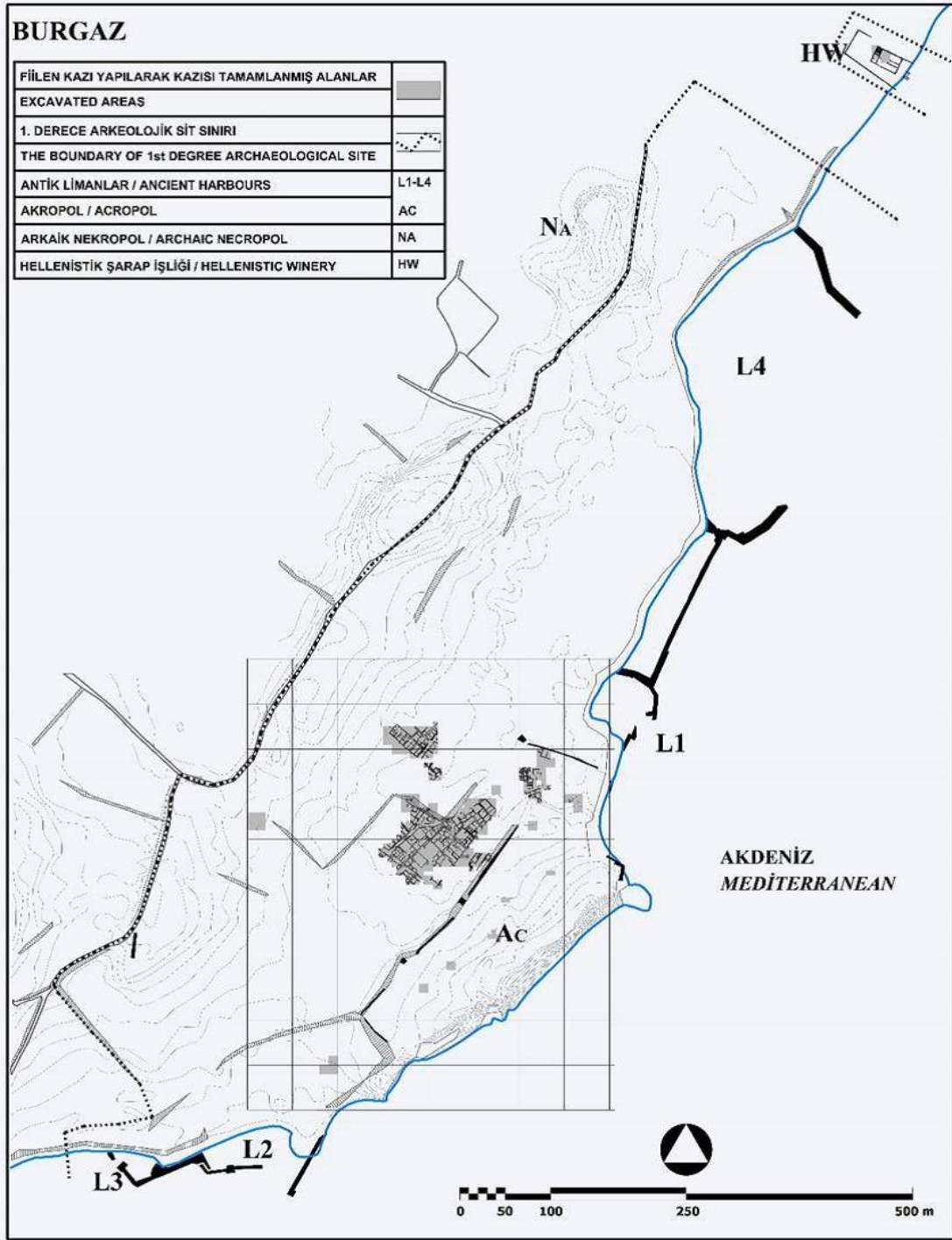
<http://www.repamet.com> (Ziyaret Tarihi: 30.05.2016)

EKLER

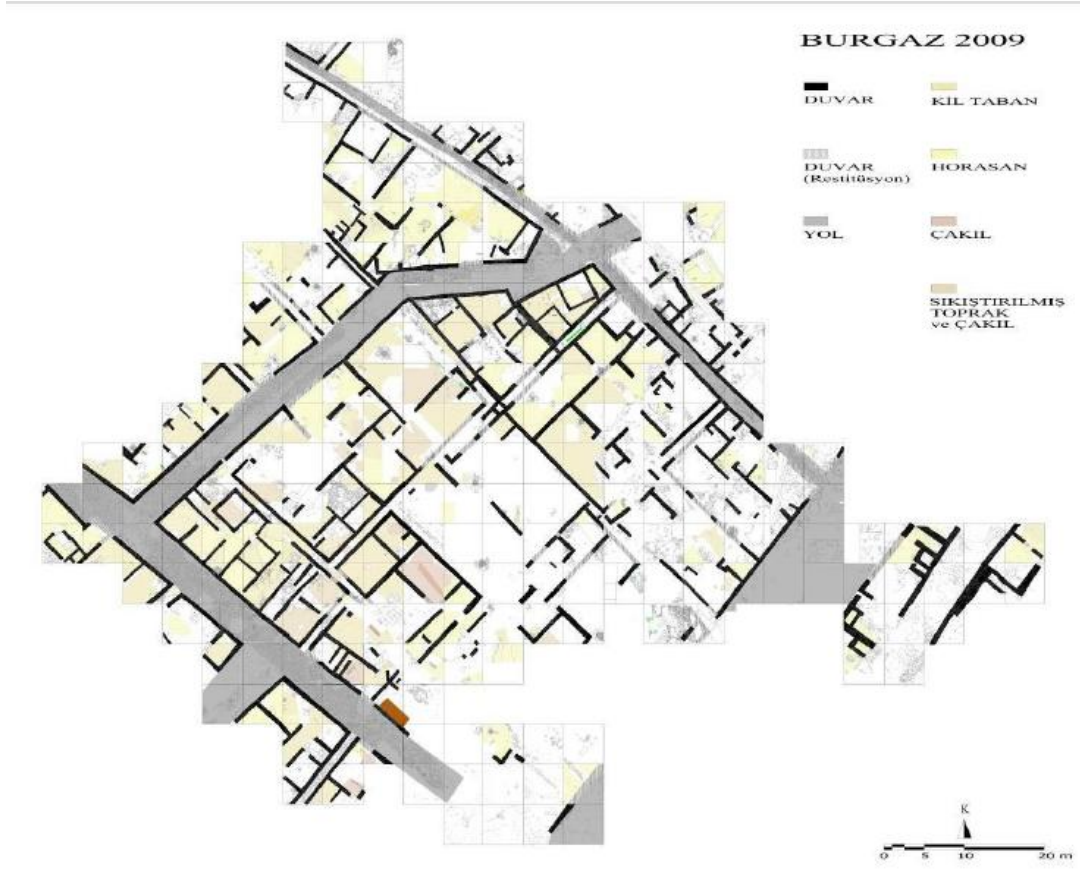
EK-1: ŞEKİLLER LİSTESİ



Şekil 2. 1. Datça Yarımadası Haritası (Sakarya, 2013).



Şekil 2. 2. Burgaz'ın planı (Sevimli, 2016)



Şekil 2. 3. SE Sektörünün Planı (Sakarya, 2013).



Şekil 2. 4. NE Sektörünün Planı (Sakarya, 2013).



Şekil 3. 1. Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim dalında kullanılan P-EDXRF cihazı



Şekil 3. 6. Taramalı elektron mikroskobu

EK-2: TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1. Malzeme karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan fiziksel karakterizasyon teknikleri (Loehman, 1993)

Karakteristik	Karakterizasyon Aracı
Kimyasal ve faz Analizi (Bünye Kompozisyonu)	-İndüktif çift plazma emisyon spektroskopisi (ICP) -Yaş kimyasal analiz -Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) -X-ışını difraksiyonu (XRD) -X-ışını floresansı (XRF) -Nötron aktivasyon analizi (NAA)
Safsızlık miktarı/ Konsantrasyon	-İndüktif çift plazma emisyon spektroskopisi (ICP) -Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS)
Elementel dağılım/ Bölgesel kimyasal bileşim	- Optik mikroskop (OM) - Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji saçınımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) veya dalga boyu saçınımlı X-ışını spektroskopisi (WDS) - Elektron prob mikroanaliz (EPMA) - Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) - Analitik elektron mikroskobu (AEM) - Taramalı TEM (STEM) EDX ve elektron enerji kayıp spektroskopisi (EELS) - X-ışını absorpsiyon spektroskopisi (XAS)
Yüzey/ Arayüzey kimyası	- X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS, ESCA) - Auger elektron spektroskopisi (AES) - İkinci iyon kütle spektroskopisi (SIMS) - İyon saçınım spektroskopisi (ISS) - Ultraviyole fotoelektron spektroskopisi (UPS) - Kızılötesi spektroskopisi (IR) - Raman spektroskopisi
Isıl analizler	-Termomekanik analiz (TMA) -Dilatometre -Termogravimetrik analiz (TGA) -Diferansiyel termal analiz (DTA) -Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) -Gaz kromatografi/kütle spektroskopisi (GC/MS)

Tablo 1. 1. (Devam) Malzeme karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan fiziksel karakterizasyon teknikleri (Loehman, 1993)

Karakteristik	Karakterizasyon Aracı
Yoğunluk	- Boyut ve kütle ile yoğunluk - Hidrostatik ağırlık (Arşimed metodu) - Piknometre - Ağır sıvılarla karşılaştırma
Yoğunlaşma	- Termomekanik analiz (TMA) - Dilatometre
Porozite	- Civa porozimetresi
Yüzey alanı/ Porozite	- BET gaz adsorpsiyon - Geçirgenlik - Küçük açı nötron saçınımı (SANS) - Küçük açı X-ışını saçınımı (SAXS)
Yoğunluk homojenitesi	- Civa porozimetresi - Optik mikroskop - Taramalı elektron mikroskobu (SEM) - X-ışını radyografisi - Ultrasound - Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) - Kalıp penetrasyonu
Tane boyutu, dağılımı, morfolojisi, ve dokusu	- Optik mikroskop (OM) ve kantitatif stereoloji -Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve kantitatif stereoloji - Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) - Taramalı geçirimli elektron mikroskobu (STEM) - X-ışını difraksiyonu (XRD)
Faz tanımlama/ Moleküler yapı	- X-ışını difraksiyonu (XRD) - Elektron difraksiyon (ED) - Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) - Raman spektroskopisi - Genişletilmiş X-ışını analiz ince yapı (EXAFS) - Nötron difraksiyonu
Termal olaylar (faz geçişleri ve dönüşümleri)	- Diferansiyel termal analiz (DTA) - Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) - Termomekanik analiz (TMA) - Dilatometre

Tablo 3. 1. Burgaz Kazısı tasnif dışı metal örneklerin kazı envanter kodu, çalışma kodu ile analiz numaraları, malzemesi ve metalin türü hakkındaki tanımlamaları

Örnek No	Kazı Envanter Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Malzemesi	Türü
1	BZ.96.NE.3.6.A4	BZ.NE.96.M1.2	Metal	Obje Parçası
2	BZ.00.SE.7.3.C.1	BZ.SE.00.M2.5	Metal	Obje Parçası
3	BZ.01.NE.4.6.C9.M1	BZ.NE.01.M3.6	Metal	Obje Parçası
4	BZ.01.SE.3.8.A9.M1	BZ.SE.01.M4.7	Metal	Obje Parçası
5	BZ.01.NE.5.6.A11	BZ.NE.01.M5.8	Metal	Obje Parçası
6	BZ.01.NE.4.6.C7.M1	BZ.NE.01.M6.9	Metal	Obje Parçası
7	BZ.05.SE.4.5.A3A.M1	BZ.SE.05.M7.10	Metal	Obje Parçası
8	BZ.06.SE.5.6.C3.M2	BZ.SE.06.M8.11	Metal	Obje Parçası
9	BZ.06.SE.5.8.C5.M1	BZ.SE.06.M9.12	Metal	Obje Parçası
10	BZ.06.SE.6.6.B4.M2	BZ.SE.06.M10.13	Metal	Obje Parçası
11	BZ.06.SE.5.8.C6.M1	BZ.SE.06.M11.14	Metal	Obje Parçası
12	BZ.06.SE.5.6.C3.M1	BZ.SE.06.M12.16	Metal	Obje Parçası
13	BZ.07.SE.5.9.D4.M1	BZ.SE.07.M13.17	Metal	Obje Parçası
14	BZ.08.SE.11.8.C11.M3	BZ.SE.08.M14.18	Metal	Obje Parçası
15	BZ.08.SE.1.6.C5.M3	BZ.SE.08.M15.20	Metal	Obje Parçası
16	BZ.09.SE.3.5.A7.M3	BZ.SE.09.M16.21	Metal	Obje Parçası
17	BZ.09.SE.3.5.B3.M2	BZ.SE.09.M17.22	Metal	Obje Parçası
18	BZ.09.SE.3.4.A10A.M2	BZ.SE.09.M18.23	Metal	Obje Parçası
19	BZ.09.SE.5.10.A3A.M2	BZ.SE.09.M19.25	Metal	Obje Parçası
20	BZ.09.SE.12.7.A2A.M1	BZ.SE.09.M20.26	Metal	Obje Parçası
21	BZ.09.SE.1.8.C7.M2	BZ.SE.09.M21.27	Metal	Obje Parçası
22	BZ.09.SE.3.4.D2.M1	BZ.SE.09.M22.28	Metal	Obje Parçası

Tablo 3. 1. (Devam) Burgaz Kazısı tasnif dışı metal örneklerin kazı envanter kodu, çalışma kodu ile analiz numaraları, malzemesi ve metalin türü hakkındaki tanımlamaları

Örnek No	Kazı Envanter Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Malzemesi	Türü
23	BZ.09.SE. Yüzey Buluntusu	BZ.SE.09.M23.29	Metal	Obje Parçası
24	BZ.09.SE.A10.C1 (4 Adet)	BZ.SE.09.M24.30	Metal	Obje Parçası
25	BZ.09.SE.1.6.A3.M1	BZ.SE.09.M25.31	Metal	Obje Parçası
26	BZ.10.SE.10.6.D10.M1	BZ.SE.10.M26.33	Metal	Obje Parçası
27	BZ.10.SE.9.6.C2.M1	BZ.SE.10.M27.35	Metal	Obje Parçası
28	BZ.11.SE.12.4.D5.M4	BZ.SE.11.M28.36	Metal	Obje Parçası
29	BZ.11.SE.12.2.C5.M2	BZ.SE.11.M29.37	Metal	Obje Parçası
30	BZ.11.SE.12.2.B1.M2	BZ.SE.11.M30.39	Metal	Obje Parçası
31	BZ.11.SE.9.3.C4.M1	BZ.SE.11.M31.40	Metal	Obje Parçası
32	BZ.11.SE.11.4.A2.M1	BZ.SE.11.M32.42	Metal	Obje Parçası
33	BZ.12.NE.19.1.D3.M5	BZ.NE.12.M33.43	Metal	Obje Parçası
34	BZ.12.NE.18.3.B11.M1	BZ.NE.12.M34.45	Metal	Obje Parçası
35	BZ.12.NE.17.1.C4.M2	BZ.NE.12.M35.47	Metal	Obje Parçası
36	BZ.12.NE.17.3.B3	BZ.NE.12.M36.48	Metal	Obje Parçası
37	BZ.13.NE.6.3.B6.M1	BZ.NE.13.M37.49	Metal	Obje Parçası
38	BZ.13.SE.Temizlik.M1	BZ.NE.13.M38.50	Metal	Obje Parçası
39	BZ.13.NE.7.2.D3.M2	BZ.NE.13.M39.51	Metal	Obje Parçası
40	BZ.14.NE.7.1.D2.M1	BZ.NE.14.M40.52	Metal	Obje Parçası
41	BZ.15.NE.7.4.D3.M1	BZ.NE.15.M41.53	Metal	Obje Parçası
42	BZ.15.NE.6.4.C3A.M1	BZ.NE.15.M42.55	Metal	Obje Parçası
43	BZ.15.SE.6.2.D2A.M1	BZ.SE.15.M43.59	Metal	Obje Parçası
44	BZ.15.NE.5.1.D4.M8	BZ.NE.15.M44.60	Metal	Obje Parçası
45	BZ.15.NE. Yüzey Buluntusu	BZ.NE.15.M45.61	Metal	Obje Parçası

Tablo 3. 1. (Devam) Burgaz Kazısı tasnif dışı metal örneklerin kazı envanter kodu, çalışma kodu ile analiz numaraları, malzemesi ve metalin türü hakkındaki tanımlamaları

Örnek No	Kazı Envanter Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Malzemesi	Türü
46	BZ.15.SE.5.1.D4A.M1	BZ.SE.15.M46.62	Metal	Obje Parçası
47	BZ.15.SE.5.2.D8A.M1	BZ.SE.15.M47.64	Metal	Obje Parçası
48	BZ.16.SE.6.3.C4.M3	BZ.SE.16.M48.67	Metal	Obje Parçası

Tablo 3. 2. Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
1	BZ.96.NE.3.6.A4	BZ.NE.96.M1.2	
2	BZ.00.SE.7.3.C.1	BZ.SE.00.M2.5	
3	BZ.01.NE.4.6.C9.M1	BZ.NE.01.M3.6	
4	BZ.01.SE.3.8.A9.M1	BZ.SE.01.M4.7	
5	BZ.01.NE.5.6.A11	BZ.NE.01.M5.8	
6	BZ.01.NE.4.6.C7.M1	BZ.NE.01.M6.9	
7	BZ.05.SE.4.5.A3A.M1	BZ.SE.05.M7.10	

Tablo 3. 2. (Devam) Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
8	BZ.06.SE.5.6.C3.M2	BZ.SE.06.M8.11	
9	BZ.06.SE.5.8.C5.M1	BZ.SE.06.M9.12	
10	BZ.06.SE.6.6.B4.M2	BZ.SE.06.M10.13	
11	BZ.06.SE.5.8.C6.M1	BZ.SE.06.M11.14	
12	BZ.06.SE.5.6.C3.M1	BZ.SE.06.M12.16	
13	BZ.07.SE.5.9.D4.M1	BZ.SE.07.M13.17	

Tablo 3. 2. (Devam) Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
14	BZ.08.SE.11.8.C11.M3	BZ.SE.08.M14.18	
15	BZ.08.SE.1.6.C5.M3	BZ.SE.08.M15.20	
16	BZ.09.SE.3.5.A7.M3	BZ.SE.09.M16.21.	
17	BZ.09.SE.3.5.B3.M2	BZ.SE.09.M17.22	
18	BZ.09.SE.3.4.A10A.M2	BZ.SE.09.M18.23	
19	BZ.09.SE.5.10.A3A.M2	BZ.SE.09.M19.25	

Tablo 3. 2. (Devam) Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
20	BZ.09.SE.12.7.A2A.M1	BZ.SE.09.M20.26	
21	BZ.09.SE.1.8.C7.M2	BZ.SE.09.M21.27	
22	BZ.09.SE.3.4.D2.M1	BZ.SE.09.M22.28.	
23	BZ.09.SE.YÜZEY BULUNTUSU	BZ.SE.09.M23.29	
24	BZ.09.SE.A10.C1	BZ.SE.09.M24.30	
25	BZ.09.SE.1.6.A3.M1	BZ.SE.09.M25.31	

Tablo 3. 2. (Devam) Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
26	BZ.10.SE.10.6.D10	BZ.SE.10.M26.33	
27	BZ.10.SE.9.6.C2.M1	BZ.SE.10.M27.35	
28	BZ.11.SE.12.4.D5.M4	BZ.SE.11.M28.36.	
29	BZ.11.SE.12.2.C5.M2	BZ.SE.11.M29.37	
30	BZ.11.SE.12.2.B1.M2	BZ.SE.11.M30.39	
31	BZ.11.SE.9.3.C4.M1	BZ.SE.11.M31.40	

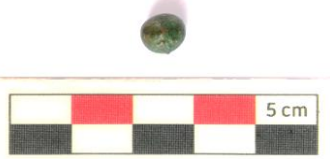
Tablo 3. 2. (Devam) Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
32	BZ.11.SE.11.4.A2.M1	BZ.SE.11.M32.42	
33	BZ.12.NE.19.1.D3.M5	BZ.NE.12.M33.43	
34	BZ.12.NE.18.3.B11.M1	BZ.NE.12.M34.45	
35	BZ.12.NE.17.1.C4.M2	BZ.NE.12.M35.47	
36	BZ.12.NE.17.3.B3	BZ.NE.12.M36.48	

Tablo 3. 2. (Devam) Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
37	BZ.13.NE.6.3.B6.M1	BZ.NE.13.M37.49	
38	BZ.13.SE.TEMİZLİK.M1	BZ.NE.13.M38.50	
39	BZ.13.NE.7.2.D3.M2	BZ.NE.13.M39.51	
40	BZ.14.NE.7.1.D2.M1	BZ.NE.14.M40.52	
41	BZ.15.NE.7.4.D3.M1	BZ.NE.15.M41.53	
42	BZ.15.NE.6.4.C3A.M1	BZ.NE.15.M42.55	

Tablo 3. 2. (Devam) Analizi yapılan Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin arkeolojik kodları, çalışma kodlamaları ile birlikte analiz numaraları ve fotoğrafları

Örnek No	Arkeolojik Kodu	Çalışma Kodu ve Analiz Numaraları	Numune Resim
43	BZ.15.SE.6.2.D2A.M1	BZ.SE.15.M43.59	
44	BZ.15.NE.5.1.D4.M8	BZ.NE.15.M44.60	
45	BZ.15.NE.YÜZEY BULUNTUSU	BZ.NE.15.M45.61	
46	BZ.15.SE.5.1.D4A.M1	BZ.SE.15.M46.62	
47	BZ.15.SE.5.2.D8A.M1	BZ.SE.15.M47.64	
48	BZ.16.SE.6.3.C4.M3	BZ.SE.16.M48.67	

Tablo 3. 3. Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim dalında bulunan taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresan spektrometresi (P-EDXRF) ile analiz edinilebilen elementlerin sayısı ve elementleri tespit etme limitleri

Element	Simge	Atom Numarası	Düşük yoğunluklu örnek türlerinin iyonlaşma aralığı (yüzdelik (%) ve ppm)
Magnezyum	Mg	12	< 1 %
Alüminyum	Al	13	< 1 %
Silisyum	Si	14	< 1 %
Fosfor	P	15	< 0.5 %
Kükürt	S	16	< 200 ppm
Klor	Cl	17	< 200 ppm
Potasyum	K	19	< 50 ppm
Kalsiyum	Ca	20	< 50 ppm
Scandiyum	Sc	21	< 50 ppm
Titanyum	Ti	22	< 10 ppm
Vanadyum	V	23	< 10 ppm
Krom	Cr	24	< 10 ppm
Mangan	Mn	25	< 10 ppm
Demir	Fe	26	< 10 ppm
Kobalt	Co	27	< 10 ppm
Nikel	Ni	28	< 10 ppm
Bakır	Cu	29	< 10 ppm
Çinko	Zn	30	< 5 ppm
Galyum	Ga	31	< 5 ppm
Germanyum	Ge	32	< 5 ppm
Arsenik	As	33	< 5 ppm
Selenyum	Se	34	< 5 ppm
Brom	Br	35	< 5 ppm
Rubidyum	Rb	37	< 5 ppm
Stronsiyum	Sr	38	< 5 ppm
İtriyum	Y	39	< 5 ppm
Zirkonyum	Zr	40	< 5 ppm
Niyobyum	Nb	41	< 5 ppm
Molibden	Mo	42	< 5 ppm
Tekhnetyum	Tc	43	< 5 ppm
Rutenyum	Ru	44	< 5 ppm
Rodyum	Rh	45	< 10 ppm
Palladyum	Pd	46	< 10 ppm

Tablo 3. 3. (Devam) Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim dalında bulunan taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresan spektrometresi (P-EDXRF) ile analiz edinilebilen elementlerin sayısı ve elementleri tespit etme limitleri

Element	Simge	Atom Numarası	Düşük yoğunluklu örnek türlerinin iyonlaşma aralığı (yüzdelik (%) ve ppm)
Gümüş	Ag	47	< 10 ppm
Kadmiyum	Cd	48	< 10 ppm
İndiyum	In	49	< 10 ppm
Kalay	Sn	50	< 20 ppm
Antimon	Sb	51	< 20 ppm
Tellür	Te	52	< 20 ppm
Iyot	I	53	< 20 ppm
Sezyum	Cs	55	< 20 ppm
Barium	Ba	56	< 20 ppm
Lantan	La	57	< 20 ppm
Seryum	Ce	58	< 20 ppm
Praseodim	Pr	59	< 20 ppm
Neodimyum	Nd	60	< 20 ppm
Prometyum	Pm	61	< 20 ppm
Samarium	Sm	62	< 20 ppm
Evropiyum	Eu	63	< 20 ppm
Gadolinium	Gd	64	< 20 ppm
Terbiyum	Tb	65	< 20 ppm
Disprosyum	Dy	66	< 20 ppm
Holmiyum	Ho	67	< 20 ppm
Erbiyum	Er	68	< 20 ppm
Tulyum	Tm	69	< 20 ppm
İterbiyum	Yb	70	< 20 ppm
Lutetyum	Lu	71	< 20 ppm
Hafniyum	Hf	72	< 10 ppm
Tantal	Ta	73	< 10 ppm
Wolfram	W	74	< 10 ppm
Renyum	Re	75	< 10 ppm
Osmiyum	Os	76	< 10 ppm
İridyum	Ir	77	< 10 ppm
Platin	Pt	78	< 10 ppm
Altın	Au	79	< 10 ppm
Civa	Hg	80	< 5 ppm

Tablo 3. 3. (Devam) Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim dalında bulunan taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresan spektrometresi (P-EDXRF) ile analiz edinilebilen elementlerin sayısı ve elementleri tespit etme limitleri

Element	Simge	Atom Numarası	Düşük yoğunluklu örnek türlerinin iyonlaşma aralığı (yüzdelik (%) ve ppm)
Talyum	Tl	81	< 5 ppm
Kurşun	Pb	82	< 5 ppm
Bizmut	Bi	83	< 5 ppm
Polonyum	Po	84	< 5 ppm
Astatin	At	85	< 5 ppm
Fransiyum	Fr	87	< 5 ppm
Radium	Ra	88	< 5 ppm
Aktinyum	Ac	89	< 5 ppm
Toryum	Th	90	< 5 ppm
Protaktinyum	Pa	91	< 5 ppm
Uranyum	U	92	< 5 ppm
Neptünyum	Np	93	< 5 ppm
Plütonyum	Pu	94	< 5 ppm

Tablo 3. 4. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi analiz sonuçları

Eser Kodu	Analiz No	Si	P	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Sb	Hg	Pb
BZ.NE.96.M1.2	#2C	0,36	0,268	ND	ND	0,074	ND	0,642	ND	ND	76,31	0,198	21,27	ND	ND	0,876
BZ.SE.00.M2.5	#5C	0,174	0,213	ND	ND	ND	ND	0,146	ND	ND	99,4	ND	ND	ND	ND	0,067
BZ.NE.01.M3.6	#6C	1,43	3,42	ND	ND	0,077	ND	ND	ND	ND	95,08	ND	ND	ND	ND	ND
BZ.SE.01.M4.7	#7C	0,36	0,197	ND	0,361	0,061	ND	1,685	ND	ND	59,09	ND	24,09	ND	ND	14,16
BZ.NE.01.M5.8	#8C	0,188	0,29	ND	ND	ND	ND	0,036	ND	ND	97,33	ND	1,956	ND	ND	0,203
BZ.NE.01.M6.9	#9C	0,239	0,231	ND	ND	0,033	ND	0,459	ND	ND	78,41	ND	19,73	ND	ND	0,895
BZ.SE.05.M7.10	#10C	0,158	0,249	ND	ND	ND	ND	0,255	ND	0,033	91,98	ND	7,13	ND	ND	0,195
BZ.SE.06.M8.11	#11C	0,209	0,26	ND	ND	0,036	ND	0,777	0,041	0,227	77,11	ND	21,3	ND	ND	0,04
BZ.SE.06.M9.12	#12C	0,42	0,321	ND	ND	ND	ND	0,627	ND	ND	73,31	0,177	25	ND	ND	0,141
BZ.SE.06.M10.13	#13C	0,45	0,311	ND	ND	0,059	ND	1,148	ND	0,238	75,02	0,201	22,22	ND	0,154	0,214
BZ.SE.06.M11.14	#14C	0,28	0,428	ND	ND	ND	ND	1,148	ND	ND	98,12	ND	ND	ND	ND	0,023
BZ.SE.06.M12.16	#16C	0,34	0,418	ND	ND	ND	ND	0,673	ND	ND	98,22	ND	ND	ND	0,318	0,032
BZ.SE.07.M13.17	#17C	0,29	0,26	ND	ND	0,052	ND	1,394	ND	0,029	60,93	0,14	12,86	ND	ND	24,04
BZ.SE.08.M14.18	#18C	0,189	0,31	ND	ND	0,035	ND	0,562	ND	ND	98,614	ND	ND	ND	ND	0,29
BZ.SE.08.M15.20	#20C	0,3	0,306	ND	ND	0,057	ND	0,4	ND	ND	76,58	0,237	20,6	ND	ND	1,522
BZ.SE.09.M16.21	#21C	0,33	0,329	ND	ND	0,078	0,048	3,37	ND	ND	45,07	0,227	30,88	ND	ND	19,66
BZ.SE.09.M17.22	#22C	0,28	0,291	ND	ND	ND	ND	0,232	ND	ND	77,23	ND	21,93	ND	ND	0,037
BZ.SE.09.M18.23	#23C	0,215	0,275	ND	ND	0,033	ND	0,603	ND	0,06	84,93	ND	13,81	ND	ND	0,065
BZ.SE.09.M19.25	#25C	0,215	0,24	ND	ND	ND	ND	1,791	ND	ND	96,53	ND	ND	ND	0,08	1,141
BZ.SE.09.M20.26	#26C	0,269	0,53	ND	ND	0,057	ND	3,831	ND	0,058	86,23	0,182	ND	ND	ND	8,85
BZ.SE.09.M21.27	#27C	0,52	0,324	ND	ND	ND	ND	1,097	ND	ND	75,29	0,24	22,42	ND	ND	0,104
BZ.SE.09.M22.28	#28C	0,168	0,253	ND	ND	0,049	ND	0,159	ND	0,127	79,45	ND	11,85	ND	ND	7,95
BZ.SE.09.M23.29	#29C	0,37	0,289	ND	ND	ND	ND	1,39	ND	ND	80,73	0,157	16,88	ND	ND	0,187
BZ.SE.09.M24.30	#30C	0,307	0,355	ND	ND	ND	ND	1,031	ND	ND	87,4	ND	10,55	ND	ND	0,359
BZ.SE.09.M25.31	#31C	0,34	0,318	ND	ND	0,209	ND	8,12	0,157	0,122	45,47	ND	43,14	ND	ND	2,135
BZ.SE.10.M26.33	#33C	0,218	0,244	ND	ND	0,033	ND	0,503	ND	0,157	97,41	ND	1,258	ND	ND	0,176
BZ.SE.10.M27.35	#35C	0,155	0,244	ND	ND	0,019	ND	0,396	ND	ND	99,021	ND	0,109	ND	ND	0,057
BZ.SE.11.M28.36	#36C	0,26	0,235	ND	ND	0,141	ND	5,11	ND	ND	53,86	ND	38,77	ND	ND	1,633
BZ.SE.11.M29.37	#37C	0,211	0,268	ND	ND	0,098	ND	1,376	ND	ND	80,05	ND	17,77	ND	ND	0,22
BZ.SE.11.M30.39	#39C	0,202	0,369	ND	ND	ND	ND	0,061	ND	ND	99,31	ND	ND	ND	ND	0,057
BZ.SE.11.M31.40	#40C	0,34	0,313	ND	ND	ND	ND	1,147	0,043	0,042	77,94	0,211	18,06	ND	ND	1,903
BZ.SE.11.M32.42	#42C	0,243	0,3	ND	ND	0,028	ND	0,227	ND	ND	99,177	ND	ND	ND	ND	0,025
BZ.NE.12.M33.43	#43C	0,211	0,264	ND	ND	ND	ND	0,871	ND	ND	98,548	ND	ND	ND	0,059	0,048
BZ.NE.12.M34.45	#45C	0,58	0,455	ND	0,102	0,093	ND	1,072	ND	0,052	63,12	0,265	11,81	ND	ND	22,45
BZ.NE.12.M35.47	#47C	0,26	0,288	ND	ND	0,075	0,017	1,64	ND	ND	97,56	ND	ND	ND	0,083	0,078
BZ.NE.12.M36.48	#48C	0,379	0,583	ND	ND	0,054	ND	2,119	ND	0,036	96,73	ND	ND	ND	ND	0,097
BZ.NE.13.M37.49	#49C	0,37	0,319	ND	ND	ND	ND	1,479	ND	ND	76,64	0,165	20,87	ND	ND	0,15
BZ.NE.13.M38.50	#50C	0,197	0,254	ND	ND	ND	ND	0,601	ND	ND	82,21	ND	16,63	ND	ND	0,112
BZ.NE.13.M39.51	#51C	0,4	0,419	ND	ND	0,039	ND	1,302	ND	0,056	97,62	ND	ND	ND	ND	0,172
BZ.NE.14.M40.52	#52C	0,25	0,391	0,203	ND	ND	0,364	3,138	ND	ND	92,62	3,002	ND	ND	ND	0,037
BZ.NE.15.M41.53	#53C	0,68	1,02	ND	ND	ND	ND	0,114	ND	ND	97,4	ND	ND	ND	ND	0,786
BZ.NE.15.M42.55	#55C	0,279	0,253	ND	ND	0,063	ND	0,749	ND	ND	97,84	ND	0,589	ND	ND	0,23
BZ.NE.15.M43.59	#59C	0,99	0,74	ND	ND	ND	ND	0,621	ND	ND	63,92	ND	31,84	ND	ND	1,89
BZ.NE.15.M44.60	#60C	0,74	0,39	ND	ND	0,083	ND	3,119	ND	0,06	73,38	0,338	20,16	ND	ND	1,731
BZ.NE.15.M45.61	#61C	0,362	0,364	ND	ND	0,166	ND	3,108	ND	0,058	85,75	ND	10,09	ND	ND	0,1
BZ.NE.15.M46.62	#62C	0,192	0,27	ND	0,127	0,111	0,057	0,215	ND	0,025	77,56	ND	2,52	0,209	ND	18,71
BZ.NE.15.M47.64	#64C	0,213	0,242	ND	ND	0,088	ND	1,231	ND	ND	78,57	ND	17,97	ND	ND	1,687
BZ.NE.16.M48.67	#67C	0,278	0,258	ND	ND	0,023	ND	0,028	ND	ND	99,41	ND	ND	ND	ND	ND

Tablo 3. 7. Alloy Plus (Alaşım Modu)'da tespit edilen elementler

Element	Işın 1 ile 40 kV'de Tespit Edilen Elementler	Işın 2 ile 13 kV'de Tespit Edilen Elementler	Işın 3 ile 8 kV'de Tespit Edilen Elementler
Mg		✓	✓
Al		✓	✓
Si		✓	✓
P		✓	✓
S		✓	✓
Ti	✓	✓	✓
V	✓	✓	✓
Cr	✓	✓	✓
Mn	✓	✓	✓
Fe	✓	✓	✓
Co	✓	✓	
Ni	✓	✓	
Cu	✓	✓	
Zn	✓	✓	
Zr	✓		
Nb	✓		
Mo	✓	✓	✓
Pd	✓		
Ag	✓		
Cd	✓		
Sn	✓	✓	✓
Sb	✓		
Hf	✓		
Ta	✓		
W	✓		
Re	✓		
Pt	✓		
Au	✓		
Hg	✓		
Pb	✓		
Bi	✓		
LE	✓		

Tablo 4. 1. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin taşınabilir enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi analiz sonuçları, tanımlamaları ve ortalamaları

Eser Kodu	Analiz No	Si	P	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Sb	Hg	Pb	Tanımlamalar
BZ.NE.96.M1.2	#2C	0,36	0,26	ND	ND	0,074	ND	0,642	ND	ND	76,31	0,19	21,27	ND	ND	0,87	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.00.M2.5	#5C	0,17	0,21	ND	ND	ND	ND	0,14	ND	ND	99,4	ND	ND	ND	ND	0,06	Bakır
BZ.NE.01.M3.6	#6C	1,43	3,42	ND	ND	0,077	ND	ND	ND	ND	95,08	ND	ND	ND	ND	ND	Bakır
BZ.SE.01.M4.7	#7C	0,36	0,1965	ND	0,36	0,061	ND	1,685	ND	ND	59,09	ND	24,09	ND	ND	14,16	Yüksek Kalay ve Yüksek Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.NE.01.M5.8	#8C	0,18	0,2896	ND	ND	ND	ND	0,036	ND	ND	97,33	ND	1,9556	ND	ND	0,2025	Bakır
BZ.NE.01.M6.9	#9C	0,2385	0,231	ND	ND	0,033	ND	0,459	ND	ND	78,41	ND	19,73	ND	ND	0,8952	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.05.M7.10	#10C	0,1575	0,2494	ND	ND	ND	ND	0,255	ND	0,0325	91,98	ND	7,13	ND	ND	0,1952	Bronz
BZ.SE.06.M8.11	#11C	0,2089	0,2595	ND	ND	0,036	ND	0,777	0,0407	0,2271	77,11	ND	21,3	ND	ND	0,0395	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.06.M9.12	#12C	0,42	0,3207	ND	ND	ND	ND	0,627	ND	ND	73,31	0,1771	25	ND	ND	0,1411	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.06.M10.13	#13C	0,45	0,3108	ND	ND	0,059	ND	1,148	ND	0,238	75,02	0,2006	22,22	ND	0,154	0,2135	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.06.M11.14	#14C	0,28	0,4279	ND	ND	ND	ND	1,148	ND	ND	98,12	ND	ND	ND	ND	0,0232	Bakır
BZ.SE.06.M12.16	#16C	0,34	0,4181	ND	ND	ND	ND	0,673	ND	ND	98,22	ND	ND	ND	0,318	0,0319	Bakır
BZ.SE.07.M13.17	#17C	0,29	0,2601	ND	ND	0,052	ND	1,394	ND	0,0291	60,93	0,1402	12,86	ND	ND	24,04	Kalay ve Yüksek Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.SE.08.M14.18	#18C	0,1892	0,3099	ND	ND	0,035	ND	0,562	ND	ND	98,614	ND	ND	ND	ND	0,2899	Bakır
BZ.SE.08.M15.20	#20C	0,3	0,3057	ND	ND	0,057	ND	0,4	ND	ND	76,58	0,2371	20,6	ND	ND	1,5221	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M16.21	#21C	0,33	0,3292	ND	ND	0,078	0,0482	3,37	ND	ND	45,07	0,2269	30,88	ND	ND	19,66	Yüksek Kalay Yüksek Kurşun ve Demir Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M17.22	#22C	0,28	0,2908	ND	ND	ND	ND	0,232	ND	ND	77,23	ND	21,93	ND	ND	0,037	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M18.23	#23C	0,2147	0,2754	ND	ND	0,033	ND	0,603	ND	0,0604	84,93	ND	13,81	ND	ND	0,065	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M19.25	#25C	0,2151	0,2399	ND	ND	ND	ND	1,791	ND	ND	96,53	ND	ND	ND	0,08	1,1405	Bakır
BZ.SE.09.M20.26	#26C	0,2693	0,5302	ND	ND	0,057	ND	3,831	ND	0,0583	86,23	0,182	ND	ND	ND	8,85	Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M21.27	#27C	0,52	0,3243	ND	ND	ND	ND	1,097	ND	ND	75,29	0,2401	22,42	ND	ND	0,1043	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M22.28	#28C	0,1677	0,2529	ND	ND	0,049	ND	0,159	ND	0,1265	79,45	ND	11,85	ND	ND	7,95	Yüksek Kalay ve Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M23.29	#29C	0,37	0,2888	ND	ND	ND	ND	1,39	ND	ND	80,73	0,1571	16,88	ND	ND	0,1674	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M24.30	#30C	0,3071	0,3549	ND	ND	ND	ND	1,031	ND	ND	87,4	ND	10,55	ND	ND	0,3586	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M25.31	#31C	0,34	0,3177	ND	ND	0,209	ND	8,12	0,157	0,1215	45,47	ND	43,14	ND	ND	2,135	Yüksek Kalay ve Demir Alaşımli Tunç
BZ.SE.10.M26.33	#33C	0,2177	0,2436	ND	ND	0,033	ND	0,503	ND	0,1565	97,41	ND	1,2581	ND	ND	0,1759	Bakır
BZ.SE.10.M27.35	#35C	0,1552	0,2435	ND	ND	0,019	ND	0,396	ND	ND	99,021	ND	0,1093	ND	ND	0,0572	Bakır
BZ.SE.11.M28.36	#36C	0,26	0,2354	ND	ND	0,141	ND	5,11	ND	ND	53,86	ND	38,77	ND	ND	1,6327	Yüksek Kalay ve Demir Alaşımli Tunç
BZ.SE.11.M29.37	#37C	0,2105	0,2677	ND	ND	0,098	ND	1,376	ND	ND	80,05	ND	17,77	ND	ND	0,2204	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.11.M30.39	#39C	0,2021	0,3689	ND	ND	ND	ND	0,061	ND	ND	99,31	ND	ND	ND	ND	0,0568	Bakır
BZ.SE.11.M31.40	#40C	0,34	0,3127	ND	ND	ND	ND	1,147	0,0431	0,0415	77,94	0,2113	18,06	ND	ND	1,9026	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.11.M32.42	#42C	0,2428	0,2996	ND	ND	0,028	ND	0,227	ND	ND	99,177	ND	ND	ND	ND	0,025	Bakır
BZ.NE.12.M33.43	#43C	0,2106	0,2635	ND	ND	ND	ND	0,871	ND	ND	98,548	ND	ND	ND	0,059	0,0479	Bakır
BZ.NE.12.M34.45	#45C	0,58	0,4551	ND	0,1	0,093	ND	1,072	ND	0,0519	63,12	0,2651	11,81	ND	ND	22,45	Kalay ve Yüksek Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.NE.12.M35.47	#47C	0,2601	0,2881	ND	ND	0,075	0,017	1,64	ND	ND	97,56	ND	ND	ND	0,083	0,078	Bakır
BZ.NE.12.M36.48	#48C	0,3793	0,5828	ND	ND	0,054	ND	2,119	ND	0,0362	96,73	ND	ND	ND	ND	0,0966	Bakır
BZ.NE.13.M37.49	#49C	0,37	0,3187	ND	ND	ND	ND	1,479	ND	ND	76,64	0,1645	20,87	ND	ND	0,1503	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.NE.13.M38.50	#50C	0,1974	0,2542	ND	ND	ND	ND	0,601	ND	ND	82,21	ND	16,63	ND	ND	0,1121	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.NE.13.M39.51	#51C	0,4	0,4186	ND	ND	0,039	ND	1,302	ND	0,0563	97,62	ND	ND	ND	ND	0,1719	Bakır
BZ.NE.14.M40.52	#52C	0,25	0,3907	0,2027	ND	ND	0,3637	3,138	ND	ND	92,62	3,0021	ND	ND	ND	0,0373	Bakır
BZ.NE.15.M41.53	#53C	0,68	1,02	ND	ND	ND	ND	0,114	ND	ND	97,4	ND	ND	ND	ND	0,7855	Bakır
BZ.NE.15.M42.55	#55C	0,2789	0,2532	ND	ND	0,063	ND	0,749	ND	ND	97,84	ND	0,589	ND	ND	0,2302	Bakır
BZ.SE.15.M43.59	#59C	0,99	0,74	ND	ND	ND	ND	0,621	ND	ND	63,92	ND	31,84	ND	ND	1,89	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.NE.15.M44.60	#60C	0,74	0,3899	ND	ND	0,083	ND	3,119	ND	0,0599	73,38	0,3376	20,16	ND	ND	1,7306	Yüksek Kalay ve Demir Alaşımli Tunç
BZ.NE.15.M45.61	#61C	0,3615	0,3635	ND	ND	0,166	ND	3,108	ND	0,0581	85,75	ND	10,09	ND	ND	0,0995	Yüksek Kalay ve Demir Alaşımli Tunç
BZ.SE.15.M46.62	#62C	0,1917	0,2703	ND	0,12	0,111	0,0566	0,215	ND	0,0248	77,56	ND	2,5203	0,209	ND	18,71	Yüksek Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.SE.15.M47.64	#64C	0,2134	0,2417	ND	ND	0,088	ND	1,231	ND	ND	78,57	ND	17,97	ND	ND	1,6873	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.16.M48.67	#67C	0,2778	0,2584	ND	ND	0,023	ND	0,028	ND	ND	99,41	ND	ND	ND	ND	ND	Bakır
ORTALAMA							0,1214	1,315			83,323	0,4094	17,377		0,138	2,9461	

Tablo 4. 2. Analizi yapılan 10 adet tasnif dışı metal örneğin SEM-EDX analiz sonuçları

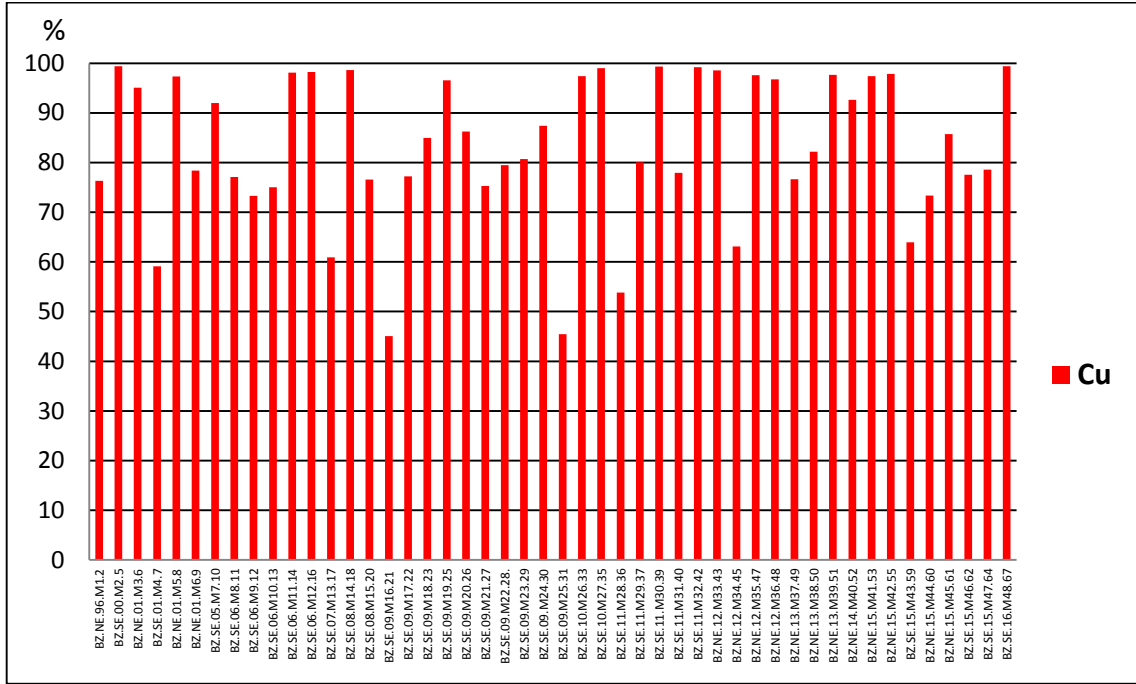
Eser Kodu	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb	Tanımlamalar
BZ.SE.00.M2	0,56	99,25	ND	ND	0,19	Bakır
BZ.SE.07.M13	1	65,4	ND	24,52	9,08	Yüksek Kalay ve Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.SE.09.M23	2,91	85,77	0,11	9,44	1,77	Kalay ve Demir Alaşımli Tunç
BZ.SE.08.M15	0,37	75,08	ND	22,88	1,67	Yüksek Kalay Alaşımli Tunç
BZ.SE.15.M46	0,2	78,01	ND	9,19	12,59	Kalay ve Kurşun Alaşımli Tunç
BZ.SE.16.M48	0,27	99,73	ND	ND	ND	Bakır
BZ.SE.11.M30	0,23	99,77	ND	ND	ND	Bakır
BZ.NE.14.M40	0,7	97,8	1,5	ND	ND	Bakır
BZ.NE.12.M34	2,41	55,94	0,32	32,63	8,7	Yüksek Kalay, Kurşun ve Demir Alaşımli Tunç
BZ.SE.15.M43	0,72	55,73	ND	35,16	8,38	Yüksek Kalay ve Kurşun Alaşımli Tunç
ORTALAMA	0,937	81,248	0,64333	22,3033	6,05429	

Tablo 4. 3. Analizi yapılan 10 adet tasnif dışı metal örneğin P-EDXRF ve SEM-EDX analiz sonuçları

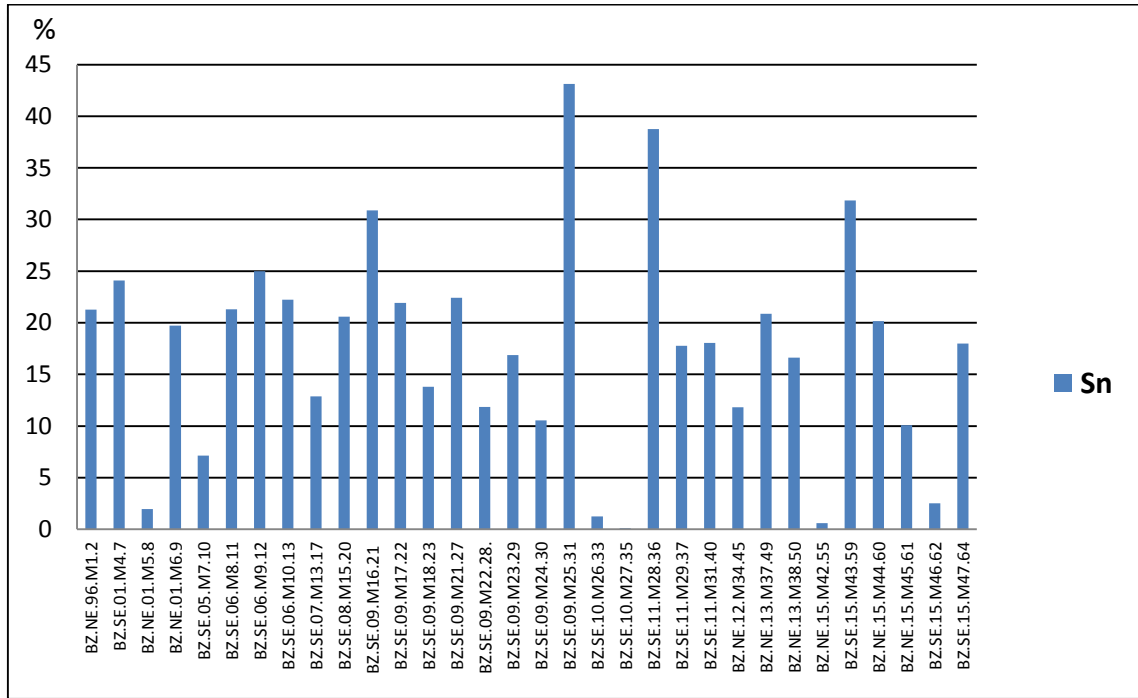
Örnek Kodu	Analiz Türü	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
BZ.SE.00.M2	P-EDXRF	0,1462	99,4003	ND	ND	0,0665
	SEM-EDX	0,56	99,25	ND	ND	0,19
BZ.SE.07.M13	P-EDXRF	1,3943	60,93	0,1402	12,86	24,04
	SEM-EDX	1	65,4	ND	24,52	9,08
BZ.SE.09.M23	P-EDXRF	1,3903	80,73	0,1571	16,88	0,1874
	SEM-EDX	2,91	85,77	0,11	9,44	1,77
BZ.SE.08.M15	P-EDXRF	0,4004	76,58	0,2371	20,6	1,5221
	SEM-EDX	0,37	75,08	ND	22,88	1,67
BZ.SE.15.M46	P-EDXRF	0,2147	77,56	ND	2,5203	18,71
	SEM-EDX	0,2	78,01	ND	9,19	12,59
BZ.SE.16.M48	P-EDXRF	0,0283	99,41	ND	ND	ND
	SEM-EDX	0,27	99,73	ND	ND	ND
BZ.SE.11.M30	P-EDXRF	0,0607	99,31	ND	ND	0,0568
	SEM-EDX	0,23	99,77	ND	ND	ND
BZ.NE.14.M40	P-EDXRF	3,1376	92,62	3,0021	ND	0,0373
	SEM-EDX	0,7	97,8	1,5	ND	ND
BZ.NE.12.M34	P-EDXRF	1,0718	63,12	0,2651	11,81	22,45
	SEM-EDX	2,41	55,94	0,32	32,63	8,7
BZ.SE.15.M43	P-EDXRF	0,6207	63,92	ND	31,84	1,89
	SEM-EDX	0,72	55,73	ND	35,16	8,38

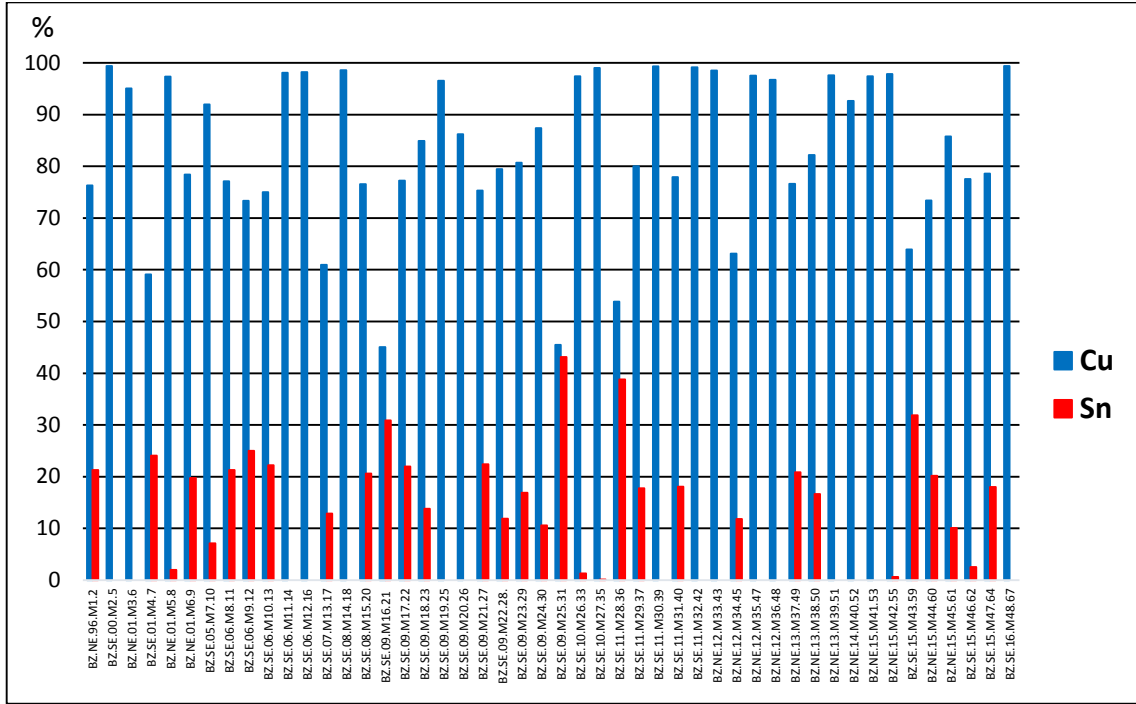
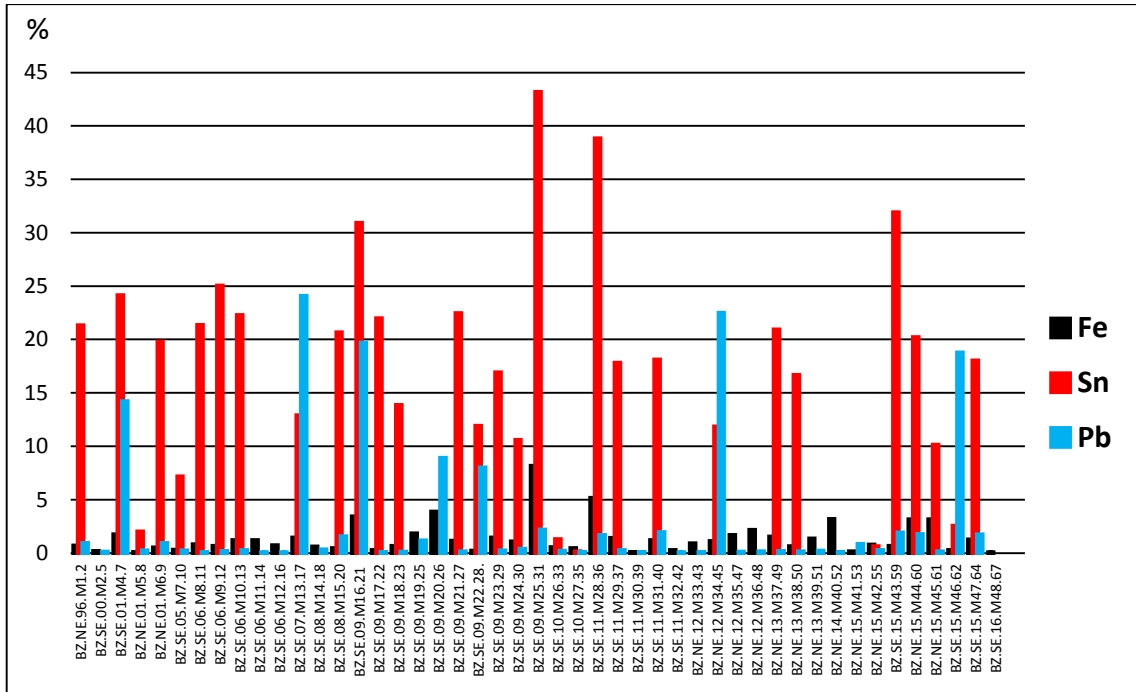
EK-3: GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 4. 1. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu) dağılım oranı

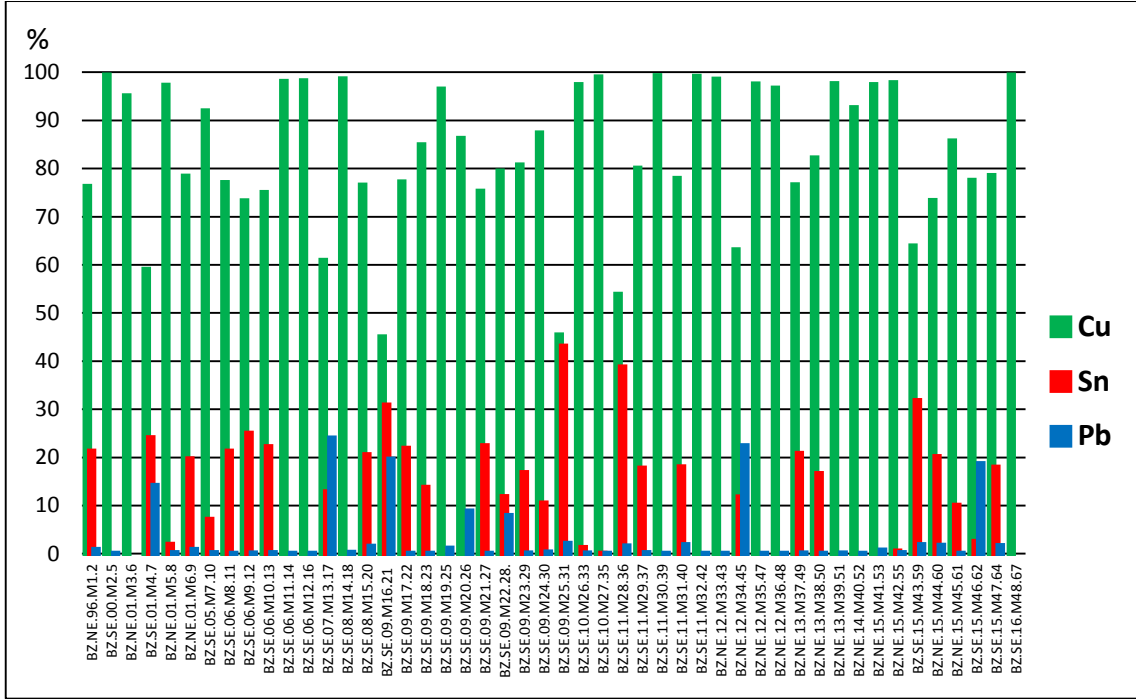


Grafik 4. 2. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Kalay (Sn) dağılım oranı

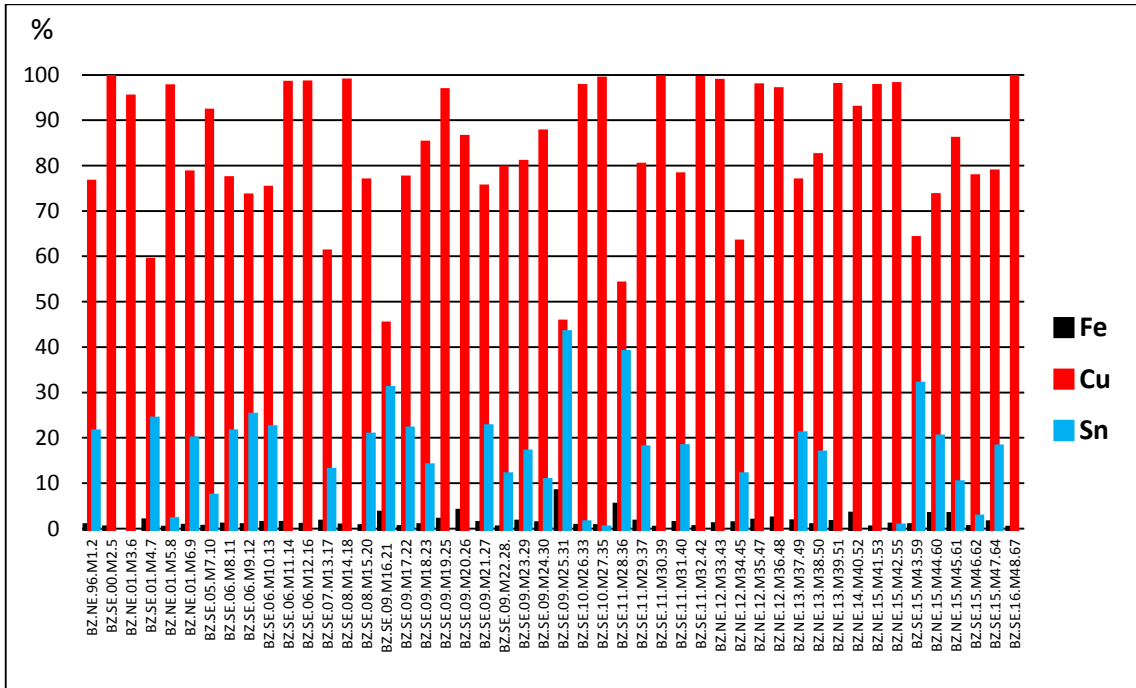


Grafik 4. 3. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu) ve Kalay (Sn) dağılım oranları**Grafik 4. 4.** Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Demir (Fe), Kalay (Sn) ve Kurşun (Pb) dağılım oranları

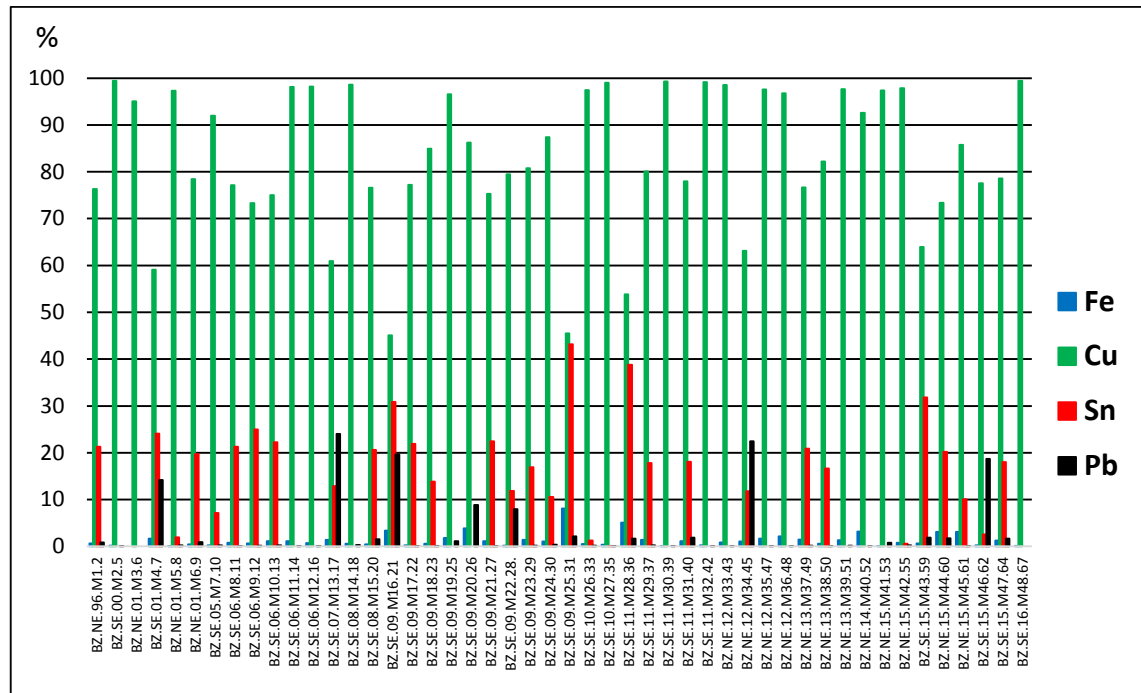
Grafik 4. 5. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu), Kalay (Sn) ve Kurşun (Pb) dağılım oranları



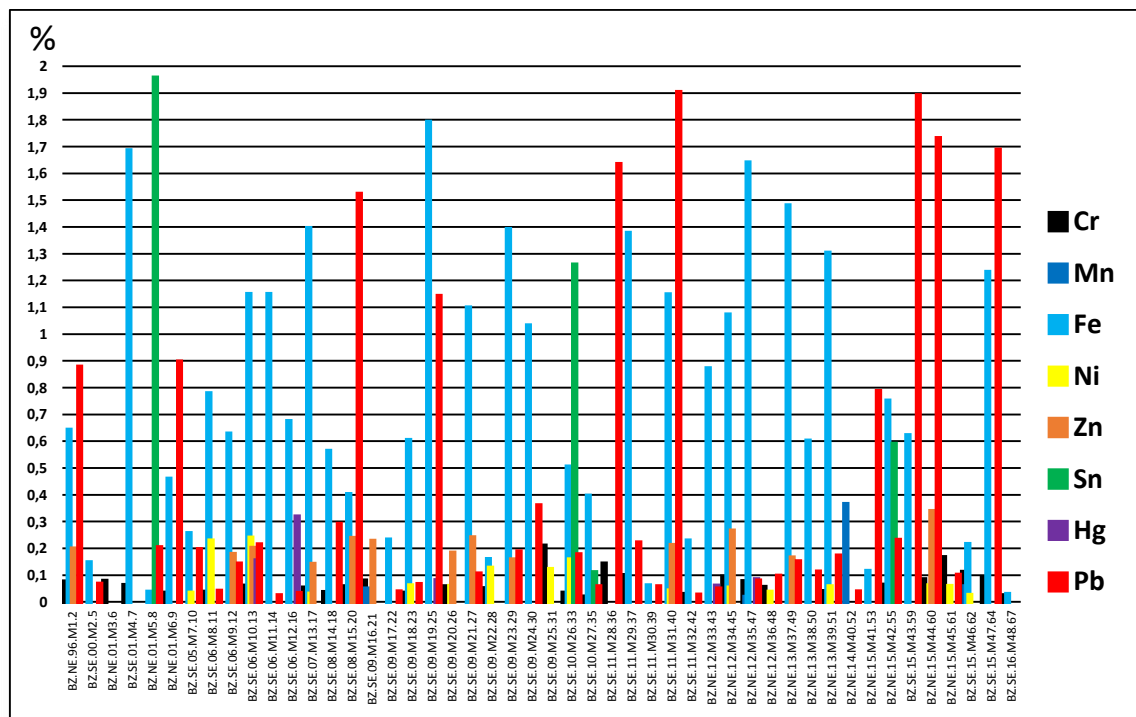
Grafik 4. 6. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu), Kalay (Sn) ve Demir (Fe) dağılım oranları

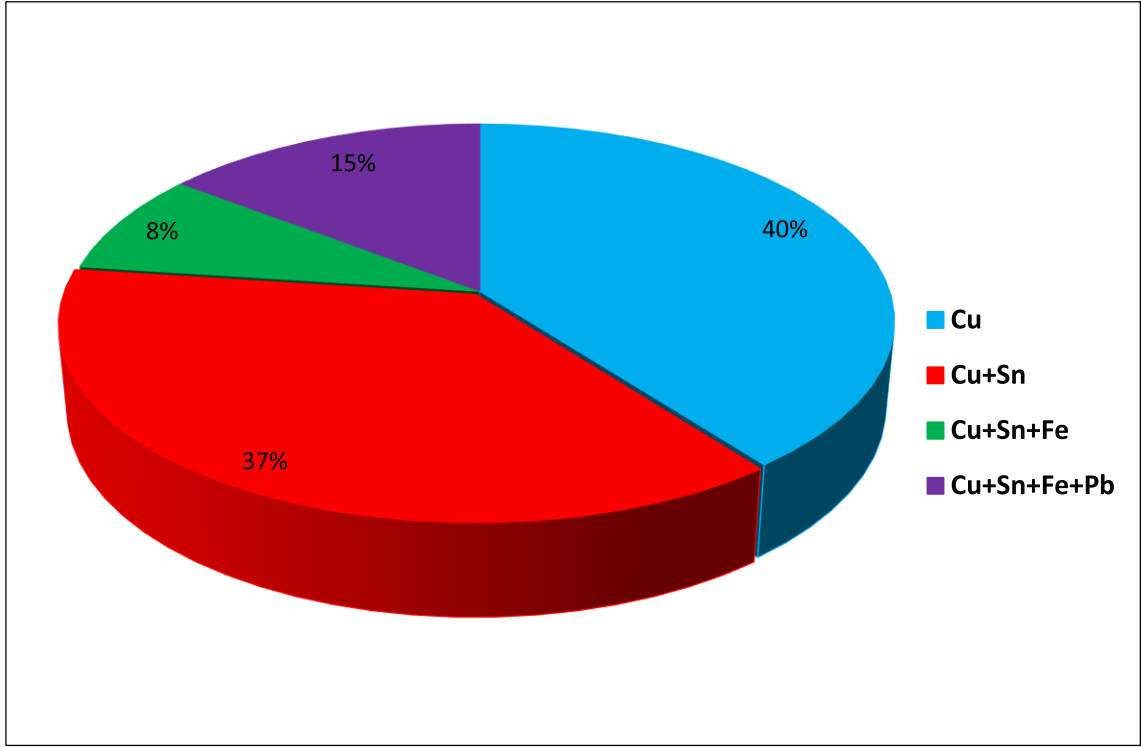
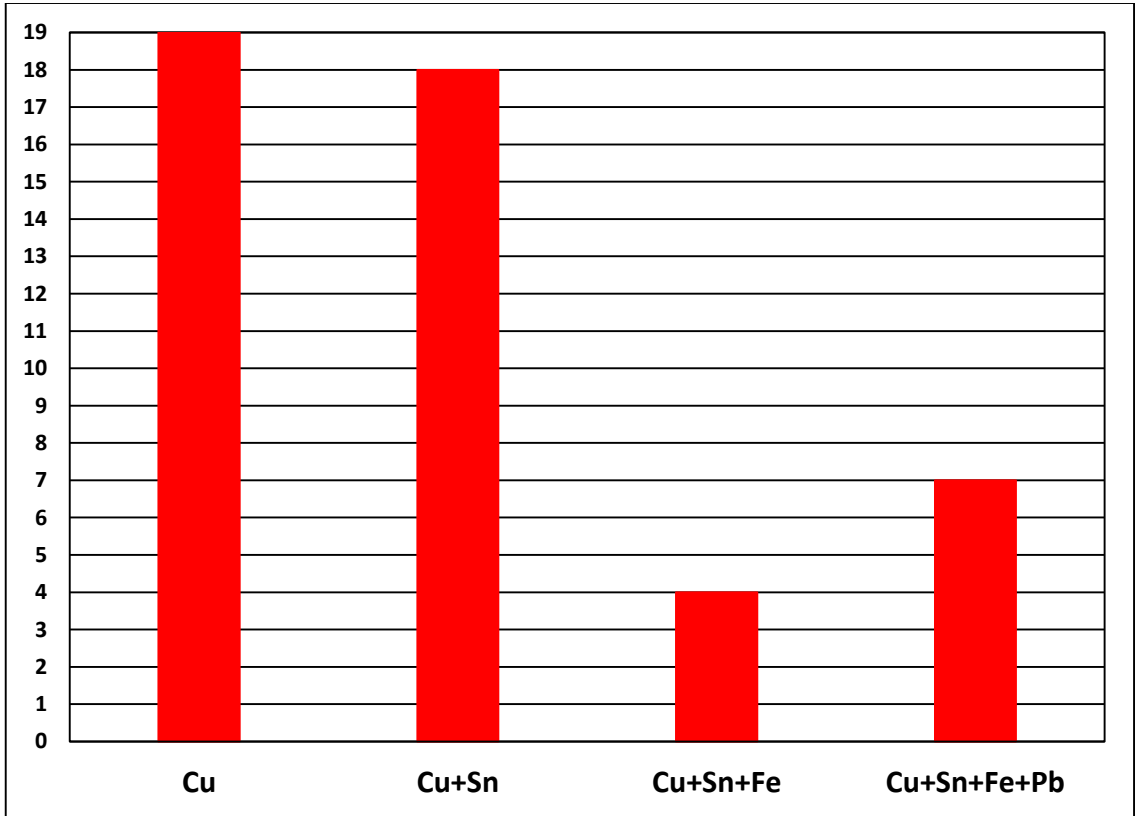


Grafik 4. 7. Burgaz kazısı tasnif dışı metal örneklerin Bakır (Cu), Kalay (Sn), Kurşun (Pb) ve Demir (Fe) dağılım oranları



Grafik 4. 8. Az ve iz elementlerin yüzdelik oranları



Grafik 5. 1. Bakır ve bakır alaşımlarının yüzdelik oranları**Grafik 5. 2.** Bakır ve bakır alaşımlı örneklerin adet sayısı

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hüseyin TANRIKULU
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : SASON/10.09.1986
Telefon : 0537 7391783
Faks : -
e-mail : huseyin.tanriklu72@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Sason Lisesi, Sason, BATMAN	2006
Üniversite	: Mersin Üniversitesi, Merkez, MERSİN (Klasik Arkeoloji)	2015
Yüksek Lisans:	Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Arkeometri ABD	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	Burgaz (Palaia Knidos) Kazısı	Arkeoloji Öğrencisi
2014	Burgaz (Palaia Knidos) Kazısı	Arkeoloji Öğrencisi
2015	Kelenderis Kazısı	Arkeolog
2016	Burgaz (Palaia Knidos) Kazısı	Arkeolog
2017	Burgaz (Palaia Knidos) Kazısı	Arkeolog

UZMANLIK ALANI

- Arkeometri, Metal

YABANCI DİLLER

- İngilizce (Orta)