

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TAŞINABİLİR KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE
ONARIM ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENEZ (AINOS) KAZISI SU TERAZİSİ VE KRAL
KIZI BÖLGELERİNDE ELE GEÇEN CAMLARIN
BOZULMALARI ÜZERİNE ARKEOMETRİK
ÇALIŞMALAR

Didem ÇOLAK BÜYÜKSOY
2501170883

TEZ DANIŞMANLARI
Doç. Dr. H. Işıl KOCABAŞ
Doç. Dr. Ali Akın AKYOL

İSTANBUL – 2020

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TAŞINABİLİR KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE
ONARIM ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENEZ (AINOS) KAZISI SU TERAZİSİ VE KRAL
KIZI BÖLGELERİNDE ELE GEÇEN CAMLARIN
BOZULMALARI ÜZERİNE ARKEOMETRİK
ÇALIŞMALAR

Didem ÇOLAK BÜYÜKSOY
2501170883

TEZ DANIŞMANLARI
Doç. Dr. H. Işıl KOCABAŞ
Doç. Dr. Ali Akın AKYOL

İSTANBUL – 2020
Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 34068

ÖZ

ENEZ (AINOS) KAZISI SU TERAZİSİ VE KRAL KIZI BÖLGELERİNDE ELE GEÇEN CAMLARIN BOZULMALARI ÜZERİNE ARKEOMETRİK ÇALIŞMALAR

DİDEM ÇOLAK BÜYÜKSOY

Edirne ili Enez ilçesinde yer alan Enez (Ainos) antik kenti kazı çalışmalarında bulunan 31 adet etütlük cam buluntunun kimyasal içeriğinin belirlenmesi ve kimyasal içeriklerinin örneklerde görülen bozulma tabakaları ile ilişkilendirilmesi üzerine uygulanan arkeometrik incelemeler bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Cam buluntuların öncelikle fiziksel durumları incelenmiş, cam yüzeyinde bulunan bozulma tabakaları fotoğrafla belgelenmiş, dijital kalınlık ölçer ile kalınlıkları ölçülmüş, renk ölçümleri yapılmış ve optik mikroskop altında habbe ve bozulma ürünlerinin görüntüleri çekilerek belgelenmiştir. Camın yüzeyinde mevcut olan bozulmaların görsel olarak incelemesi yapılmış; var olan bozulma türleri ve bozulma dereceleri belirlenerek bir tablo oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın amacı Enez arkeolojik camlarının kimyasal içeriklerinin ve bozulma sürecinde meydana gelen kimyasal değişikliklerin araştırılması ve sonuçların bu konudaki çalışmalara katkı sağlamasıdır. Cam örneklerin element ve mineralojik içeriklerini belirlemek için Polarize Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans (Polarized Energy Dispersive-PED-XRF), Taramalı Elektron Mikroskobu- Enerji Dağılımlı Spektrometresi (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometry, SEM-EDS) ve Raman (Konfokal) Spektroskopi yöntemleri kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre sodyum-kalsiyum-silisyum içerikleri değerlendirildiğinde camların tipik soda-kireç-silis camı olduğu Polarized Energy Dispersive-PED-XRF tespit edilmiştir. Camın üretiminde ergitici olarak natron veya trona kullanılmıştır. Örneklerin stronsiyum (Sr) ve zirkonyum (Zr) içerikleri, üretimde silis kaynağı olarak deniz kumu kullanıldığını düşündürmektedir. Örneklerin renk ölçümü (kromametrik analiz) ile görünen renkleri belirlenmiştir ve bu sonuçlar daha sonra PED-XRF analizi ile desteklenmiştir. Cama renk verici elementler demir (Fe), bakır (Cu), kobalt (Co) ve kurşun (Pb) olarak tespit edilmiştir.

MS 1. binyıl sonrasında belirgin cam kompozisyonları olan önemli bölgelerin büyük atölyeleri ortaya çıkmaktadır. 10 örnek üzerinde yapılan PED-XRF analiz sonuçlarına göre belirlenen birkaç ana cam grubuna göre Enez camları da 4 farklı gruba ayrılabilmiştir; mangan ile renksizleştirilmiş Roma camı, antimon-mangan karışık renksizleştirilmiş Roma camı, HIMT (yüksek demir-mangan- titanyum) camı ve Levant I camı.

Roma Dönemi'ne ait örneklerin bozulma tabakaları görsel olarak ve optik mikroskop ile incelendiğinde; sedef oluşumu, matlaşma, süt beyazı-mine aşınma (siyah kabuk) ve çukur oluşumu gibi camın kimyasal bileşiminden kaynaklanan bozulma türleri tespit edilmiştir. Cam harmanında ağ yapıcı olarak bulunan SiO_2 'nin yüksek miktarda olması camın mekanik direncini arttırmaktadır. Beklenenden düşük olan SiO_2 içeriğinin nedeni camlarda görülen bozulmalardır.

Camların zaman içerisinde su ve/veya neme maruz kalması cam objelerin bozulmasına neden olmaktadır. Ancak camın içeriği, camın bulunduğu ortam (pH, sıcaklık, nem) ve fırın sıcaklığı, fırında kalma süresi gibi etkenler de camın bozulmasını etkileyen faktörlerdir. Başlangıçta cam yüzeyinde oluşan jel tabakası, silisyum açısından zengin, sodyum ve kalsiyum açısından fakirdir. Bozulma tabakalarında SiO_2 içeriğinin fazla olması, camlarda görülen bozulmaları destekler niteliktedir. Cam objelerin nem ve/veya su ile temas etmesi sonucu yüzeyde oluşan jel tabakasında ergitici (Na_2O) ve sağlamlaştırıcı (CaO) miktarının azalması beklenmektedir. Ancak örneklerin SEM-EDS analizi sonuçlarında Na_2O ve CaO miktarının yüksek olmasının, antik kentin denize çok yakın bir konumda olması nedeniyle denizel etki sonucu oluşan birikintilerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Mine aşınma türü bozulmada görülen siyah kabuk tabakası, mangan içeriği ile karakterizedir. Yüksek mangan içeriği ile birlikte demir içeriğinin de yüksek olması beklenmektedir. Mine aşınmadaki siyah kabuklanmada, yüksek mangan içeriği görülürken, aynı element camın genel yapısında ve diğer bozulma türlerinde her zaman daha az bulunmaktadır. Cam örneklerin Mikro XRF, PED-XRF ve SEM-EDS analizleri sonucunda siyah kabuklanma türü bozulma ürünlerinde mangan ve demir öne çıkarken, Raman analizi ile saptanan mangan ve demir içeriklerinin varlığı bu sonuçları desteklemektedir.

Raman analizi sonucunda, jel tabakasında SiO₂ ve Fe içeriğinin ve siyah kabuk oluşumunda (mine aşınma) görülen tabakalarda mangan ve demir içeriğinin yanı sıra mavimsi-yeşil renkteki örneğin rengini destekleyebilecek pigment içeriği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arkeometri, Arkeolojik Cam Kimyası, Arkeolojik Cam Bozulmaları, Sedef Oluşumu, Matlaşma, Süt Beyazı/Mine Aşınma, Çukur Oluşumu, Yarık Oluşumu.

ABSTRACT
ARCHAEOLOGICAL STUDIES ON THE DETERIORATION OF GLASS
ARTIFACTS OF SU TERAZISI AND KRAL KIZI REGIONS IN ENEZ
(AINOS) EXCAVATION
DİDEM ÇOLAK BÜYÜKSOY

The subject of this study is the determination of the chemical content of 31 glass finds in the ancient city of Enez (Ainos) located in the district of Enez in the province of Edirne, and archaeological investigations on the association of chemical contents with the layers of deterioration in the samples.

The physical condition of glass finds was firstly examined, the layers of deterioration on the glass surface were documented with photographs, their thickness was measured with a digital thickness meter, their colors were identified by chromameter, and images of the bubbles and deterioration products were taken under an optical microscope. The deterioration existing on the surface of the glass was visually examined, and a table was created by determining the existing types of deterioration and their degree of deterioration.

The aim of this study is to investigate the chemical contents of the Enez archaeological glass, and the chemical changes that occur during the deterioration process with the hope that the results will contribute to the studies on this subject. Polarized Energy Dispersive-X-Ray Fluorescence (PED-XRF), Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS), and Raman (Confocal) Spectroscopy methods were used to determine the element and mineralogical contents of the glass samples. According to the results of the analysis, when the contents of silicon-calcium-sodium were evaluated, the glass samples were found to be typical soda-lime-silica glass. Natron or trona was used as flux in the production of glass. Strontium (Sr) and zirconium (Zr) contents of the samples suggest that sea sand is used as the source of silica in production. The visible colors of the samples were determined by chromametric analysis and these results were later supported by PED-XRF analysis. The colorants are iron (Fe), copper (Cu), cobalt (Co) and lead (Pb).

After the 1st Millennium AD, large workshops of important regions with prominent glass compositions emerged. We can divide Enez glasses into 4 different groups according to several main glass groups determined according to PED-XRF analysis results on 10 samples; Roman manganese-decolorized glass, Roman mixed antimony and manganese glass, HIMT (High Iron, Manganese and Titanium) glass, and Levantine I.

When the deterioration layers of the samples belonging to the Roman Period are examined visually and with an optical microscope; types of deterioration resulting from the chemical composition of glass, such as iridescence, dulling, milky or enamel-like weathering (black discoloration), pitting, and ploughing have been identified. The high amount of SiO_2 found as a network former in the batch increases the mechanical resistance of the glass. The reason for the SiO_2 content that is lower than expected is the deterioration in the glasses.

Glass can undergo chemical reactions in time, due to contact with water and/or humidity within air. Those reactions are highly dependent on the glass composition, its production temperature in kiln and firing duration, pH and temperature of the medium around glass. The gel layer originally formed on the glass surface is rich in silicon, and poor in sodium and calcium. The high content of SiO_2 in the deterioration layers supports the deterioration in the glasses. It is expected that the amount of flux agent (Na_2O) and stabilizer (CaO) in the gel layer of the surface to decrease caused by glass objects contacting with moisture and/or water. However, the high amount of Na_2O and CaO in the results of SEM-EDS analysis of the samples is thought to be due to the accumulation caused by the marine effect as a result of the ancient city being very close to sea.

Enamel-like weathering (black discoloration) is characterized by manganese content. Along with the high manganese content, iron content is expected to be high. In the black discoloration in the enamel-like weathering, high manganese content is observed, while the same element is always less common in the overall structure of the glass and other types of deterioration. As manganese and iron stand out in black crust type deterioration products through Micro XRF, PED-XRF, and SEM-EDS analysis of glass samples, the presence of manganese and iron contents determined by Raman analysis supports these results.

As a result of the Raman analysis, the content of SiO₂ and Fe in the gel layer and manganese and iron content in the layers seen in black discoloration (enamel-like weathering) as well as pigment content that can support the color of the bluish-green color sample has been revealed.

Keywords: Archaeometry, Chemistry of Archaeological Glass, Deteriorations of Archaeological Glass, Iridescence, Dulling, Milky or Enamel-Like Weathering, Pitting, Ploughing.

ÖNSÖZ

“Enez (Ainos) Kazısı Su Terazisi ve Kral Kızı Bölgelerinde Ele Geçen Camların Bozulmaları Üzerine Arkeometrik Çalışmalar” başlığıyla ele alınan bu tez çalışmasında, Roma Dönemi’ne tarihlendirilen etütlük bir grup cam örnek üzerinde görülen bozulmaların arkeometrik yöntemler ile incelenmesi amaçlanmıştır. Arkeolojik camların bozulması üzerine yapılan bu çalışmanın literatüre katkı sağlamasını hedeflerken aşağıda adları geçen kişilerin desteği ve katkısı olmadan bu çalışma kuşkusuz eksik olurdu.

Tez çalışmamda danışmanlığımı yapan Doç. Dr. H. Işıl Kocabaş ve Doç. Dr. Ali Akın Akyol’a bu çalışmanın her aşamasında verdikleri bilimsel destekleri, önerileri, çabaları ve bana kattıkları için ne kadar teşekkür etsem az olacaktır.

Bu çalışmada kullanılan cam örnekleri çalışmama izin veren ve kazısının imkânlarını sunarak bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayan Enez (Ainos) kazı başkanı Prof. Dr. Sait Başaran’a, İstanbul Üniversitesi, Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Gemi Konservasyon ve Rekonstrüksiyon Laboratuvarı’nda cam örneklerin ön çalışmasını yapmama imkan sağlayan Prof. Dr. Ufuk Kocabaş’a, Ankara Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)’de çalışmama imkan sağlayan Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadioğlu ve Raman (Konfokal) analizlerimi gerçekleştiren Dr. Öğretim Üyesi Kıymet Deniz’e, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB)’nda analiz çalışmalarımın bir kısmını gerçekleştirmemde bana yardımcı olan Gülşen Albuz Geren’e ve PED-XRF sonuçlarının bir kısmının değerlendirilmesinde katkı sağlayan Deniz Genç’e, projemin gerçekleştirilmesinde maddi destek sağlayan İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi’ne ve bu projeyi hazırlamama yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Taner Güler’e, SEM-EDS çalışmalarını gerçekleştiren Türk Kültür Vakfı Kültürel Miras ve Doğal Boya Laboratuvarı sorumlusu Emine Torgan Güzel’e ve tezimin düzenlemelerinde bana yardımcı olan eşim Gökhan Büyüksoy’a ve aileme sonsuz destekleri için teşekkürü bir borç bilirim.

Didem ÇOLAK BÜYÜKSOY

İSTANBUL, 2020

İÇİNDEKİLER

	<i>Sayfa</i>
ÖZ	ii
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR LİSTESİ	xvi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ENEZ (AINOS)

1.1. Konumu	5
1.2. Kazı Çalışmaları	7
1.3. Enez Kazı Alanlarından Çıkan Cam Buluntular	8

İKİNCİ BÖLÜM

CAMIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE BİLEŞENLERİ

2.1. Ağ Yapıcılar	17
2.2. Ergiticiler	19
2.3. Sağlamlaştırıcılar	23
2.4. Ara Elemanlar	24
2.5. Homojenleştiriciler	25
2.6. Renklendiriciler ve Opaklaştırıcılar	26

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

CAMLARDA GÖRÜLEN BOZULMA TÜRLERİ

3.1. Sedef Oluşumu	38
3.2. Matlaşma	41
3.3. Süt Beyazı-Mine Aşınma	44
3.4. Çukur Oluşumu	46
3.5. Yarık Oluşumu	48

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ÖRNEKLER VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

4.1. Belgeleme Yöntemleri	49
4.2. Analiz Yöntemleri	60
4.2.1. X-Işını Floresans (XRF) Spektrometresi	60
4.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	66
4.2.3. Raman Spektroskopisi	69

BEŞİNCİ BÖLÜM

ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Bozulmaların Görsel İncelemeleri	74
5.2. Renk Ölçümü	82
5.3. Örneklerin Mikroskop Altı İncelemeleri	83
5.4. PED-XRF ve Noktasal Mikro XRF Analizi	86
5.5. SEM-EDS Analizi	103
5.6. Raman (Konfokal) Spektroskopisi Analizi	110

SONUÇ.....	117
KAYNAKÇA	120
EKLER	139

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Enez camları ED-XRF analiz sonuçları.....	31
Tablo 3.1: Yarık oluşumu ve çukur oluşumu görülen camların Na ₂ O içeriğindeki değişiklik ..	48
Tablo 4.1: Enez cam örneklerinin açıklamaları.....	50
Tablo 5.1: Enez camlarında görülen bozulmaların görsel tanımlaması.....	82
Tablo 5.2: Enez arkeolojik kazısı cam örneklerinin renk kodları (CIE L*a*b*) ve kalınlıkları ..	83
Tablo 5.3: Enez cam örnekleri PED-XRF analizi sonuçları	88
Tablo 5.4: Enez cam örnekleri PED-XRF analizi sonuçları (devam)	89
Tablo 5.5: Enez camları Noktasal Mikro XRF analiz sonuçları	102
Tablo 5.6: Enez cam örnekleri SEM-EDS analizi sonuçları	103
Tablo 5.7: PED-XRF ve SEM-EDS analizlerine göre camın bileşenlerinin karşılaştırılması	105

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Enez'in konumu.....	6
Şekil 1.2: Enez Avrupa camları (sırasıyla kadeh, şişe, kase ve bardak)	9
Şekil 1.3: Roma Dönemi cam buluntuları.....	10
Şekil 1.4: Osmanlı Dönemi cam buluntuları.....	10
Şekil 1.5: Osmanlı Dönemi cam buluntuları.....	11
Şekil 1.6: Helenistik-Roma Dönemi (I) ve Bizans Dönemi (II) camları	11
Şekil 1.7: Helenistik-Roma (I), Roma (II), Roma-Bizans (III) ve Osmanlı Dönemi (IV) camları.....	12
Şekil 1.8: Su Terazisi kazı alanı	13
Şekil 1.9: Kral Kızı kazı alanı	14
Şekil 2.1: Sıvı-katı hal arasındaki ilişki ve cam dönüşümü	15
Şekil 2.2: Silis camının molekül yapısı.....	16
Şekil 2.3: Soda-kireç-silis camının molekül yapısı.....	17
Şekil 2.4: İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi cam örnekleri mikroskop altı (habbe) görünümleri.....	26
Şekil 2.5: Demir (II) ve (III) iyonlarının sebep olduğu cam renkleri	27
Şekil 3.1: Potas-kireç silis cam yapısı (solda) ve yüzeyde asit saldırısı sonrası jel tabakası oluşumu (sağda)	34
Şekil 3.2: İyi korunmuş cam bilezikler	35
Şekil 3.3: Cam yüzeyinde görülen sedef oluşumu	39
Şekil 3.4: Loetz tarafından üretilen Art Nouveau sedefli (yanardönerli) cam eser ..	41
Şekil 3.5: Camda matlaşma örneği	42
Şekil 3.6: Yapraklanmaya neden olan karbonatların optik mikroskop görüntüsü	43
Şekil 3.7: Cam yüzeyinde birkaç tabakadan oluşan yapraklanma	43
Şekil 3.8: Camda süt beyazı/mine aşınma oluşumu.....	44
Şekil 3.9: İleri derecede süt beyazı- mine aşınma görülen bir camın kesitinden görüntü	45
Şekil 3.10: Süt beyazı – mine aşınma görülen cam örneğinin enine kesit görüntüsü	46
Şekil 3.11: Cam boncuk üzerinde yer alan çukur oluşumlarının SEM görüntüsü	47

Şekil 3.12: Çok küçük (0.1-0.2 mm) çukur oluşumu	47
Şekil 3.13: Beyaz birikimli büyük (<5 mm) çukur oluşumu	47
Şekil 4.1: Enez kazısı cam örnekleri	56
Şekil 4.2: Enez cam örneklerinin belgeleme çalışmaları	57
Şekil 4.3: Enez cam örneklerinin kalınlık ölçümü	57
Şekil 4.4: CIE L*a*b* renk sistemi diyagramı	58
Şekil 4.5: Portatif kromametre ve ColorQA Pro System III programı	59
Şekil 4.6: Örneklerin optik mikroskop incelemeleri	60
Şekil 4.7: X-ışını Floresans çalışma prensibi	63
Şekil 4.8: PED-XRF spektroskopisi çalışma prensibi	64
Şekil 4.9: Cam yüzeyi (a) ile cam yapısındaki (b) K ve Ca oranları	65
Şekil 4.10: Elektron demeti ve örnek arasındaki etkileşim	67
Şekil 4.11: Fiber optik Raman enstrümantasyonu ile nesnelerin yerinde tahribatsız analizi	70
Şekil 4.12: Raman spektroskopisinin çalışma prensibi	71
Şekil 5.1: Enez Su Terazisi ve Kral Kızı kazıları cam örneklerinin bozulma ürünleri ve habbe şekillerinin optik mikroskop görüntüleri	86
Şekil 5.2: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi SiO ₂ içeriklerine göre gruplandırılması	90
Şekil 5.3: Camların kimyasal bileşenlerine göre cam türü tespitinde kullanılan üçlü faz diyagramı	93
Şekil 5.4: Enez cam örneklerinin cam türünü gösteren üçlü faz diyagramı	93
Şekil 5.5: Enez cam örneklerinin ana bileşenlerine göre gruplanması	94
Şekil 5.6: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi Na ₂ O içeriklerine göre gruplandırılması	95
Şekil 5.7: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi CaO içeriklerine göre gruplandırılması	96
Şekil 5.8: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi Stronsiyum (Sr) ve Zirkonyum (Zr) içeriklerine göre gruplandırılması	100
Şekil 5.9: Enez cam örneklerinin SEM analizi görüntüleri	110
Şekil 5.10: EET-G31 örneğinin sedef oluşumu tabakasında Raman analizi ile belirlenen silisyum içeriği	113

Şekil 5.11: EET-G13 (a) ve EET-G24 (b) örneklerinin siyah kabuk oluşumu tabakalarında Raman analizi ile belirlenen mangan mineralleri	114
Şekil 5.12: EET-G13 (a), EET-G24 (b) ve EET-G31 (c) örneklerinin siyah kabuk oluşumu tabakalarında Raman analizi ile belirlenen demir mineralleri	116
Şekil 5.13: EET-G1 örneğinde Raman analizi ile belirlenen pigment ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$).116	

KISALTMALAR LİSTESİ

a.g.e.	: Adı geçen eser
cm	: Santimetre
ED-XRF	: Enerji Dağılımlı X-Ray Floresans
eV	: Elektron volt
HIMT	: High Iron, Manganese and Titanium
keV	: Kilo elektron volt
kV	: Kilo volt
kg	: Kilogram
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
MÖ	: Milattan önce
MS	: Milattan sonra
p-XRF	: Portable X-Ray Fluorescence
PED-XRF	: Polarized Energy Dispersive X-Ray Fluorescence
ppm	: Parts per million
SEM-EDS	: Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometry
yy	: Yüzyıl

GİRİŞ

Cam geçmişten beri yaşantımızda mutfak eşyası, süs eşyası, aydınlatma aracı ve endüstriyel ürünler gibi çeşitli kullanım alanlarında kendisine yer bulmuştur. Kesin olmamakla birlikte camcılığın MÖ 2500 öncesinde Kuzey Mezopotamya’da ortaya çıkmış olduğu görüşü yaygındır. Başlangıçta bitki külü ve silisten yapılan cam, nispeten az miktarlarda ergitilirdi ve genellikle boncuk olarak üretilirdi. Yaklaşık 1000 yıl kadar sonra, Geç Tunç Çağı’nda, daha büyük ve daha fazla miktarda cam üretilmeye başlanmıştır¹. İlk olarak, dekoratif objeler ve cam boncuklar basit aletler kullanılarak elle oluşturulmuş veya döküm yapılmıştır. Daha sonra cam kaplar oluşturmak üzere kalıp tekniği kullanılmıştır. Cam üretiminde teknolojik bir dönüm noktası olarak kabul edilen cam üfleme tekniği yaklaşık MÖ 50 civarında keşfedilmiştir². Tüm camların ana maddesi silis (SiO_2)’tir. Bununla birlikte cama soda (Na_2O) gibi ergiticiler ve kireç (CaO) gibi sağlamlaştırıcılar eklenmiştir. Genel olarak camlar %70 SiO_2 , %20 Na_2O ve %10 CaO içeriğine sahiptir ve soda-kireç-silis camları olarak adlandırılır. Bu maddelerin yanı sıra az miktarlarda renklendirici veya renksizleştirici, homojenleştirici ve opaklaştırıcı gibi maddeler de eklenerek cam bileşimi oluşturulmuştur. Bir diğer bileşim ise soda yerine potasyumun (K_2O) eklendiği potas-kireç-silis camları veya her iki ergiticinin (Na_2O ve K_2O) de eklendiği camlardır³. Camın hassas yapısı nedeniyle Antik çağlardan günümüze ulaşabilmesi ancak özenle korunabilmesi ile mümkün olabilmektedir. Antik Çağ camları, dönemi hakkında bilgi vermesi açısından belge niteliğine sahip önemli buluntulardan biridir. Belge niteliğindeki camların geleceğe aktarılabilmesi için doğru koruma ve onarım uygulamalarından geçmesi gerekmektedir. Koruma ve onarım uygulamalarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için, camların bozulmasına neden olan süreç ve camlarda görülen bozulma türleri doğru tespit edilmelidir. Bunun için iyi bir belgeleme çalışması, inceleme, araştırma ve analiz yapılması gerekmektedir⁴.

¹ Henderson, **Ancient Glass: An Interdisciplinary Exploration**, Cambridge University Press, New York, 2013, s. 8.

² Römiş, “Glass and Ceramics”, **Conservation Science: Heritage Materials** (Ed. E. May, M. Jones), Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2006, s. 161.

³ Koob, **Conservation and Care of Glass Objects**, Archetype Yayınları, New York, 2006, s. 11-12.

⁴ Caner-Saltık, “Arkeometrik Çalışmalar Işığında Belirlenen Cam Bozulmaları”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı. Türkiye Arkeolojisi’nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar**, Ankara, ODTÜ Yayınları, 2012, s. 57.

Arkeolojik eserlerin yaşam evresi düşünülüğünde, birinci evresi yani camın yapıldığı dönemden itibaren maruz kaldığı bazı nedenlerden dolayı eserler bozulmaya açık hale gelir. Camın bileşimindeki maddeler ve bu maddelerin oranları, ergime derecesi, fırın sıcaklığı ve fırın içerisinde kaldığı süreç bozulmada etkili olabilmektedir. İkinci evresi olan toprak altında kaldığı süreçte, içinde bulunduğu toprağın yapısı, ortamdaki su ve bağıl nem, ortamda tuz ya da asitlerin varlığı, basınç, pH, sıcaklık ve mikroorganizmaların varlığı eserlerde bozulmaya neden olabilmektedir. Üçüncü evresi olan toprak altından çıkarıldıktan sonra başlayan süreçte ise gerekli önleyici koruma müdahalelerinin yapılmaması ve yanlış restorasyon/konservasyon uygulamaları bozulmaya neden olan veya bozulmayı etkileyen faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunların biri veya birkaçı bozulma hızını ve türünü değiştirebilmektedir.

Camda kimyasal içeriği nedeni ile meydana gelen yüzey bozulmaları; sedef oluşumu, matlaşma, süt beyazı/mine aşınma, çukur oluşumu ve yarık oluşumdur. Çalışma kapsamında cam yüzeyinde kimyasal bozulma sonucu görülen bozulma tabakaları üzerinde durulmaktadır. Bu bozulmaların incelenmesi ve bozulma mekanizmalarının belirlenmesi, cam eserlerin korunma yöntemlerinin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Cam objelerin arkeometrik incelemeler ile bileşenlerine bakılarak, cam bozulmaları tespit edilebilmektedir.

Arkeometrik yöntemler ile camın yapısal özelliklerinin kimyasal analizleri yapılarak camların üretim yerleri hakkında bilgiler edinilebilmektedir. Arkeolojik cam eserler ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında daha çok ham madde, çeşitlilik ve üretimleri üzerine olduğu görülmektedir. Julian Henderson, Ian Freestone, Sandra Davison, Robert H. Brill gibi uzmanların çalışmalarının yanı sıra 1958 yılında ilk önemli etkinliği gerçekleştirilen ve 2018 yılında ise ülkemizde düzenlenen “Uluslararası Cam Tarihi Birliği/Vakfı (L’Association Internationale pour l’Histoire du Verre/The International Association for the History of Glass, AIHV) kongreleri, ülkemizde 1985 yılından beri sürdürülen “Şişecam International Glass Conference”, 2010 yılında gerçekleştirilen “Kaunos/Kbid Toplantıları 2: Anadolu Antik Cam Araştırmaları Sempozyumu” ve 2011 yılında gerçekleştirilen “II. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı Türkiye Arkeolojisinde Cam Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar” gibi çalıştay ve sempozyumlar ile camın kökeni, ham maddesi, üretimi, dağılımı, ticareti

ve yeniden üretimi hakkındaki bilgiler artmaktadır. Arkeolojik camların bozulmaları üzerine ülkemizde oldukça sınırlı sayıda çalışma olmasından dolayı, bu araştırmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Cam objelerin bozulmaları üzerine yapılan çalışmaların azlığının yanı sıra, camın ham maddesi ve çeşitliliği üzerine yapılan çalışmalar da oldukça sınırlıdır. Aynı döneme ait Levant ve Mısır camları çok iyi araştırılmışken, Anadolu camları ile bağlantıları kurulamamıştır. Çünkü Türkiye’deki arkeolojik kazılardaki işlikler, arkeolojik buluntular ve arkeometrik çalışmalar henüz bu konuya tam olarak hizmet edememektedir. Bu çalışma bu konu ile ilgili bazı yorum ve değerlendirmeleri içermektedir. Daha önce Enez kazısı cam buluntuları ile ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur⁵; ancak bunlar camların kimyasal içerikleri ile ilgili yapılan çalışmalardır. Cam bozulmalarının kimyasal süreçleri kapsamlı bir şekilde incelenmiş olsa da kısmen cam hamurunun bileşiminden ve imalatından camın gömülü olduğu toprağa kadar dikkate alınması gereken çok sayıda faktör nedeniyle henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Türkiye’de cam eserlerde görülen bozulmalar ile ilgili yayınlar bulunmaktadır; ancak bozulmaların kimyasal süreci ile çok fazla ilişkilendirilmemiştir. Bu çalışma, arkeolojik kazılarda toprak altından çıkan cam objelerin bozulmuş yüzeyleri ile örneklerde meydana gelen bileşimsel değişiklikler arasındaki korelasyonu ele almaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın, şimdiye kadar öne sürülen tezlerin kapsamını genişletmesi beklenmektedir.

Enez Kazısı’ndan ele geçen Roma Dönemi’ne ait cam örneklerinden etütlük olarak ayrılmış 31 cam örneği üzerinde, Edirne Müzesi ve Kazı Başkanı Prof. Dr. Sait Başaran’dan alınan izinler (Ek 1, Ek 2) doğrultusunda İstanbul Üniversitesi Gemi Konservasyon ve Rekonstrüksiyon Laboratuvarı’nda çalışılmaya başlanmıştır. Örneklerin seçimi Su Terazisi ve Kral Kızı kazı alanları ile sınırlı kalmıştır.

⁵ Akyüz vd., “EDXRF and FTIR Analysis of Some Glass Fragments Belong to Ottoman Period, Excavated in Ancient Ainos (Enez) Turkey”, **Asian Journal of Chemistry**, 25 (18), 2013, s. 10397-10400; Çelik vd., “Investigations of Archaeological Glass Bracelets and Perfume Bottles Excavated in Ancient Ainos (Enez) By Multiple Analytical Techniques” **Journal of Applied Spectroscopy**, 85 (1), 2018, s. 178- 183; Mukhamedshina vd., “Instrumental Neutron Activation Analysis of Ancient Glass Excavated in Enez (Ancient Ainos Turkey)”, **The Fifth Eurasian Conference Nuclear Science and Its Application**, 14-17 October 2008, Ankara, s. 171-172; Akyüz vd., “Characterization of Ancient Glass Excavated in Enez (Ancient Ainos) Turkey by Combined Instrumental Neutron Activation Analysis and Fourier Transform Infrared Spectrometry Techniques”, **Spectrochimica Acta Part B**, 71-72, 2012, s. 75-79.

Araştırmada kullanılacak örnekler, üzerinde görülen bozulmaların yoğunluğu ve çeşitliliği göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Örnekler ile ilgili bilgilerin (laboratuvar ortamında verilen örnek kodları, bir objenin hangi kısmına ait olduğuna dair açıklamalar, buluntu yeri ve buluntuların ele geçtiği yıla dair bilgiler) yer aldığı bir tablo (Tablo 4.1) oluşturularak çalışmaya başlanmıştır. Ardından örneklerin yüzey bozulma türleri ilk aşamada görsel olarak değerlendirilmiş (Tablo 5.1), fotoğraflarının çekilmesi ve kalınlıklarının ölçülmesi ile belgeleme çalışmaları tamamlanmıştır. Renk ölçümü ile örneklerin renklerinin belirlenmesi; optik mikroskop ile örneklerin habbe ve bozulma ürünlerinin görüntülerinin alınması amaçlanmıştır. Antik cam buluntularının mikroskop altı incelemelerinde bozulma ürünlerinin görüntülenmesi ile ilgili çalışma oldukça azdır. Bu çalışma kapsamında bu konu üzerinde de durulmaktadır. Cam örneklerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi ve içeriklerinin örneklerde görülen bozulmalar ile ilişkilendirilmesi açısından; Polarize Enerji Dağılımlı X-ışını Floresansı (PED-XRF) Spektrometresi, Taramalı Elektron Mikroskobu- Enerji Dağılımlı Spektrometresi (SEM-EDS) ve Raman (Konfokal) Spektroskopi analizleri yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ENEZ (AINOS)

1.1. Konumu

Edirne ilinde yer alan Ainos antik kentinin batı ve kuzeybatısında Yunanistan, kuzeyinde İpsala, doğusunda Keşan, güney ve güneybatısında Ege Denizi yer almaktadır (Şekil 1.1). Enez'den, Eski Çağ kaynaklarında ilk defa Homeros'un İlyada Destanı'nda, Ainos adıyla bir Trak şehri olarak bahsedilmektedir⁶. Ainos, Ege Denizi'nin kuzey kıyısında, Yunanistan ile sınırı oluşturan Trakya'nın en önemli akarsularından biri olan Meriç Nehri'nin (Hebros) yüzyıllar boyunca alüvyon biriktirmesi ile yatağın hızla dolması sonucu büyük bir deltanın oluştuğu alanda bulunmaktadır. Denizden 25 metre yükseklikte, küçük bir yarımada üzerinde kurulan kentin, günümüzdeki ve Eski Çağ'daki topografyasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Yapılan jeomorfolojik araştırmalardan, Enez'in kurulduğu tarihlerde (MÖ 7. yy.) Meriç'in daha kuzeydeki göl ya da koya döküldüğünü ve bugünkü kalenin batı eteğinin o dönemlerde kıyı olduğunu gösteren araştırma sonuçları mevcuttur. Osmanlı coğrafyacısı ve kaptan Piri Reis Kitab'ı Bahriye adlı eserinde, Enez'in önlerinin sığ olması nedeniyle sadece küçük gemilerin demirleyebildiklerini, büyük gemilerin ise iskandille gelip derin yerlerde demirleyebildiklerinden söz etmektedir. Bu bilgiler ışığında, Eski Çağ'da Meriç'in denize döküldüğü yerin büyük bir körfez oluşturduğu ve Enez'in iki limanlı şehir olduğu anlaşılmaktadır. Geçen zaman içinde Meriç Nehri'nin, alüvyon biriktirerek limanı ve döküldüğü alanı doldurması nedeniyle liman önemini kaybetmiştir. Eskiden deniz kenarında kurulmuş olan Enez, günümüzde denizden 5 km içeride kalmıştır. Enez'in çevresindeki alçak yerler deniz suyunun taşmasıyla kaplanmış ve şehir ada haline gelmiştir⁷.

⁶ Erzen, "Enez Kazıları", **XI. Türk Tarih Kongresi'nden Ayırbaşım**, Ankara, Türk Tarih Kurumu, 1994, s. 301; Başaran, "Enez (Ainos) Kazıları", **Türkiye Arkeolojisi ve İstanbul Üniversitesi (1932-1999)**, Ed. Oktay Belli, İstanbul Üniversitesi, 2000, s. 251.

⁷ Başaran, "Enez, Ainos, Enoz", **Enez: Doğal, Kültürel ve Turistik Güzellikleri**, Ed. A. Yeşil, A. Uzun, G.A. Aksoy, İstanbul, 2013, s. 13-16; Erzen, **a.g.e.**, 1994: 301.



Şekil 1.1: Enez'in konumu (Başaran, 1996: 126).

Enez, Neolitik Çağ'dan itibaren gelişen toplumların ortasında yer alması, Balkanları Ege dünyası ile Anadolu'ya bağlayan kara ve deniz yollarının kesiştikleri yerde bulunması, Ergene Havzası gibi verimli ova ve geniş hinterlanda sahip olması ve bölgede Meriç Nehri'nin bulunmasından dolayı tarih boyunca önemli bir yerleşim bölgesi olmuştur⁸. Ainos ören yerinde ve Hoca Çeşme höyüğünde yapılan kazı ve araştırmalar, bölgede ilk yerleşimin Neolitik Çağ'da (yaklaşık MÖ 6.500) başladığını Kalkolitik, Tunç, Demir, Klasik Çağlar, Roma, Bizans ve Osmanlı dönemlerinde de devam ettiğini göstermiştir. Ainos'un kuruluşu ile ilgili çok sayıda bilgi bulunmaktadır. Bugünkü kale içerisinde yapılan çalışmalarda, Kalkolitik Çağ'a ait çanak çömleklerin bulunması, buradaki yerleşimin Kalkolitik Çağ'a kadar gitmiş olduğunu gösterse de Eski Çağ kaynaklarındaki bilgilere göre, Ainos ilk kez MÖ 7. yüzyılda Aiollialılar tarafından, daha sonra Mitilene (Midilli) ve Kymeliler tarafından bir koloni olarak kurulmuş ve bu tarihten itibaren Eski Yunan kültüründe bir şehir devleti (Polis) olarak gelişmiştir⁹.

⁸ Başaran, "Ortaçağ'da Enez (Ainos)", **Sanat Tarihi Dergisi IX**, İstanbul, 1998b, s. 1.

⁹ Başaran, "Ainos (Enez): Balkanları Anadolu ve Ege'ye Bağlayan Kent", **Toplumsal Tarih 125**, İstanbul, 2004, s. 84; Başaran, **a.g.e.**, 2013a, s. 11, 13; Başaran, **a.g.e.**, 2000b, s. 251.

1.2. Kazı Çalışmaları

Trakya bölgesi, tarihöncesi dönemlerden itibaren Anadolu ve Güneydoğu Avrupa arasındaki kültürel ilişkilerin araştırılması açısından önemli bir bölge olmuştur. Ancak bu bölgedeki araştırmaların eksikliği nedeniyle, Türkiye Trakyası'nda kapsamlı bir çalışma başlatmak üzere Prof. Dr. Afif Erzen, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi'ne bağlı Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Merkezi'ni kurmuştur. 1971 yılında Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Enstitüsü adına, Edebiyat Fakültesi mali desteği ve Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün kazı izni ile Güneydoğu Avrupa ve Anadolu arasındaki kültürel ilişkileri araştırmak üzere Ainos (Enez)'da arkeolojik kazılara başlanmıştır. Afif Erzen başkanlığındaki kazı 1972 yılında da sürdükten sonra 1978 yılına kadar kazıya ara verilmiş ve 1978 yılında yeniden başlayan arkeolojik kazılar, 1993 yılına kadar Afif Erzen başkanlığında sürdürülmüştür. 1994 yılında ise Prof. Dr. Sait Başaran başkanlığında başlayan kazılar günümüzde halen devam etmektedir¹⁰. Antik Çağ'da asıl yerleşim, kale (akropol) ile bugünkü ilçe merkezinin bulunduğu alanda kurulduğu için 1971 yılında başlayan kazılar kale içinde ve ilçe merkezinin uygun bölgelerinde açılan sondajlar ile başlamıştır¹¹.

Ainos antik kenti üç tepe üzerinde kurulmuştur. Enez'de kazılar, en yüksek tepe üzerine kurulan antik dönemde akropol, günümüzde ise büyük bir kısmı hala mevcut olan Orta Çağ'dan kalma bir kale olan alanda başlamış ve günümüzdeki şehrin çeşitli yerlerinde de sondajlar açılarak kazı alanları genişletilerek araştırmalar yapılmaya başlanmıştır¹². Daha sonraki kazı dönemlerinde ise, daha geniş bir alanda çalışmalar yapılmıştır.

¹⁰ Erzen, "Enez (Ainos) 1972 Kazıları", *Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Dergisi* 2-3, İstanbul, 1974, s. 217; Başaran, "Ainos Kazıları (1971-1974)", *Anadolu Araştırmaları* XIV, İstanbul, 1996, s. 105.

¹¹ Erzen, *a.g.e.*, 1994, s. 302; Başaran, *a.g.e.*, 1996, s. 108.

¹² Erzen, *a.g.e.*, 1994, s. 302.

1.3. Enez Kazı Alanlarından Çıkan Cam Buluntular

Bu bölümde, kazı alanları ile ilgili kısa bir bilgi verildikten sonra, tez kapsamında incelenen cam örneklerin ortaya çıkarıldığı Su Terazisi ve Kral Kızı kazı alanları anlatılacaktır.

Enez ve yakın çevresinin, doğal, tarihi ve Anadolu ve Avrupa arasında doğal köprü oluşturan stratejik konumu ile tarih boyunca önemli bir yerleşim bölgesi olması nedeniyle, çok sayıda kazı ve araştırma bölgesi de olmuştur.

Enez’de yapılan kazı çalışmaları kale (akropol tepesi) ve kale dışı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yapılan kazı çalışmalarında MÖ 5. yüzyıla ait duvar kalıntılarının saptanmış olması, akropolün kuruluş zamanında da surlarla çevrili olduğunu ve bugünkü kale duvarlarının bu kalıntılar üzerine inşa edildiğini göstermektedir. Orta Çağ kalesi, farklı biçim ve plandan oluşan 12 kuleye sahiptir. Doğuda ve batıda olmak üzere iki kapısı bulunmaktadır. Akropol’de anakaya üzerinde bulunan çanak çömlek buluntularından Kalkolitik Çağ’dan itibaren yerleşim olduğu bilinmektedir. Ayrıca Arkaik, Klasik ve Helenistik ve Roma Çağı’na ait kalıntılar da ele geçmiştir¹³. Kalede yapılan kazılarda Bizans Dönemi’ne tarihlenen yapı katında, kalenin kuzey kesiminde ortaya çıkan, ön avlulu bir evin zemin katında bulunan tuvalet ya da çöp çukuru olduğu düşünülen alandan çok sayıda renkli cam parçalarının çıktığı ifade edilmektedir¹⁴. Ainos antik kentinin kazıları sırasında Helenistik ile birlikte Roma, Bizans ve Osmanlı Dönemlerine tarihlenen cam buluntular da ele geçmiştir. Bunlara ek olarak çok özel bir grup olarak ifade edilen Avrupa cam kapları bulunmaktadır. Zengin Evi ya da Zengin Villası olarak bahsedilen Roma Dönemi’ne ait yapıda, Ainosluların maddi refah düzeyini yansıttıkları buluntular arasında, değişik tekniklerle yapılmış cam eserler de zengin bir koleksiyon oluşturmaktadır¹⁵. Roma villası olarak ifade edilen bu yapıda ikamet ettikleri bilinen Cenovalılara ait 14. yüzyıla tarihlenen renksiz, zeytin yeşili ve kehribar renklerde kadeh, şişe, kase, bardak ve kırık parçalar ele geçmiştir (Şekil 1.2)¹⁶.

¹³ Başaran, **a.g.e.**, 2000b, s. 253-255; S. Başaran, **a.g.e.**, 2013a, s. 27-29, 32.

¹⁴ Başaran, **a.g.e.**, 1996, s. 117.

¹⁵ Başaran, “Ortaçağ’da Enez (Ainos)”, **Sanat Tarihi Dergisi IX**, 1998, s. 5.

¹⁶ Canav Özgümüş ve Kaynak, "Glass from Enez (Ancient Ainos)", **20th Congress of the International Association for the History of Glass**, 20, Fribourg, Switzerland, 2015, s. 399.



Şekil 1.2: Enez Avrupa camları (sırasıyla kadeh, şişe, kase ve bardak)
(Özgümüş ve Kaynak, 2015: 400-401)

Akropolis-kale ve Hoca Çeşme Höyüğü kazısı dışında, kalede yer alan Fatih Cami (Ayasofya Kilisesi), Hagios Gregorios Neokeiserias Şapeli, Theotokos Şapeli, Orta Çağ Evi ile Zengin Evi (Villa), Has Yunus Bey Türbesi, Pan Mağarası, Kral Kızı



Şekil 1.5: Osmanlı Dönemi cam buluntuları
(Akyüz vd., 2013: 10397)



Şekil 1.6: Helenistik-Roma Dönemi (I) ve Bizans Dönemi (II) camları
(Akyüz vd., 2012: 76)



Şekil 1.7: Helenistik-Roma (I), Roma (II), Roma-Bizans (III) ve Osmanlı Dönemi (IV) camları
(Çelik vd., 2018: 179)

- *Su Terazisi Nekropolü*: Enez'in girişinde yer alan (Şekil 1.8) ve Ainos'un en eski nekropolü olan Su Terazisi Nekropolü'ndeki mezarlar üst üste gelen çoğunlukla üç, nadiren de dört tabakadan oluşmaktadır. Nekropol alanında genellikle, lahit, kiremit, taş sandık, urne ve basit toprak tipte mezarlar bulunmaktadır. Yüzeye yakın tabakada az sayıda Geç Roma Dönemi'ne ait mezarlar bulunmaktadır. Bizans ve Roma dönemlerine ait mezarların sayısı diğerlerine göre oldukça az iken, Helenistik, Klasik az sayıda da Arkaik Dönem mezarları mevcuttur. Arkaik Dönem buluntuları arasında ön plana çıkan mezar hediyeleri arasında Suriye malı cam eşyalar da bulunmaktadır¹⁸. Su Terazisi nekropol alanından, cam şişe, cam boncuk, cam yüzük ve yüzük taşları buluntularına bakıldığında kayda değer sayıda bir cam buluntu topluluğundan söz etmek mümkündür¹⁹. Ancak bu buluntular yayınlanmadığı için görselleri paylaşamamaktadır.

¹⁸ Başaran vd., "Enez (Ainos) 2015 Çalışmaları", **38. Kazı Sonuçları Toplantısı**, 3. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, 2017, s. 415; Başaran, **a.g.e.**, 2013a, s. 70-79.

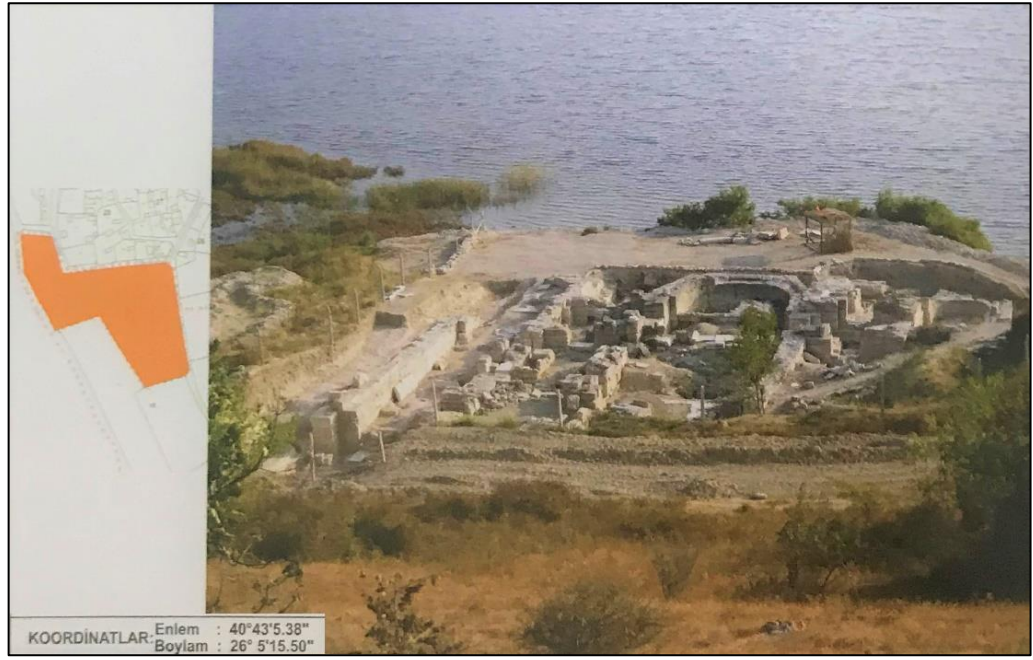
¹⁹ Başaran ve Kurap, "Enez (Ainos) 2011 Yılı Arkeoloji Kazısı", **34. Kazı Sonuçları Toplantısı**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, 2013, s. 376-378; Başaran ve Kurap, "Enez (Ainos) 2014



Şekil 1.8: Su terazisi kazı alanı
(Başaran, 2013b: 260)

- *Kral Kızı Bazilikası*: Enez'in güneydoğusunda, Taşaltı Gölü'nün batı yamacında, bugün Kral Kızı adı ile bilinen mevkide yer alan üç apsis ve beş nefli bir bazilikadır (Şekil 1.9). Yapıda yapılan çalışmalardan, bazilikanın yedi yapı evresine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bazilikanın apsisi altında, Roma Dönemi'ne ait olduğu düşünülen; ancak planı tam olarak anlaşılamayan bir yapı kalıntısı daha çıkarılmıştır. Bazilikanın çevresinde Roma Dönemi'ne ait mezarlar, içerisinde ise Roma Dönemi'ne ait pişmiş toprak kandil ve cam kadeh parçaları, Bizans Dönemi'ne tarihlenen mezarlar ve içlerinde cam eşyaların da olduğu mezar hediyeleri ile mimari öğeler de bulunmaktadır. Yapı içerisinde 12. yüzyıla, Komnenoslar Dönemi'ne ait sikkelerin bulunmuş olması, yapının bu tarihte yenilendiğine işaret etmektedir. 17. yüzyıla tarihlenen Venedik sikkeleri ise yapının o dönemde hala kullanıldığını göstermektedir. Yamaçtan aşağı bazilikaya doğru akan toprak içerisinde Arkaik Dönem'e tarihlenen mezar stelleri ve kurşun kenetlerinin bulunmuş olması Kral Kızı tepesinin nekropol olarak kullanıldığını ve bazilikanın açma dolgusu içerisinde Helenistik Dönem'e ait

seramik parçalarının çıkmış olması bu alanın erken dönemlerde kullanıldığına işaret etmektedir. Üst dolgu toprakta ele geçen Osmanlı seramik parçaları, kilisenin son zamanlarda başka bir işlev için kullanıldığını göstermektedir. Bazilikanın zengin bir süslemeye sahip olduğunu gösteren duvarlarda bulunan fresko, tabanda ele geçen renkli cam parçalar ve cam tessera gibi kalıntılar mevcuttur. Bazı neflerde, döşeme altında çok sayıda mezarın ortaya çıkması, bazilikanın yıkılmasından sonra buranın mezar alanı olarak kullanıldığına işaret etmektedir²⁰.



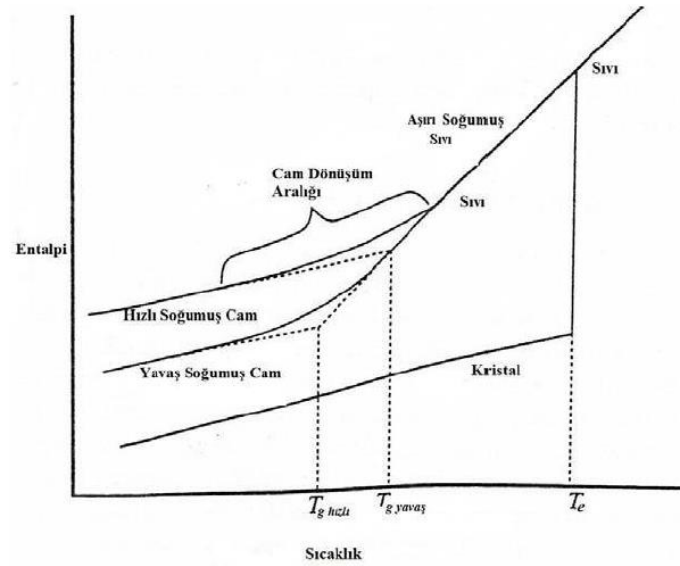
Şekil 1.9: Kral Kızı kazı alanı
(Başaran, 2013b: 258)

²⁰ Başaran vd., “Enez (Ainos) 2008 Yılı Kazısı, Onarım-Koruma Çalışmaları”, **31. Kazı Sonuçları Toplantısı**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, 2010, s. 136; Başaran ve Kurap, “Enez (Ainos) 2012 Yılı Kazı Çalışmaları İle İlgili Rapor”, **35. Kazı Sonuçları Toplantısı**, 3. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, 2014, s. 252, Başaran vd., “Ainos 2016 Yılı Çalışmaları”, **39. Kazı Sonuçları Toplantısı**, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, 3. Cilt, 2018, s. 43; Başaran, **a.g.e.**, 2013a, s. 59-60; Başaran, **a.g.e.**, 2000a, s. 377-381.

İKİNCİ BÖLÜM

CAMIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE BİLEŞENLERİ

Cam kristal yapıda olmayan, amorf, kırılğan ve oldukça sert bir katıdır. Genellikle saydam olmakla birlikte yarı saydam ve opak da olabilmektedir. Cam periyodik bir atomik düzenlenmeye sahip değildir ve belirli bir sıcaklık aralığında cama dönüşüm özelliği göstermektedir. Daha basit bir ifadeyle, cam aşırı soğutulmuş sıvı olarak da düşünülebilir. Cam soğurken, belirli bir sıcaklık, geçiş sıcaklığı (T_g), camın oluşumu için kritiktir (Şekil 2.1). Bu sıcaklıkta, camın özellikleri sıvıdan katıya geçer; ancak 'katılaşma' oluşmamaktadır. Cam soğuduğunda, viskozitesi o kadar artar ki, düz bir yüzey üzerinde, 1000-1100°C'de ergimiş cam hamuru üfleme tekniği ile şekillendirilebilir²¹.

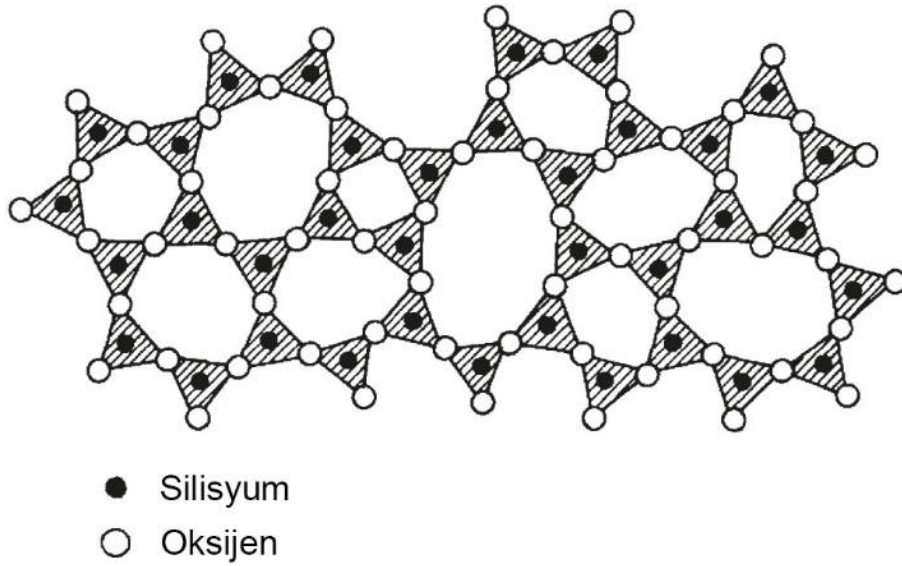


Şekil 2.1: Sıvı-katı hal arasındaki ilişki ve cam dönüşümü.
(Demirci, 2012: 16)

Genel formülü R_nO_m olan camın en önemli bileşeni, cam yapıcıdır (SiO_2) ve güçlü bir silis ve oksijen ağından oluşur. Camın, katyonun (R) iyon çapının oksijenin

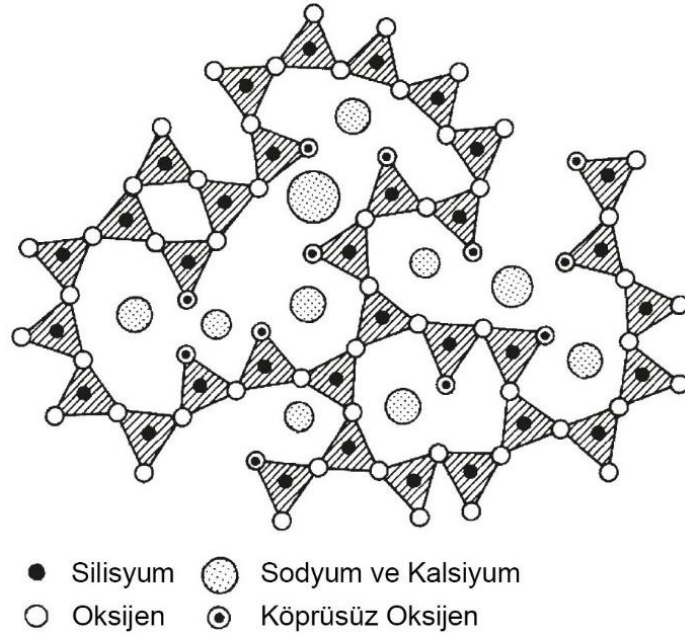
²¹ Henderson, **a.g.e.**, s. 5; Demirci, “Şimdiye Kadar Yapılan Arkeometrik Çalışmalarda Cam Ham Maddeleri, Üretimi ve Çeşitliliği Üzerine Elde Edilen Bilgiler”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı. Türkiye Arkeolojisinde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar**, ODTÜ Yayınları, Ankara, 2012 s. 15.

iyon çapına oranı 0,2-0,4 arasında olduğunda meydana geldiği anlaşılmıştır. Cam rgs, bu değerler arasındaki yarıçap oranları, katyonun dört oksijen ile sarılıp düzgün dört yüzlü veya üç oksijenle sarılıp düzlem üçgen bir yapı oluşturması ile tüm veya bazı köşelerden birbirine bağlanarak oluşmaktadır. Saf silisin düzenli örgüsünün aksine, camın uzun erimli bir düzenli yapısı yoktur (şekil 2.2). Camın ergime derecesini düşürmek ve dayanıklılığını artırmak için eklenen maddeler ile silis-oksijen ağı bozulur; düzgün dört yüzlü veya düzlem üçgen birimleri arasındaki oksijen bağlarında kopmalar olur (şekil 2.3). Bu oksijen atomları tek bir merkezdeki silise kuvvetle bağlı hale gelirken, ergitici ve sağlamlaştırıcıların atomlarına daha zayıf bir şekilde bağlanarak ergime noktası düşmüş olur²².



şekil 2.2: Silis camının molekül yapısı
(Pollard ve Heron, 2008: 151)

²² Kocabağ, **Cam: Kimyası, zellikleri, Uygulaması**, Birsen Yayınları, İstanbul, 2002, s. 105; Demirci, **a.g.e.**, s. 15, 17, 19; Shelby, **Introduction to Glass Science and Technology**, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2005, s. 3; Römich, **a.g.e.**, s.162.



Şekil 2.3: Soda-kireç-silis camının molekül yapısı
(Pollard ve Heron, 2008: 151)

Camı oluşturan ham maddeler ağ yapıcı, ergitici ve sağlamlaştırıcıdır ve bunlara ek olarak renklendirici ve homojenleştiriciler de eklenir. Silis tek başına mükemmel bir ağ yapısındadır; ancak yüksek ergime derecesine sahip olduğundan bazı katkı maddelerinin eklenmesi gerekir. Bu katkı maddelerinin neler olduğu ve ne amaçla cam harmanına eklendiği aşağıda açıklanmaktadır.

2.1. Ağ Yapıcılar

Cam yapımında kullanılan mineral ham maddeler genellikle oksit formundadır. Camı oluşturan ham maddelerden en önemlisi silisyum dioksittir (SiO_2) ve antik soda-kireç camlarında yaklaşık %65 ila %70 oranlarında bulunmaktadır. Silisin kristal formları esas olarak SiO_4 tetrahedradan oluşur. Bunlarda, bir silis atomu dört oksijen atomu ile çevrilidir. Her oksijen atomu, üç boyutlu bir çerçeve oluşturarak başka bir silis atomu ile paylaşılır. Bu üç kristalin formun her biri farklı yoğunluklara sahiptir. Silisin ergime derecesi 1710°C ile 1730°C arasındadır; hızlı bir şekilde soğutulursa, camsı silis üretir, ancak antik cam yapımı sırasında ergime sıcaklığına ulaşamadığı için ergime sıcaklığını düşürmek için cama ergiticilerin eklenmesi gerekmiştir. Silis kaynağı olarak

deniz kumu, nehir kumu ve kuvars çakılları ile kuvars kayalarının öğütülmesi ile elde edilen tozlar kullanılmaktaydı. Ağ yapıcı için bir başka silis kaynağı, 14. ila 17. yüzyıl Venedik camlarının üretimi için kullanılmış olduğu düşünülen çörttür. Kum çok saf olabilmesine rağmen, kasıtlı olmadan cama kalsiyum oksit sokan kalsit (CaCO_3) gibi safsızlıklar içerebilmektedir. Diğer safsızlıklar magnezyum oksit (MgO), alüminyum (Al_2O_3) ve demir oksittir (Fe_2O_3). Camın stabilizasyonu için kalsiyum ve magnezyum oksitler uygunken, demir oksit camda istenmeyen renk tonlarına neden olabilmektedir²³.

Öğütülmüş kuvars kullanımı, karasal bölgelerden gelen kumlardan daha saf bir ağ yapıcı kaynağı olarak 14. yüzyılda Venedikli camcılar tarafından da benimsenmiştir. Venedikliler ilk ağ yapıcı olarak, *sabion* adı verilen çok saf olmayan silis kumu kullanmışlardır. Venedik karasal bölgelerinden (1313 tarihli bir belgede “sabbione rossetto da far vero” olarak adlandırılır) ya da Sicilya'dan (Sablioni de Sicilia) geldiği söylenmektedir. Daha sonra ise Doğu'dan (Sabbione de Santo Abracan de Jerusati Jerusalem) da kum ithal edilmiştir. Bununla birlikte, 14. yüzyılda, Ticino Nehri'nden kuvars çakıl taşları daha şeffaf, daha kaliteli cam elde etmek için en yaygın kullanılan malzeme haline gelmiştir. Çakılların kolayca öğütülmeleri için suya atılması ve bir fırında yakılması gerekmektedir; ancak bu işlem oldukça zor ve pahalıdır. Bu çakıl taşları ilk kullanılan malzemedir ve aynı zamanda en iyisi olduğunu, mevcut olan doğal kumdan çok daha saf olması ile kanıtlamıştır²⁴.

SiO_2 üretimdeki rolüne göre, cam yapıcı, ağ yapıcı, ana yapıcı ve örgü oluşturu (glass former, network former) gibi farklı isimler ile ifade edilmektedir. Ancak literatürdeki bu farklı kullanımlar karışıklığa neden olmaktadır. Tez kapsamında ise SiO_2 için “ağ yapıcı” terimi kullanılmaktadır. Geleneksel ağ yapıcı olan SiO_2 , tek başına mükemmel bir cam yapısında olmasına karşın, ergime derecesi $>1700^\circ\text{C}$ olduğundan, ergime derecesini düşürmek için cam harmanına bazı ergiticiler eklenmiştir²⁵.

²³ Henderson, **a.g.e.**, s. 56-57, 61.

²⁴ Janssens, **Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass**, Chichester: Wiley, 2013, s. 29.

²⁵ Demirci, **a.g.e.**, s. 14, 19.

2.2. Ergiticiler

>1700°C olan silisyumun ergime derecesini düşürmek için cam harmanına alkali oksitlerin eklenmesi (Na_2O ve K_2O) ile ergime derecesi 725°C'ye kadar düşürülebilmektedir. Ancak bu sıcaklıkta şeffaf cam elde edilemeyeceğinden, daha yüksek ısıya ihtiyaç duyulmaktaydı. Külçe yapımı hariç sıcaklık 1000°C'nin üzerine (1100-1400°C) çıkarılabilmektedir²⁶. Yaklaşık 1400°C'de tüm harman viskoz bir sıvıya dönüşür. Daha sonra sıcaklık birkaç saat boyunca sabit tutulur; harmanının viskozitesini arttırmak için işlemin sonuna doğru sıcaklık düşürülür (1100-1300°C'ye kadar), böylece cam üretilmeye hazır hale gelir. Cam harmanına, cam kırıntısı (hurda cam) eklenmesi, ham maddelerin daha verimli bir şekilde kaynaşmasını sağlamak ve gereken maksimum ergime derecesini düşürebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, bitki külü, odun külü, deniz yosunu, natron (hidratlı sodyum karbonat, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), trona (sodyum seskikarbonat minerali, Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $2\text{H}_2\text{O}$) vb. ergitici olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bitki külünün, ergitici olarak kullanılan ilk madde olduğu yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir²⁷. Ancak silisin yüksek ergime derecesini düşürmek için cam harmanına eklenen bu alkali oksitler, ortam sıcaklığı, pH ve nem değişiminden daha hızlı etkilendiği için camın bozulma eğilimini artırmaktadır. CaO içeriği %10 civarında olan camlar bozulmaya karşı daha dirençlidir²⁸. Literatüre bakıldığında, SiO_2 'nin ergime derecesini düşürmek için eklenen ham madde için yine farklı terimler kullanıldığı görülmektedir. Bunlar; ergitici, eritici ve tadil edicidir (fluxing agent, flux) ve bu tez kapsamında ergitici terimi kullanılmaktadır.

Yaklaşık MÖ 800'e kadar en eski camı yapmak için kullanılmış gibi görünen alkali kaynağı, halofitik bitkilerin külleri idi. Ayrıca bitki külü Roma ve Sasani camı yapmak için de zaman zaman kullanılmıştır ve yine Orta Doğu'da MS 800'den 17. yüzyıla kadar cam üretiminde kullanılan baskın bir alkali kaynağı olmuştur. Alkali kaynağı olan bitkiler yarı çöl ortamlarında, genellikle çöllerin kenarlarında, tuzlu deniz

²⁶ Baykan, **Toprak Altı Cam Buluntuların Koruma ve Onarımı**, İstanbul, Homer Kitabevi, 2014, s. 18-20.

²⁷ Moorey, **Ancient Mesopotamian Materials and Industries: The Archaeological Evidence**, Oxford University Press, New York, 1994, s. 203; Henderson, **a.g.e.**, s. 68.

²⁸ Demirci, **a.g.e.**, s. 19; Baykan, **a.g.e.**, s. 52.

ortamlarında ve tuzlu bataklıklarda büyümektedir. Toprakta yüksek seviyelerde alkalileri tolere ederler ve terleme yoluyla dokularında sodyum karbonat gibi alkali tuzları konsantre ederler. Bu bitkilerin yüksek alkali seviyelerini tolere etmesinin birçok yolundan biri, yapraklarında daha sonra döktükleri alkali tuzlarını biriktirmektir. Çok çeşitli halofitik bitki türleri vardır. Salicornia ve Salsola'ya ek olarak Anabasis, Arthrocnemum, Halopeplis ve Hammada (Haloxylon) cinsine ait bitkilerin kullanılmış olabileceği belirtilmektedir. Halofitik bitkilerin, yakılıp kül elde edilmesi ile yeterli miktarda sodyum karbonat oluşabilmektedir. Silis ile etkileşime giren ve ergime derecesini, 1710-1730°C'den yaklaşık 1100-1200°C arasında daha yönetilebilir sıcaklığa düşüren bu bileşiktir. Bitki külleri içerisinde bulunabilen ve silis ile kolayca etkileşime girebilecek diğer tuzlar; karbonatlar, bikarbonatlar, sülfidler, hidroksitler ve bazen de sodyum sülfatlardır²⁹.

Ana bileşeni hidratlı sodyum karbonat olan natron, İskenderiye ve Kahire arasında bulunan Wadi Natrun'un göllerinden gelmektedir. Natron ve trona minerallerinden cam ağırlıklı olarak yaklaşık MÖ 800'den MS 800'e kadar Batı ve Orta Doğu'da üretilmiştir. Bu mineraller, bitki külü ile karşılaştırıldığında nispeten saf bir alkali kaynağıdır ve daha yüksek alkali derişimlerine sahiptir. Bu özelliği ile cam daha kolay bir şekilde ergiyebilmektedir. Roma Dönemi'nde 1. binyıl sonunda soda kaynağı olan natronun Roma ticaret yolundan tedarik edilmesi zorlaşmıştır.

Natron yerine potas kaynağı olan ağaç külü kullanılmaya başlanmış, bunun sonucunda soda-kireç-silis camları yerine potas-kireç-silis camları ortaya çıkmıştır. Alternatif bir alkali olan potasyum oksit (K_2O) de, tarihi MÖ 10. yüzyıla kadar uzanan camlarda bulunmuştur³⁰. Venedik camcılarının ana ergitici maddesi, MS 13. yüzyılın sonundan itibaren, deniz bitkilerinin yakılmasından ve çeşitli alt türlerinden elde edilen allume catina veya soda külü olmuştur. 17. yüzyıldan itibaren, diğer soda külü türleri (Barilla) bilinmektedir. 15. yüzyıldan itibaren, kaynaklar bazen böğürtlen çalıları, lahana, eğrelti otu, hodan ve meşe gibi karasal bitkileri yakmakla elde edilen potas küllerinin kullanımını da belirtmektedir. 18. yüzyılda, Sicilya (Catania) ve Malta'dan gelen soda külleri kullanılmıştır. Aynı yüzyıl boyunca, hala bazı yazılı

²⁹ Henderson, **a.g.e.**, 23.

³⁰ Römich, **a.g.e.**, s. 162; Henderson, **a.g.e.**, s. 5, 51-52.

kaynaklarda natrondan bahsedilmektedir; ayrıca potas da kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, 15. yüzyıldan beri potas kaynağı olan şarap fiçilerindeki tortuların yaygın olarak kullanıldığı da bilinmektedir. Endüstriyel olarak üretilen yapay soda 19. yüzyılda ortaya çıkmıştır³¹.

Hala dolaşımda olan az miktarda natron camı olmasına rağmen, Batı'da da 11. yüzyıldan itibaren, kiliseler ve katedraller için çok miktarda cam gerektiği için Alplerin kuzeyinde alternatif bir alkali kaynağı olarak odun külü kullanılmaya başlanmıştır. Natrondan odun külüne doğru bir değişiklik muhtemelen natrondan bitki külüne değişimden daha zor olmuştur. Odun külü, oldukça değişken bileşimlere sahiptir. Bitki küllerinde olduğu gibi, odun külü bileşimlerini; ağacın türü, ağacın büyüdüğü jeoloji ve ahşabın toplandığı yılın zamanı gibi faktörler belirlemektedir. Ayrıca ağacın farklı kısımları farklı bileşimlere sahip olabilmektedir. Odun külü camları, yüksek seviyelerde potasyum oksit, magnezyum oksit, fosfor pentoksit, kükürt trioksit, mangan oksit ve kalsiyum oksit ile karakterize edilebilir; küller ayrıca çinko, rubidyum, stronsiyum, bakır, nikel ve baryum da içerebilir³².

Antik dönemde plastik üretime uygun olması ve şekillendirilebilme süresi uzun olması açısından en çok kullanılan ergitici Na_2O olmuştur. Ergitici olarak K_2O 'nun kullanıldığı potas-kireç camları ise parlak görünmesine karşın daha sert bir yapıda olduğu için işlenmesi daha zor olduğundan Antik dönemlerde daha az kullanılmıştır. Bununla birlikte, aşırı miktarda soda kullanımı camı neme ve karbondioksit karşı duyarlı hale getirir, yüzeyde bozulma ve opaklaşmaya neden olur³³.

Roma dönemine ait bir gemide (*Iulia Felix*) ele geçen camlarda XRF ve EPMA (electron mikroprobe) ile yapılan analizlerde natronun ergitici olarak kullanıldığı anlaşılmıştır³⁴. Orta İtalya, Toskana'da yer alan arkeolojik alanda, 13.- 16. yüzyıllara tarihlenen cam buluntuların SEM-EDS analizlerinde ergitici olarak kullanılan alkali kaynağına göre camların iki gruba ayrıldığı görülmektedir. Camların bir kısmında

³¹ Janssens, **a.g.e.**, s. 29-30.

³² Henderson, **a.g.e.**, s. 102-104.

³³ Baykan ve Baykan, **Eskiçağ'da Cam**, Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü Yayınları, 2012 İstanbul, s. 1; Janssens, **a.g.e.**, s. 29.

³⁴ Silvestri, "The coloured glass of Iulia Felix", **Journal of Archaeological Science**, 35 (6), 2008, s. 1494.

Levanten külü bir kısmında ise Barilla külü kullanıldığı tespit edilmiştir³⁵. Soda bakımından zengin Levanten külü, Suriye-Lübnan bölgesinde bulunan bitkilerin; Barilla külü ise Batı Akdeniz'in kıyı bitkilerinin yakılmasıyla elde edilen alkaliler olarak kullanılmıştır. Roma ve Orta Çağ dönemlerine ait camlar üzerine yapılan bir çalışmada, Roma Dönemi camlarında ergitici olarak natron (soda), Orta Çağ camlarında ise ergitici olarak bitki külü (potas) kullanıldığı anlaşılmıştır. Bir karşılaştırma yapıldığında Roma Dönemi camlarının Orta Çağ camlarına göre daha iyi korunduğu ve durumda ergiticilerin etkili olduğu sonucuna varılmıştır³⁶.

S. Çelik vd.³⁷ tarafından yapılan bir çalışmada Enez arkeolojik kazılarında ele geçen Helenistik, Roma, Bizans ve Osmanlı dönemlerine ait cam örnekler incelenmiştir. Örneklerin üretim teknolojisi mikro-Raman ve FTIR ile, temel bileşenleri ve renklendirici elemanlarının kimyasal bileşimleri ise ED-XRF tekniği ile araştırılmıştır. Na derişimi ED-XRF ile tam olarak tespit edilemediğinden, incelenen cam numunelerinin Na derişimi ICP-MS yöntemi ile analiz edilmiştir. Temel elementlerin (Na_2O , MgO , Al_2O_3 , K_2O , CaO ve SiO_2) bileşimleri ve safsızlıklar (Sc, Zn ve Pb) ED-XRF analizi ile belirlenmiştir. Helenistik ve Roma dönemlerine ait parfüm şişeleri (Örnek 1 ve 2), diğerlerine göre (%1,20- 2,43 K_2O) çok daha düşük potasyuma (%0,012 K_2O) sahiptir. Bu düşük magnezyum ve düşük potasyum bileşimli cam kullanımı, natron benzeri bir alkali kaynağı olduğunu düşündürmektedir. Roma, Bizans ve Osmanlı dönemine tarihlenen cam bileziklerin (Örnek 3-7), parfüm şişelerinden daha fazla potasyum içermeleri alkali kaynağı olarak odun veya eğrelti otunun külünün kullanılmış olabileceğini düşündürmektedir. Kurşun (Pb) seviyeleri %0,06 ile 0,54 arasında değişmektedir, bu da kurşun oksitlerin bir ergitme maddesi olarak kullanılmadığını ve kumdan kaynaklandığını düşündürmektedir.

Genel olarak, bir soda-kireç-silis bileşiminin camları daha kararlıdır ve bu nedenle toprak altında bir potas-kireç-silis bileşiminden daha iyi korunmaktadır³⁸.

³⁵ Cagno vd., "Raw Materials for Medieval to Post-Medieval Tuscan glassmaking: New Insight from LA-ICP-MS Analyses", *Journal of Archaeological Science*, 37 (12), 2010, s. 3032.

³⁶ Demirci, a.g.e., s. 25-26.

³⁷ Çelik vd., a.g.e., s. 178- 179.

³⁸ Davison, *Conservation and Restoration of Glass*, Londra, 2006, s. 183; van Giffen ve Koob, "Deterioration of Vitreous Materials", *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, 2018, s. 1.

2.3. Sağlamlaştırıcılar

Genellikle kireç ya da kalsiyum (CaO) ve magnezyum oksit (MgO) gibi toprak alkali oksitler sağlamlaştırıcı olarak adlandırılır. Üretimdeki rolüne göre bu katkı maddeleri sağlamlaştırıcı, dengeleyici, özellik değiştirici ve dayanım artırıcı (stabilizer) olarak ifade edilmektedir. Bu tez çalışmasında sağlamlaştırıcı teriminin kullanılması tercih edilmiştir. Camın ergime derecesini düşürmek için cama eklenen ergiticiler, camın kolay çözünmesine neden olup bozulma eğilimini arttırdığı için, cam harmanına sağlamlaştırıcılar katılır. Harmanın yaklaşık %10'unda bulunurlar, cam soğurken kristalleşmenin oluşmasını önler ve camın kimyasal stabilitesini geliştirerek suda daha az çözünür olmasını sağlarlar. Kireç (CaO) cama %10 miktarında eklenirse, jel tabakasının artan stabilitesi nedeniyle soda ekstraksiyonunda hızlı bir düşüş olur. Kireç içeriği %15'in üzerine çıkarsa, bozulmaya karşı direnç önemli ölçüde azalmaya başlar³⁹.

Kireç bilinçli olarak veya olmadan kalkerli topraktaki kireç, kalsit ya da aragonit içeren kabuk ya da kireç bakımından zengin bitki külü gibi başka bir bileşen ile cama girebilmektedir. Silis kaynağı olarak kuvars kullanıldığında, eğer harmana bilinçli olarak eklenmemişse, kireç bitki külünden gelmiş olmalıdır. Eğer natron tek alkali kaynağı ise, o zaman bitki külünden elde edilen camdaki kireç muhtemelen kalkerli kum, öğütülmüş kireçtaşı ya da öğütülmüş deniz kabuğunun kullanımından elde edilmiş olabilir⁴⁰.

Alüminyum kumdaki safsızlık (feldispat ve kil) ve kısmen saflaştırılmamış küller aracılığı ile cama girer; kalsiyum ve magnezyum oksitler ise, öncelikle kalsiyum ve magnezyum karbonat içeren kül safsızlıkları (Belus ve Pola gibi bazı kumlar) yolu ile cama girmektedir⁴¹.

Genel olarak kalsiyum ile potasyum ve sodyum gibi alkali oksitlerin oranı arttıkça cam daha stabil hale gelmektedir. Bununla birlikte büyük miktarda alkali

³⁹ Abd-Alla, "Devitrification Behaviour of Corroded Glass: Four Cases Study", **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 7 (1), 2007, s. 40-41.

⁴⁰ Biek ve Bayley, Glass and Other Vitreous Materials, **World Archaeology**, 11 (1), 1979, s. 5; Freestone vd., "Strontium Isotopes in the Investigation of Early Glass Production: Byzantine and Early Islamic Glass from the Near East", **Archaeometry**, 45 (1), 2003, s. 21, 30.

⁴¹ Janssens, **a.g.e.**, s. 30.

içeren bir cam bozulursa kalsiyum onunla birlikte çözünür. Ağda kalan silis iç bağları koruyamayacak kadar az olduğunda cam ayrışabilir⁴².

2.4. Ara Elemanlar

Ara elemanlar, alüminyum (Al_2O_3) ve fosfor (P_2O_5) gibi camda az miktarda bulunan bazı katkı maddeleridir. Alüminyum kimyasal dayanıklılığı artırır ve şekillendirme işlemi sırasında camın kristalleşme eğilimini azaltır. Bunlar ham maddelerdeki eser elementlerden, camın ergitildiği kil kap veya potalardaki ekstraksiyonlardan veya çevresinden cam ağına girmiş olmalıdır. Bu katkı maddelerinin oksitlerinin hepsi düşük bir çözünürlüğe sahiptir. Bu nedenle cam yüzeyindeki varlıkları, alkali iyonları hareketsizleştirerek camın çözünmeye karşı direncini arttırabilir⁴³.

Alüminyum camda sık rastlanan ve bazı kumların doğal bir bileşenidir, cama daha fazla dayanıklılık ve daha düşük genleşme katsayısı sağlamaktadır. Bununla birlikte çok fazla alüminyum, camın viskozitesini arttırmakta, ergimeyi ve çalışılmayı zorlaştırmaktadır. Antik dönem cam yapımında alüminyum yaygın olarak kullanılmıştır. Muhtemelen potaya kasıtlı olarak eklenmemiştir. Bununla birlikte, genellikle cam harmanında diğer ham maddelerle birlikte bir safsızlık olarak düşük derişimlerde (ağırlıkça %1-5) bulunmaktadır. Feldspat en önemli alüminyum kaynağıdır. Kuvars kumu kullanılması ile özellikle alüminyum gibi diğer elementler önemli miktarda cama girmektedir⁴⁴.

Fosfor (P_2O_5) bitki külü veya apatit gibi belirli kumlarla birlikte cam harmanına giren bir elementtir. Apatit kumlar nadir görülür ve bu nedenle son derece tanısaldır. Apatit yapıya sahip kristaller ergimiş camda dahi çözünmediğinden ortaya çıkan cam opak olmaktadır⁴⁵.

Milano'da 15. yüzyıla ait Certosa di Pavia manastırının vitray camlarının analizlerinde, camların yüksek P_2O_5 içeriğine sahip olduğu anlaşılmıştır. Kemik külü içinde fosfor bulunmakta, ancak içerisinde CaO ve az miktarda MgO da

⁴² Davison, **a.g.e.**, 2006, 177.

⁴³ Davison, **a.g.e.**, 2006, 177; Abd-Alla, **a.g.e.**, s. 40.

⁴⁴ Goffe, **Archaeological Chemistry**, 2. Baskı, John Wiley & Sons, New Jersey, 2007, s. 119.

⁴⁵ Biek ve Bayley, **a.g.e.**, s. 5-6.

bulunmaktadır. Kalsiyum-fosforun negatif korelasyonu, camdaki fosforun kemik külünden değil bitki külünden cama dahil olduğunu göstermektedir⁴⁶.

Kurşun oksit (PbO), nihai camda kusurlara neden olabilecek herhangi bir refrakter veya diğer safsızlık parçacıklarının çözülmesinde özellikle faydalıdır. Ergime noktasını kireçten daha da fazla düşürmekte, camın kararlılığını ve akışkanlığını artırmaktadır. Aslında kurşun bir ağ yapıcıdır, %90'a kadar PbO içeren camlar bilinmektedir. Camdaki kurşun oksit (PbO) içeriği ağırlıkça hesaplanırsa çok fazla görünebilmektedir. Ancak kurşun çok ağır bir elementtir ve molar bazda hesaplandığında, aslında cam bileşiminde bir değiştirici olarak hareket eder ve bu nedenle kurşun camlar silis camlar olarak sayılabilmektedir⁴⁷.

2.5. Homojenleştiriciler

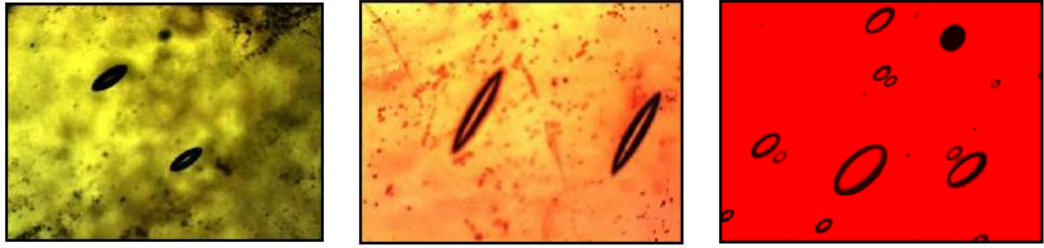
Antik dönemde camcılar, ham maddelerin reaksiyonu ve ayrışması ile oluşan gaz kabarcıklarının (habbe) eriyik camdan çıkarılmasını kolaylaştırmaya ve ergitme işlemi sırasında camı homojenize etmeye yarayan homojenleştiricileri (fining agent) kullanmışlardır.

Habbe adı verilen cam harmanı içerisinde hapsolan hava boşlukları, harmanın ergimesinin ilk aşamasında, mekanik olarak karıştırılması sırasında atmosfer gazlarının fiziksel olarak yakalanması veya harman bileşenlerinin oluşturduğu gazlar ile meydana gelebilmektedir. Harmanın tanecikleri arasındaki boşluklarda bulunan gazlar, tanecikler yumuşamaya ve viskoz bir sıvı oluşturmaya başladığında sıkışabilmektedir. Viskozite artan sıcaklıkla azaldıkça, bu boşluklar tamamen bir sıvı ile çevrelenmektedir. Yüzey kuvvetleri ve üretim teknikleri daha sonra bu boşlukların küresel şekil almasına neden olmaktadır. Atmosferdeki gazların sıkışması, harmanda çok ince kum kullanılması veya çok farklı tane boylarına sahip harman bileşenlerinin kullanılması ile artmaktadır. Her iki durumda da ergimemiş harmanın içinde büyük bir derişimde çok ince boşluklar oluşmaktadır (Şekil 2.4). Eriyikten habbelerin uzaklaştırılması için kullanılan arsenik ve antimon oksitler en etkili

⁴⁶ Marchesi vd., "Window Panes of the Certosa di Pavia: Chemical Composition, Microstructure and Alteration", **Surface Engineering**, 21 (5-6), 2005, s. 400.

⁴⁷ Biek ve Bayley, **a.g.e.**, s. 17; Beşer, "Archaeometrical Investigation of Some Medieval Glass Samples From Alanya Region", **Doctoral Dissertation**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2009, s. 30.

homojenleştiricilerdir. Cam harmanının ısıtıldığı maksimum sıcaklık da habbelerin uzaklaştırılmasına izin vererek, daha homojen, daha az habbeli camlar üretilebilmesini sağlamaktaydı⁴⁸. Diğer homojenleştiriciler ise ham maddelerde safsızlık olarak bulunan potasyum ve sodyum nitrat, sodyum klorür, florür ve sülfatlardır. 15. yüzyıldan beri bilinen nitre (güherçile), daha sonra kullanılmamaya başlanmıştır. Sonraki dönemlerde, özellikle kurşun içeren camlar için daha yaygın hale gelir; kurşun oksit indirgenmesini önlemek için tasarlanmış bir oksitleyici madde olarak da işlev görmektedir. Cam harmanının ağırlıkça %1'inden daha az miktarda eklenen homojenleştiriciler, habbeleri, daha büyük boyutta oluşturduğu hava boşluklarının küçük hava boşluklarını bünyesine çekip yüzeyden çıkarmasıyla yok etmektedir⁴⁹.



a. Döküm veya silindir tekniği b. Döküm tekniği c. Üfleme tekniği

Şekil 2.4: İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi cam örnekleri mikroskop altı (habbe) görünüşleri (Akyol vd., 2014: 15).

2.6. Renklendiriciler ve Opaklaştırıcılar

Antik dönemde ilk camlar kasıtlı olarak renklendirilmemiş olsa da değerli taşları taklit etmek için metal oksitlerin renkli cam üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Bu renklerin çoğu ilk olarak, Mezopotamya'da ilk cam kaplar üretildiğinde, MÖ 15. yüzyılın ortalarından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Lapis lazuli taklit etmek için kobalt mavisi rengi; altın taklidi için opak sarı kullanılmıştır. Turkuaz taklit etmek için, soluk mavi camlar, kan taklidi için ise opak kırmızı renkleri kullanmışlardır⁵⁰.

Renklendiriciler (colorant) genellikle geçiş elementlerinin bileşikleri veya bu elementlerin cam içerisinde asıltı (kolloidal) olarak dağılmış tanecikleridir. Geçiş elementlerinin cama farklı renk vermelerinin nedenleri şunlardır: Cam harmanındaki

⁴⁸ Henderson, **a.g.e.**, 68.

⁴⁹ Shelby, **a.g.e.**, s. 40-43; Janssens, **a.g.e.**, s. 31.

⁵⁰ Henderson, **a.g.e.**, s. 10

diğer maddelerin örneğın kullanılan alkalinin türü, miktarı ve fırındaki sıcaklık ile oksijen miktarı gibi ortam koşulları ve buna bağılı olarak indirgenme/yükseltgenme ortamı, cam harmanının ergime ve soğuma sürecidir. Tüm bu nedenler camın son rengini almasında etkili olan faktörlerdir. Kayın ağaçlarının külleri özellikle mangan açısından zengindir ve oksitleyici koşullar altında camlarda mor bir renk ve indirgeme koşulları altında zayıf sarı bir renk üretmektedir. Sarı ve renksiz camlar, mor ve ten rengi camlarda bulunandan daha yüksek demir seviyeleri içermektedir. Antik dönemlerde renksiz cam üretmek için cama bazı katkı maddelerinin eklendiğı bilinmektedir. Çünkü silis kumunda %1-3 oranında safsızlık olarak bulunan demir oksitler, cama açık mavimsi-yeşilimsi rengi vermektedir. Fırın atmosferine bağılı olarak demir iyonları farklı renk vermektedir; indirgenme ortamında demir (II) oksit cama mavimsi-yeşilimsi renkler verirken, yükseltgenme ortamında demir (III) oksit sarı-kahverengi tonlarda renk vermektedir. Ayrıca Fe^{2+} iyonunun toplam demir iyonuna oranının azalması ile camın renginin maviden sarıya doğru değıştiğı gözlemlenebilmektedir (Şekil 2.5). Bu tür camlar doğal renkli olarak nitelendirilebilmektedir. Ancak renksiz cam üretmek için veya renk etkisini azaltmak için renk giderici olarak kullanılan mangan, Mısır kumlarının bazılarında doğal olarak bulunduğundan, Mısırlılar renksiz cam üretebilmişlerdir. Bununla birlikte, mangan aynı zamanda koyu ametist rengini vermek için⁵¹ bir renklendirici element olarak da işlev görmüştür⁵².



Şekil 2.5: Demir (II) ve (III) iyonlarının sebep olduğı cam renkleri
(Beşer ve Demirci, 2012: 49)

⁵¹ Çelik vd., **a.g.e.**, s. 183.

⁵² Beşer ve Demirci, “Arkeometrik Çalışmalar Işığında Renkli ve Renksiz Cam Üretimi”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı. Türkiye Arkeolojisi’nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar**, ODTÜ Yayınları, Ankara, 2012, s. 47-50; Henderson, **a.g.e.**, s. 67.

Renksiz cam elde etmek veya istenilen renkte cam elde edebilmek için cama bazı maddeler eklenmektedir. Arkeolojik camlarda en çok karşılaşılan geçiş elementleri demir, bakır, mangan ve kobalt iyonlarıdır. Demir maviden yeşile, sarıdan kahverengiye kadar uzanan bir renk yelpazesi sunarken; bakır cama turkuaz, mavi ve yeşil tonlarında renkler; kobalt mavi ve lacivert; mangan mor rengini; seyrek görülmekle birlikte uranyum ise sarı-yeşil rengini vermektedir. Krom, mangan veya kobalt oksitlerin cam harmanında çok az bulunması dahi koyu renk yaratabilmektedir. Kobaltın %0,1'lik oranı mavi renk verirken, %0,025'lik oranı açık mavi rengi vermektedir. Siyah renkli görünen camlar, esasen siyah olmayıp çok koyu mavi veya kırmızı renklidir. Ayrıca ışığın geçmesine çok az izin verdiklerinden siyah renkli olarak algılanmaktadırlar⁵³. Mevcut alkalinin atom ağırlığı da renk üzerinde bir etkiye sahiptir. Alkali ne kadar ağır olursa (atom numarası açısından), gözlemlenen renk de o kadar koyu olmaktadır. Örneğin, bir camdaki bir miktar potasyum oksit aynı miktardaki sodyum oksit ile değiştirildiğinde, camın rengi daha açık görünmektedir⁵⁴.

Cam harmanına eklenen renk oksitlerin kimyasal çözünme hızını arttırdığı ile ilgili bir görüş bulunmaktadır⁵⁵. Önceleri renkli camların bozulmasında rengin tek başına önemli bir rol oynadığı yönünde yanlış bir görüş bulunmaktaydı. Ancak renklendirici iyonların derişimi düşüktür, harmanın içerisinde %1'den az bulunduğu için bu oran önemli bir değer değildir. Farklı olan ve dayanıklılıktaki farkı açıklayan renkli camın genel bileşimidir. York Katedrali'ndeki tüm pembe camlar yüzey kaybına karşı dirençli ve parlak yüzeylere sahipken, yeşil renkli camlar pürüzlü kabukla kaplı bir yüzeye sahiptir. Yapılan analizlerde yeşil camların potas ile karşılaştırıldığında, pembe camlara kıyasla nispeten daha fazla kireç içerdiği görülmektedir. Camlarda görülen yüzey kaybı oluşumunun renkten ziyade, bileşimdeki bu farktan meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bazı durumlarda renkli Orta Çağ camının renksiz camdan daha iyi korunduğu da bulunmuştur⁵⁶. Hollanda Bocholtz Mezarları'ndan ele geçen

⁵³ Beşer vd., "Alanya Bölgesi Kazılarında Elde Edilen Bazı 13. Yüzyıl Cam Örneklerinin Arkeometrik Yönden İncelenmesi", **26. Arkeometri Sonuçları Toplantısı** (İstanbul, 24 - 28 Mayıs 2010), Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, 2011, s. 295-296; Beşer ve Demirci, **a.g.e.**, s. 47; Baykan ve Baykan, **a.g.e.**, s.1; Özer ve Bakırer, "Anadolu'da Cam Buluntular Üzerinde Bugüne Kadar Yapılan Arkeometrik Çalışmalardan Elde Edilen Bilgiler", **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı. Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar**, ODTÜ Yayınları, Ankara, 2012, s. 39.

⁵⁴ Henderson, **a.g.e.**, s. 66.

⁵⁵ Kocabaş, **Arkeolojik Sualtı Kalıntılarının Konservasyonu**, İstanbul, 1998, s.107.

⁵⁶ Davison, **a.g.e.**, s. 178.

camlar üzerinde yapılan çalışmada, yüksek CaO içeriğine sahip nesneler, yani tipik mavi-yeşil Roma camları, ince jel tabakalarına sahiptir. Renksiz nesneler genellikle daha kalın jel tabakalarına sahiptir. Bu grup içinde CaO içeriği ve objenin şekli, bozulma derecesini belirlemektedir. Örneğin şişeler genel olarak aynı CaO içeriğine sahip tabaklardan ve kaselerden daha az parçalanma gösterir. Nispeten düşük CaO içerikli objeler tamamen parçalanırken, yüksek CaO içerikli objelerde güçlü bir parçalanma görülmez. Bu tür bozulmanın renksiz objelerle sınırlı olduğu görülmektedir, çünkü yeşil veya mavimsi yeşil camlar etkilenmemiş gibi görünmektedir. Camın genel yapısında Na₂O içeriklerinin %12-18 aralığında olduğu görülürken, bu içerik jel tabakalarında %3'ün altına düşmektedir. Na₂O içerikleri, renkli iki örnekteki jel tabakalarında daha yüksek içeriğe (%3-6) sahiptir. CaO içeriğinin azalmasının Na₂O içeriğinin azalması ile ilgili olduğu görülmektedir. Ayrıca, SiO₂ artışının, yine CaO'daki bir azalma ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır⁵⁷.

Renksiz cam üretmenin alternatif bir yolu, bir renk giderici eklemektir. Antimon ve mangan, demiri oksitleyerek camı renksizleştirmektedir. Mangandan daha güçlü bir renk giderici olan antimon, cam hamuru içerisindeki habbeleri de uzaklaştırarak camda bir inceltme maddesi görevi görmektedir ve böylece daha parlak bir cam üretilebilmektedir. Her iki oksitleyicinin miktarı, cam yapım ham maddelerindeki demir derişimine ve iki veya daha fazla element arasındaki dengeye bağlı olmaktadır⁵⁸.

Renksiz cam, nispeten düşük demir seviyelerine sahip silis, antimon trioksit (MÖ 6.-2. yüzyıl) veya mangan oksit (MÖ 2. yüzyıldan sonra) kullanılarak üretilebilmektedir. MÖ 2. binyılda renksiz cam üretilmesine rağmen, özellikle Helenistik Dönem'de yaklaşık MÖ 6. yüzyıldan 2. yüzyıla kadar, Roma Dönemi'nde, Sasani camcılığında ve 14. yüzyıldan itibaren Venedik camcılığında popüler olmuştur. Antimonun (Sb₂O₃) bir renk giderici olarak kullanılması, MÖ 1. binyılın ikinci yarısından MÖ 1. yüzyılın sonuna kadar Orta Doğu cam üretimine kadar uzanırken, Avrupa bölgesinde antimon (Sb₂O₃), mangan (MnO) (MS 1. yüzyıldan itibaren

⁵⁷ Huisman vd., **a.g.e.**, s. 399, 402-409.

⁵⁸ Jackson, "Making Colourless Glass in the Roman Period", **Archaeometry**, 47 (4), 2005, s. 764.

giderek kullanımı artan) ile birlikte MS 2. yüzyıla kadar kullanılmaya devam etmiştir⁵⁹.

Yarı saydam veya şeffaf camlar, ışığın tüm dalga boylarının iletilmesine izin verirken, opak camdaki inklüzyonlar tam tersi bir etkiye sahiptir. Işığın dalga boyları kristallerin varlığı ile camdan yansıtılır. Üretimden sonra silisin reaksiyonları ve habbelerin kütleleri tam veya kısmi opaklaşmaya neden olabilirken; bazı malzemelerin harmana eklenmesi ile cam içinde mikrokristalin alanlar oluşturan opaklaştırıcıların kasıtlı olarak eklenmesi ile de opak camlar üretilmekteydi. Opak camlar, esas olarak kalay, kurşun veya antimon bileşikleri olan opaklaştırıcıların varlığıyla elde edilebilmektedir. Antik dönem camlarında kullanılan yaygın opaklaştırıcılar; beyaz opak cam üretmek için kalsiyum antimonat ($\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ ve $\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_6$), opak sarı cam üretmek için kurşun antimonat ($\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$); MÖ 2. yüzyıldan itibaren, opak beyaz cam üretmek için kalay oksit (SnO_2 , kasiterit) ve opak sarı cam üretmek için kurşun-kalay oksit ($\text{Pb}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$) formunda kalaydır⁶⁰.

Enez arkeolojik kazılarında ele geçen Helenistik, Roma, Bizans ve Osmanlı dönemlerine ait cam örneklerin, renklendirici elementlerinin kimyasal bileşimleri ED-XRF tekniği ile araştırılmıştır. Temel elementlerin (Na_2O , MgO , Al_2O_3 , K_2O , CaO ve SiO_2) bileşimleri, renklendirici/rengi değiştirici elementler (Mn, Fe, Co, Cu, As, Sb ve Au) ve safsızlıklar (Sc, Zn ve Pb) ED-XRF analizi ile belirlenmiştir. Ergime dereceleri birbirine oldukça yakın olan (yaklaşık 1000°C) tüm camlar, düşük magnezyum-soda-kireç-silis camları olarak karakterize edilmektedir. Analiz sonuçları, Roma dönemi parfüm şişesindeki (Örnek 2) kırmızı rengin metalik bakır, altın ve demirden kaynaklandığını göstermektedir ve kırmızı renk kromoforu olarak da bilinen demirin en yüksek derişimine (48000 mg/kg) sahiptir. Turkuaz renkli parfüm şişesinde (Örnek 1) renklendirici elementler kobalt ve bakırdır ve renk antimon (Sb_2O_3) ile değiştirilmiştir. Çok küçük bir kobalt derişimi dahi renk verdiği için kobalt güçlü bir mavi renklendirici elementtir. Ayrıca bakır mavisi ve kalsiyum antimonit karışımı opak bir turkuaz rengi vermektedir. Yeşil bilezik parçasında (Örnek 4) ise rengi Cu (%1,25) ve Fe (%0,75) elementleri vermektedir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 2.1)

⁵⁹ Sayra ve Smith, “Compositional Categories of Ancient Glass”, *Science*, 133, 1961, s.1824–1825; Davison, *a.g.e.*, s. 77-78; Henderson, *a.g.e.*, s. 76.

⁶⁰ Davison, *a.g.e.*, s. 9-10; Römich, *a.g.e.*, s. 163.

görüldüğü gibi, Örnek 3, 5-7'deki mangan derişimi diğerlerinden çok daha yüksektir, bu da manganın koyu renkli camların renklendirici maddesi olduğunu göstermektedir. Renklendiriciler, turkuaz için kobalt ve bakır; kırmızı için metalik bakır, altın ve demir gibi cam harmanı içine katılan geçiş metali iyonlarından gelmektedir⁶¹.

İçerik	Örnek No.						
	1	2	3	4	5	6	7
Na ₂ O, %	20.62	18.20	17.39	8.49	14.02	18.74	15.91
MgO, %	0.65	0.65	0.63	0.66	0.65	0.65	0.63
Al ₂ O ₃ , %	1.93	2.08	1.95	3.80	2.74	2.53	2.36
SiO ₂ , %	68.03	65.25	68.46	70.81	66.96	69.31	67.39
K ₂ O, %	0.012	0.012	1.45	1.33	2.43	1.45	1.20
CaO, %	7.14	6.87	8.70	9.58	8.83	8.67	8.84
Mn, mg/kg	200	800	2300	500	7400	4500	3000
Fe, mg/kg	6200	48000	5000	7500	8500	4000	4000
Co, mg/kg	187	10	510	10	400	170	200
Cu, mg/kg	6000	9700	1400	12500	1300	1400	1000
Sc, mg/kg	0.83	4.5	1.8	1.9	1.8	2.0	1.2
As, mg/kg	5	37	28	60	20	36	33
Sb, mg/kg	3800	510	35	15	10	—	35
Zn, mg/kg	—	—	0.14	10	500	—	—
Au, mg/kg	0.23	0.50	0.38	0.40	0.20	1.6	0.74
Pb, mg/kg	600	5400	2100	4500	3400	5100	4000

Tablo 2.1: Enez camları ED-XRF sonuçları
(Çelik vd., 2018:180)

Enez kazısı camları üzerine yapılan bir diğer çalışmada⁶² ise, Osmanlı Dönemi'ne ait 4 cam örneğin renklendiricileri ED-XRF tekniği ile belirlenmiştir. Cam örnekleri yüksek potasyum-düşük magnezyum oksit seviyeleri ile karakterizedir. SiO₂ seviyeleri ağırlıkça %61 ila %67 arasında ve Na₂O seviyeleri %0,5 ila %3,6 arasında değişen, potas-kireç camları olarak sınıflandırılabilirler. K₂O seviyesinin ağırlıkça yaklaşık %12 olduğu bulunmuştur ve PbO derişimleri ağırlıkça %0,5 ila %2,7 arasında değişmektedir. Tüm örnekler %0,1'den daha düşük Fe₂O₃ derişimlerine sahiptir ve bu da cam harmanına demirin safsızlık olarak bilinçsizce eklendiğini düşündürmektedir. Cama sarı rengi veren antimon, Örnek 1'de yüksek seviyede (110 mg/kg) bulunmaktadır. Renklendirici elementleri olarak antimon ve mangan (60 mg/kg)

⁶¹ Çelik vd., a.g.e., s. 178- 180.

⁶² Akyüz vd., a.g.e., s. 10398.

kullanılmıştır. Turkuaz renkli Örnek 2 ve 3, yüksek bakır (1500-1700 mg/kg), kobalt (190-200 mg/kg) ve krom (24-32 mg/kg) seviyeleri göstermektedir. Yarı saydam beyaz renkli Örnek 4'te ise muhtemelen renksizleştirici olarak mangan (100 mg/kg) kullanılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

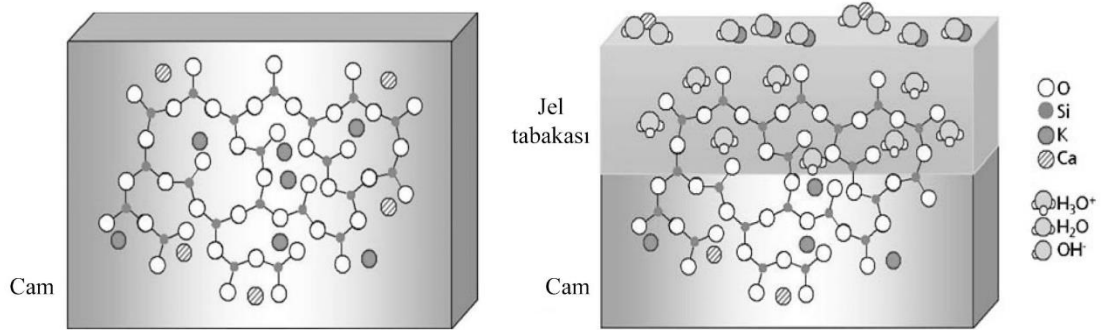
CAMLARDA GÖRÜLEN BOZULMA TÜRLERİ

Cam objeler su ve/veya havada bulunan nemden etkilenecek kimyasal tepkimelere girebilmektedir. Bu tepkimelerin sonucunu; camın kimyasal bileşimi, bulunduğu çevre koşulları (pH, sıcaklık ve nem), fırın ortamı, sıcaklığı, ısıtma süresi ve mikroorganizmaların varlığı gibi parametreler etkileyebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, Enez cam örneklerinde kimyasal çözünme sonucu oluşan yüzey bozulmaları ele alınmaktadır.

Camın bozulmasını etkileyen ilk faktör genellikle, yüksek derecede hareketli iyonların (sodyum ve potasyum iyonları) varlığı ile suyun tepkimesi olarak kabul edilmektedir. Su veya nem ile alkaliler arasında bir değişim mekanizması meydana gelmektedir. Suyun iki etkisi bulunmaktadır; birincisi, suyun camı bozmaya başlaması; ikincisi, sonuç olarak cam parçalarının tamamen ayrışmasına yol açan pulların oluşumu ile camın bozulmasının ilerlemesini arttırmasıdır⁶³. Su ile temas eden camların bozulma mekanizmasında sıvının pH değeri (asidik, nötr veya bazik) önemli rol oynamaktadır. Asidik ortamlarda, su ve hidronyum iyonları (H_3O^+), camdan çözünen pozitif yüklü alkali veya toprak alkali elementlerin yerini almak için cama doğru hareket eder, böylece camın asit saldırısı yüzeyde başlamaktadır. Bu reaksiyon, camın çok yavaş ilerleyen aşamalı bir dealkalizasyonuna neden olur, jel tabakası (hidratlı tabaka) olarak da adlandırılan bir tabakanın oluşumuna yol açmaktadır (Şekil 3.1). Jel tabakası bu şekilde, cam yüzeyinde daha fazla kimyasal saldırıyı geciktiren veya önleyen yüzeysel bir ara yüz oluşturmuş olur. Genellikle jel tabakası geriye kalan camı daha fazla bozulmaya karşı korumakta, suyun tabakanın altındaki cama erişimini sınırlamakta ve böylece yeni tabakaların oluşumunu yavaşlatmaktadır. Kabuğun koruyucu olup olmadığı öncelikle camın bileşimine ve kimyasal çözünme sonrası oluşan çözeltinin pH ve sıcaklığına bağlıdır. Daha yüksek hacimli alkali iyonlar, düşük alan yoğunlukları nedeniyle oksijenlere zayıf bir şekilde bağlanır ve cam ağından kolayca çözünür. Bu, potas camlarının neden soda camlarından daha kolay bozulmaya

⁶³ Dal Bianco vd., “Surface Study of Water Influence on Chemical Corrosion of Roman Glass”, **Surface Engineering**, 21 (5-6), 2005, s. 394-396; Gueboub, “Means of Conservation and Restoration of Archaeological Glasses (Case of Palace Ahmed Bey Glasses-Constantine)”, **Revue Algérienne de la Recherche et des études**, 10, 2020, s. 19.

uğradığını açıklamaktadır. Toprak alkali iyonları, elektriksel yükleri ile ağa sıkıca bağlanır ve sadece camsı ağ ciddi şekilde bozulduğunda çözünür. Bu değişikliklerin sonucunda matlaşma, sedef oluşumu ve mobilize mangan ve demir arasındaki redoks etkileşimleri nedeniyle jel tabakalarında koyu kahverengi ve opak lekeler (süt beyazı/mine aşınma) oluşur. Genel olarak, soda-kireç-silis camları çoğu aside karşı iyi kimyasal dayanıklılık göstermektedir. Camın ortamdaki pH'a bağlı olarak da çözünmesi artabilmektedir. Toprak altındaki bir cam objede görülmemekle birlikte camın yapısından kaynaklı olarak hidroflorik asidin (HF) cam üzerinde bozucu bir etkisi bulunmaktadır. Cam ağının bileşenlerini çözerek cama kuvvetli bir şekilde etki etmektedir. Bu işlemde, florür iyonları oksijen iyonlarının yerine geçmekte ve alkali ve toprak alkali florosilikatların yanı sıra uçucu silis tetraflorür (SiF_4)'ü oluşturmak için doğrudan silis atomlarına bağlanmaktadır. Fosforik asit, daha az ölçüde, soda-kireç-silis camlarını da etkileyebilmektedir⁶⁴.



Şekil 3.1: Potas-kireç silis cam yapısı (solda) ve yüzeyde asit saldırısı sonrası jel tabakası oluşumu (sağda) (Römich, 2006:163, 165)

Herhangi bir olumsuz çevre koşulu, camın bozulmasına neden olabilmektedir. Arkeolojik bir ortamda alkali, camdan su ile kolayca çözünmektedir. Suyun hareketine

⁶⁴ Sanders ve Hench, “Mechanisms of Glass Corrosion”, **Journal of the American Ceramic Society**, 56 (7), 1973, s. 373; Rodrigues vd., “Early Stages of Surface Alteration of Soda-Rich-Silicate Glasses in the Museum Environment”, **Corrosion Science**, 143, 2018, s. 363; Janssens, **a.g.e.**, s. 18-19; Demirci, **a.g.e.**, s. 20; Römich, **a.g.e.**, s. 169; Koob, **a.g.e.**, s. 13-15. Friedrich ve Degryse, “Soil vs. Glass: An Integrated Approach Towards the Characterization of Soil as a Burial Environment for the Glassware of Cucagna Castle (Friuli, Italy)”, **STAR: Science & Technology of Archaeological Research**, 2019 s. 3-4.

izin veren kumlu topraklarda gömülen camlarda daha hızlı bozulma görülürken, katı, yoğun kil veya tınlı topraklarda gömülme durumunda biraz daha fazla korunma sağlanabilmektedir. Ancak kil minerallerinin bulunduğu topraklar da, ıslanma-kuruma döngüleri sırasında potansiyel olarak yıkıcı mekanik kuvvetler yaratacaktır. Kuru ve nem bulunmayan ortamlarda cam mükemmel bir şekilde korunabilmektedir (Şekil 3.2)⁶⁵. Özellikle su dolu ortamlarda yüksek hassasiyete sahip camlar tamamen bozulmuş veya kazı sırasında asla cam olarak tanımlanmamış olabilmektedir⁶⁶. Sıcaklık ve nem değişkenliklerinden dolayı alkali eksikliği olan tabakanın büzülmesi, yüzeyde çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.2: İyi korunmuş cam bilezikler
(Koob, 2006: 13)

Soda-kireç ve karışık alkali camlar, Yakın Doğu ve Akdeniz bölgesinde yaygın olarak üretilirken, Avrupa'da potas camları üretilmiştir. Bozulma hızı büyük ölçüde cam bileşimine bağlıdır. Silis oranı ne kadar fazla olursa, cam daha kararlı hale geldiğinden, meydana gelen çözünme miktarı o kadar az olmaktadır. Sodyum iyonları ağ içinde potasyum iyonlarından daha güçlü bağlara sahip olduğundan, soda-silis camların dayanıklılığı potasyum açısından zengin camlara kıyasla önemli ölçüde daha

⁶⁵ Hamad, “The Deterioration Resulting from Burial Environment on Archaeological Glass: Comparative Study, *Shedet*, 6 (6), 2019, s. 226; Koob, *a.g.e.*, s. 13; Friedrich ve Degryse, *a.g.e.*, s. 16; van Giffen ve Koob, *a.g.e.*, s. 1.

⁶⁶ Römich, *a.g.e.*, s. 169.

yüksektir. Potas camları, K_2O 'nun daha yüksek çözünürlüğü nedeniyle, soda (Na_2O) camlarından daha büyük bir derecede çözünmektedir. Dolayısıyla bozulma tabakaları K_2O bakımından daha zengin olabilmektedir. Bir cam bileşiminde silis için alkali oranı arttıkça, alkalinin çözünme derecesi de artmaktadır. Düşük kalsiyum içeriğine sahip camların herhangi bir nemli toprak altı ortamda hızla bozulduğu bilinmektedir. Daha yüksek oranda (yaklaşık %10) CaO 'ya sahip camlar ise daha stabildir ve K_2O veya Na_2O daha az çözünmektedir⁶⁷.

Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, çözünme potansiyeli o kadar artmaktadır ve çözünen toplam alkali miktarı her zaman çözünen silis miktarını aşmaktadır. Bunun nedeni, silisin gömülme ortamında neredeyse çözünmez olmasıdır. pH 9'a kadar, çözünen alkali miktarı fazladır, ancak bu değerin üzerinde çözünme azalmaktadır. pH 7'ye kadar, çözünen silis miktarı çok azdır, ancak bu değerin üzerinde çözünme artmaktadır. Ilık ve hafif alkali bir ortamda gömülü düşük CaO içeriğine sahip bir potas camı hem silisini hem de alkalisini kaybederek hızla bozulabilmektedir. Aynı cam soğuk, asidik koşullarda, başlangıçta alkalisini hızla kaybeder, ancak uzun vadede daha az etkilenir. Bunun nedeni alkali çözeltinin büyük ölçüde azalması yoluyla silisin bozulma tabakasında kalmasıdır.

Bazik ortamdaki kimyasal saldırı cam için en tehlikelidir ve bozulmanın ilerleme hızını güçlü bir şekilde etkilemektedir. Yüksek pH değerlerinde (genel olarak pH 9'un üzerinde), hidroksit iyonları, cam ağının çözünmesine yol açan Si-O-Si bağlarına etki ederek parçalar ve camsı ağ giderek yok edilir. pH değeri ne kadar yüksek olursa, camsı ağı tahrip eden saldırı reaksiyonu da o kadar agresif olmaktadır. pH 8'in üzerindeki ortamın bazikliği ne kadar yüksek olursa, çözünen SiO_2 miktarı da o kadar yüksek olmaktadır⁶⁸.

Nötr sulu ortamlarda, camda alkali iyonları ile H^+ iyonlarının değişmesi nedeniyle hafif bir cam dealkalizasyonu gerçekleşir. Oluşan alkali hidroksit yeterli derecede uzaklaştırılır veya seyreltilirse bu reaksiyon tehlikeli değildir. Bununla birlikte, cam yüzeyi ile az miktarda su uzun süre temas halinde kaldığında,

⁶⁷ Koob, **a.g.e.**, s. 13-14; Römich, **a.g.e.**, s. 165.

⁶⁸ Römich, **a.g.e.**, s. 164; Janssens, **a.g.e.**, s. 18-19.

buharlaşmayı önleyen neme doymuş bir atmosfer altında, alkali iyon derişimi artar ve güçlü agresif bir bazik ortam sağlar⁶⁹.

Çözünen cam, kalınlığı birkaç nanometre ile sınırlıysa, mikroskop altında görülemeyen bir jel tabakası oluşturur. Çözünme artarsa ve hidratlanmış tabakanın kalınlığı birkaç mikrometreye ulaşır, birbirine bağlı çatlaklar ortaya çıkar⁷⁰.

Cam harmanının iyi karıştırılmadığı durumlarda camda kırılma, çatlama ve leke oluşumu gibi bozulmalar oluşabilmektedir. Harmanın ergimesi sırasında iyi karıştırılmaması sonucunda noktasal yoğunluklar oluşmaktadır. Ağ yapıcı olarak harmana eklenen silis kumunun oluşturduğu noktasal yoğunluk çatlama ve kırılmalara neden olurken, ergitici olarak harmana eklenen soda ise yüzeyde lekelenmelere neden olmaktadır⁷¹.

Bozulma tabakasının kalınlığı, camın kimyasal stabilitesine ve gömülme ortamının koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir. Brill⁷² bozulma türlerini ve derecelerini aşağıdaki gibi derecelendirmiştir.

Bozulmamış (unweathered) cam: Yüzey, aşınma (wear) veya erozyon nedeniyle çizikler dışında yeni yapılmış bir cam gibi görünür.

Az bozulmuş ya da hiç bozulmamış cam: Büyüteç olmadan yüzeyde görünen değişiklik (veya minimum değişiklik).

Hafif bozulmuş cam: Bir kir tabakası veya film şeklinde yüzeyde matlaşma veya bozulma ürünleri; yüzeyin kalıcı kaybı dışında yabancı madde birikimlerinden ayırt edilmesi zordur.

Orta derecede bozulmuş cam: Bozulma ürünleri veya sedef oluşumu tabakaları yüzeyin önemli bir bölümünü kaplar; ancak bozulma ürünlerinin belirgin orijinal kalınlığı yarım milimetre ya da daha incedir. Yüzey çukurlu olabilmektedir.

Çok bozulmuş cam: Bir milimetre kalınlıktaki bozulma tabakası veya bazı bozulma ürünlerinin kaybolduğu çukurlar mevcuttur.

⁶⁹ Janssens, **a.g.e.**, s. 18-19.

⁷⁰ Römich, **a.g.e.**, s. 164.

⁷¹ Baykan, **a.g.e.**, s. 52.

⁷² Brill, **Chemical Analyses of Early Glasses**, Vol I, Corning Museum of Glass, New York, 1999, s. 18.

Çok şiddetli bozulmuş cam: Bozulma ürünleri, kalan cam özellikle ince cidarlı camlar üzerinde baskındır, oluşan kabuklar yaklaşık bir milimetreden daha kalındır. Daha ileri durumlarda, geriye cam olarak tanımlanamayan bir nesne kalır.

3.1. Sedef Oluşumu

Cam yüzeyinde görülen sedef oluşumu dikkat çekici ve en çok rastlanılan bozulma türlerinden biridir. Genel olarak, sodyum bakımından zengin Roma camı oldukça kararlıdır. Sedef oluşumu (iridescence) genellikle ince bir yüzey tabakası olarak görülmektedir. Daha az dayanıklı camlar için, bu tabaka birkaç yüz mikrometreye ulaşabilmektedir. Eğer böyle birkaç ince tabaka üst üste binerse, "sedefli bir görünüm" (gökkuşağı benzeri renklenme) sergileyebilmektedir. Bu bozulma türü, literatürde irizasyon, yanardönerlik, gökkuşağı rengi bozulma, soğan kabuğu oluşumu gibi farklı isimler ile yer almaktadır. Bu çalışmada, bu bozulma türü için sedef oluşumu terimi kullanılmaktadır.

Ortamdaki su ve biriken nem, camın bozulmasını başlatan ve sürdüren en önemli faktördür. Camın yapısında bulunan, ergitici olarak cam harmanına eklenen sodyum (Na_2O) ve potasyum (K_2O) iyonları ortamda su ve nem bulunması durumunda, su ve nemdeki hidrojen iyonları ile yer değiştirerek sodyum veya potasyum hidroksitleri oluşmaktadır. Bununla birlikte, camın elektriksel nötrlüğünün korunması için, sudaki hidronyum iyonlarının (H_3O^+) bünyesindeki pozitif yüklü hidrojen iyonları, cam ağından kimyasal olarak çözünen alkali iyonları ile yer değiştirir. Bu işlem bazen bir jel tabakası olarak adlandırılan, silis bakımından zengin hidratlı bir yüzey tabakası oluşturur⁷³.

Alkali kaybının fiziksel etkileri, arkeolojik cam yüzeyinde oluşan sedefli tabakalarda görülebilir (Şekil 3.3). Onlarca yıllık çözünme veya alkali kaybından sonra, farklı silis tabakaları geride bırakılır. Yüzeyde birkaç mikrometre ince gözenekli jel tabakası ile sonuçlanan kimyasal çözünme nedeniyle sedefli bir görünüm

⁷³ Caner-Saltık, **a.g.e.**, s. 58; Mäder vd., "Non-destructive evaluation of glass corrosion states", **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, 136, 1998, s. 864; Başaran, **Pişmiş Toprak ve Cam Eserlerin Konservasyon/Restorasyonu**, İstanbul, Graphis Yayınları, 2000, s. 75.

oluşmaktadır. Birbirine neredeyse paralel olan ardışık çoklu katmanlar ışığın camdan doğrudan iletimine müdahale ederek yüzeyde sedefli bir görünüme neden olmaktadır. Bu silis tabakaları genellikle son derece incedir, neredeyse mikroskopik kalınlıktadır, ancak çok sayıda olabilmektedir. Uzun süreli alkali kaybı ve silis tabakalarının birikmesi, silisin bazen yarım milimetreye varan kalınlıkta birikmesine neden olabilmektedir. Tabakalar düzgün ve sıkı olabilmekte veya pul pul, kırılğan ve süreksiz olabilmektedir. Bazen tek başına bazen de diğer bozulma türleri ile ilişkili olarak, cam yüzeyinde altın rengi, mor, pembe gibi renklerin ışık girişimi (light interference) sonucunda alacalı bir görünüm olarak ortaya çıkmaktadır. Çoğu durumda, bu tabakanın camın yüzeyine tutunması zayıftır ve bu nedenle bir el dokunuşu ile yüzeyden bağı kopabilmektedir. Bazen de kalın bir tabaka halinde kavlanarak, camı tamamen çökmesine neden olabilecek şekilde zayıflatmaktadır⁷⁴. Sedef oluşumunun arkeolojik buluntularda, topraktaki metallerin toprak altındaki cam yüzeyine yayılması sonucunda da oluşabileceği belirtilmektedir⁷⁵.



Şekil 3.3: Cam yüzeyinde görülen sedef oluşumu

Cam yüzeyinde oluşan jel (hidrat) tabakasının, nem oranında azalma olması durumunda, su içeriği değişmektedir. Nem oranındaki azalma ile hacmin küçülmesi

⁷⁴ Gueli vd., “Weathering and Deterioration of Archeological Glasses from Late Roman Sicily”, **International Journal of Applied Glass Science**, 11, 2020, s. 218-219; Davison, **a.g.e.**, s. 175, 183; Koob, **a.g.e.**, 14; Silvestri vd., **a.g.e.**, 2008a, s. 1346.

⁷⁵ Baykan, **a.g.e.**, s. 52.

tabakanın büzülmesine neden olmaktadır.     nen tabaka, b z lmeyen,     nmemi  alt tabakadaki cam yapısına bağlandığı için,     nm   tabaka ve camın ara yüzünde bir gerilim oluşmaktadır. Bu gerilimler,     nen tabakanın alt tabakadan ayrılmasına neden olmakta, bu da cam yüzeyinde kraterleri bırakmaktadır. Bu kraterler önemli miktarda      saçılımına neden olabilmektedir ve camın optik görünümünü ciddi şekilde bozabilmektedir⁷⁶. Böylece, sırayla ince çok katlı tabakaların oluşumunu tetikleyen çatlaklara ve ayrılmalara neden olan gerilmeler oluşmaktadır. Bu katmanlar, bozulmuş cam nesnelerin yüzeyi üzerinde iyi bilinen yanard nerlik etkisi yaratan      girişimine neden olmaktadır⁷⁷.

Arkeolojik cam objeler dışında, bilinçli olarak cam objelerde bu sedefli yüzeylerin elde edilmesi için 1881 yılında Louis Comfort Tiffany tarafından bir teknik geliştirilmiş ve patenti alınmıştır. Bununla birlikte yanardönerli bir cam sanatı oluşmaya ba lamakta ve müzeler ve koleksiyoncular tarafından da yoğun ilgi görmeye ba lamaktadır. Bu tür camlarda, tahribatsız analiz yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Loetz tarafından yapılan bir cam kabın ( ekil 3.4) benzer içeriğine sahip enine kesitli bir parçasının analizi yapılmıştır. Cam 2,5-3 mm kalınlığındadır ve üzeri ise 360-430  m sedefli bir tabaka ile kaplanmıştır. SEM-EDX ve XRF analizlerinden elde edilen bilgilerde, camda ana elementlerin silisyum, potasyum, kalsiyum ve oksijen olduğu; sedefli tabakada ise gümüş ve fazla miktarda kurşun bulunduğu ortaya çıkmıştır. Araştırılan  oğu Tiffany camında, kurşun ve gümüş camda da sedefli tabakadaki gibi oldukça yüksek derişimlerde bulunduğu için SEM analizi ile bu tabakalarda analiz yapılmasının en doğru yol olduğu belirtilmektedir⁷⁸.

⁷⁶ Shelby, **a.g.e.**, s. 180.

⁷⁷ Janssens, **a.g.e.**, s. 18-19.

⁷⁸ Mantler ve Schreiner, "X-Ray Fluorescence Spectrometry in Art and Archaeology", **X-Ray Spectrometry**, 29 (1), 2000, s. 14-15; Davison, **a.g.e.**, s. 115,  zg m  , ** ağlar Boyu Cam Tasarımı**,  stanbul, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 2013, s. 67.



Şekil 3.4: Loetz tarafından üretilen Art Nouveau sedefli (yanardönerli) cam eser
(Mantler ve Schreiner, 2000: 15)

3.2. Matlaşma

Matlaşma (dulling), çiziklerin veya lekelerin neden olduğu bulanıklıktan oldukça farklı olarak orijinal parlaklık ve şeffaflığını yitiren ve yarı saydam hale gelen camdaki bozulma türlerinden birisidir (Şekil 3.5). Yukarıda da bahsedildiği gibi su ve/veya neme maruz kalan bir cam yüzeyinde, camdaki hareketli iyonlar ve adsorbe edilmiş su molekülleri arasında iyon değişimi meydana gelmektedir. Camdan yayılan iyonlar örneğin yüzeyinde kalmakta ve atmosfer ile reaksiyona girmektedir. Başlangıçta, reaksiyonlar ile yüzeyde sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) oluşmaktadır. Bu hidroksitler, karbonat oluşturmak için atmosferde karbondioksit ile reaksiyona girmektedir. Camın yüzeyinde ayrı parçacıklar olarak oluşan karbonatlar ışığı dağıtmakta ve buzlu bir görünüm vermektedir. Bu parçacıklar cam yüzeye sıkıca bağlandığından, bunları uzaklaştırmaya çalışmak yüzeye kalıcı hasar verebilmektedir⁷⁹. Ayrıca camın yüzeyinde oluşan sedef oluşumu şeklindeki bozulma ile de yakından ilişkilidir.

⁷⁹ Shelby, a.g.e., s. 179



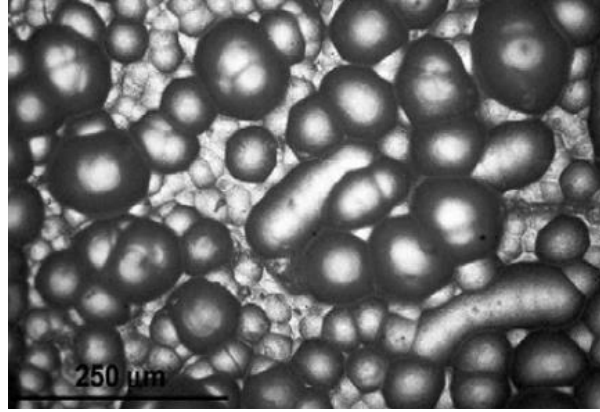
Şekil 3.5: Camda matlaşma örneği (Caner-Saltık, 2012: 59)

Na_2O veya K_2O ile suyun tepkimeye girmesi ile oluşan hidroksitlerin atmosferdeki karbondioksit ile reaksiyonu sonucu oluşan karbonatların ortamdaki nem ile hacminin artması sonucunda (Şekil 3.6) CaO oranı düşük, Na_2O oranı yüksek camların iç baskı nedeniyle yüzeyi yapraklanabilmektedir (Şekil 3.7). Yüzeydeki yapraklanmanın kısmen ya da bir bütün halinde dökülmesi de cam yüzeyin matlaşmasına neden olmaktadır⁸⁰.

Camın çözünmesi, sadece mikroskop altında tespit edilebilen küçük noktalar veya kısa çatlaklarla camın mat görünmesine yol açabilmektedir. Camın kalınlığı, bozulmanın çok ileri derecede olması durumunda zamanla azalabilmekte ve camsı çekirdek tamamen çökebilmektedir⁸¹.

⁸⁰ Baykan, **a.g.e.**, s. 53-54.

⁸¹ Römich, **a.g.e.**, s. 165.



Şekil 3.6: Yapraklanmaya neden olan karbonatların optik mikroskop görüntüsü
(Dal Bianco vd., 2004: 94)



Şekil 3.7: Cam yüzeyinde birkaç tabakadan oluşan yapraklanma
(Lampropoulos vd., 2004: 44)

Çok ince bir çatlak filminin oluşması sonucu da ortaya çıkabilen matlaşma kolayca ayırt edilebilmektedir. Yüksek bağıl nem ve yüksek sıcaklık ile bunların ani değişimlerinin yarattığı sonuçlar gibi ortam koşullarının da cam eserlerde matlaşmaya neden olduğu bilinmektedir. Bazı camlarda tüm yüzeyde görülürken bazı camlarda ise yer yer matlaşma oluşabilmektedir⁸².

⁸² Baykan, **a.g.e.**, s. 52, 53; Caner-Saltık, **a.g.e.**, s. 58; Davison, **a.g.e.**, s. 183.

3.3. Süt Beyazı-Mine Aşınma

Camın bozulmasını etkileyen başlıca faktörlerden olan nem ya da suyun etkisi ile sedef oluşumu başlığında bahsedilen şekilde oluşan sodyum hidroksit veya potasyum hidroksitin atmosferdeki karbondioksit ile tepkimeye girmesi cam yüzeyinde karbonatları oluşturmakta ve bu da nemin hızlıca camın bünyesine çekilmesine neden olmaktadır. CaO oranı yüksek Na₂O oranı düşük camlar nemi emdiğinde, süt beyazı/mine aşınma (milky or enamel-like weathering) adı verilen bozulma meydana gelmektedir. Genellikle opak beyazdır, ancak açık kahverengi veya benekli kahverengimsi siyah renkli olabilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Camda süt beyazı/mine aşınma oluşumu

Başlangıç aşamasında, sadece küçük lekeler veya beyaz çizgiler olarak görüldüğü zaman, süt beyazı aşınma olarak adlandırılmaktadır. Bozulma alanlarını temsil eden noktalar, kademeli olarak camın gövdesinde ilerlemektedir. Camda çukurlar bırakarak küçük kristaller pul pul dökülmektedir. Öte yandan, süt beyazı aşınma parçaları, cam yüzeyi üzerinde kalabilmekte ve gelişebilmekte, bu da kalınlığı birkaç mikrometreden milimetreye kadar değişen tabakalar oluşturabilmektedir. En gelişmiş formu, mine gibi aşınma, ileri bir aşamada bir nesnenin tüm yüzeyinin büyük bir kısmı üzerinde, kahverengimsi siyah renklerde kalın bir kaplama olarak

görülmektedir. Oldukça bozulduğunda, az tanınabilir veya hiç tanınamayan bir hal alan camsı çekirdek çökebilmektedir (Şekil 3.9)⁸³. Çok ileri derece bozulmalarda kabuklanmanın kalınlığı 1 milimetreyi geçebilmektedir⁸⁴.



Şekil 3.9: İleri derecede süt beyazı- mine aşınma görülen bir camın kesitinden görüntü (Davison, 2006: 185)

Cam yüzeyin kararması camda bulunan demir ve mangan iyonlarının oksitlenmesinden kaynaklanabilmektedir ve camdaki kararma siyah kabuk oluşumu olarak da adlandırılmaktadır⁸⁵. Bozulma tabakalarında Mn bakımından zengin bölgelerin meydana gelmesi toprak altı değişimleri için karakteristik iken sualtı ortamlarında görülmemektedir⁸⁶. Arkeolojik camların yüzeyleri kahverengi benek veya koyu lekeler ile mat ve çukurlu görünebilmektedir. Süt beyazı-mine aşınma tabakaları camı tamamen opak bir objeye dönüştürebilmektedir. Yüzey pürüzsüz

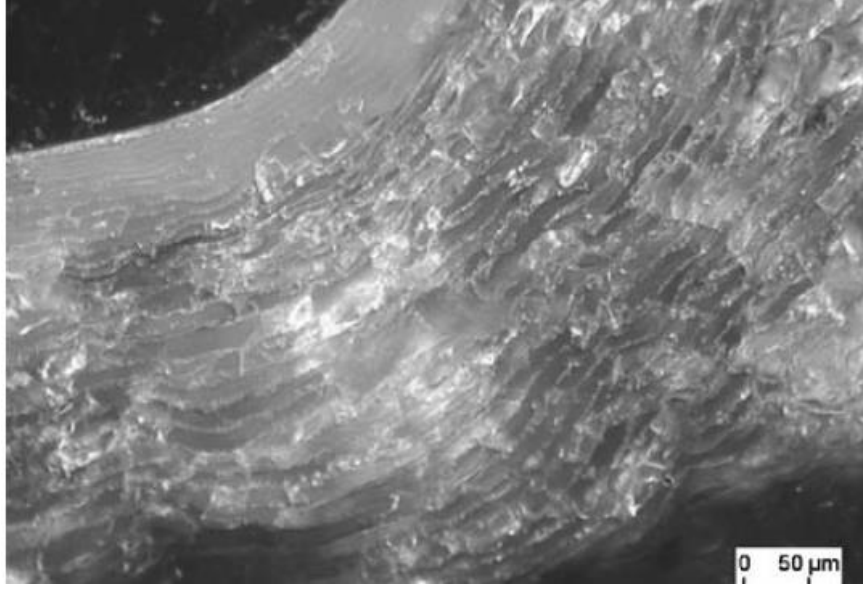
⁸³ Davison, **a.g.e.**, s. 184-185.

⁸⁴ Caner-Saltık, **a.g.e.**, s. 60.

⁸⁵ Watkinson vd., “Staining of Archaeological Glass from Manganese-Rich Environments”, **Archaeometry**, 47 (1), 2005, s. 71.

⁸⁶ Silvestri vd., “Archaeological Glass Alteration Products in Marine and Land-Based Environments: Morphological, Chemical and Microtextural Characterization”, **Journal of Non-Crystalline Solids**, 351, 2005, s. 1345.

görünmesine rağmen, bozulma tabakası kalın olmaktadır. Çökeltme (precipitation) işlemlerinden dolayı yapraklı bir yapı sergilemektedir. Bu yüzey tabakası içindeki kimyasal bileşimdeki dalgalanmalar bir enine kesitte görüntülenebilmektedir (Şekil 3.10). Arkeolojik camların bozulma mekanizması, topraktan gelen geçiş metal iyonlarının cama geçmesinden dolayı karmaşıktır⁸⁷.



Şekil 3.10: Süt beyazı-mine aşınma görülen cam örneğin enine kesit görüntüsü (Römich, 2006: 169)

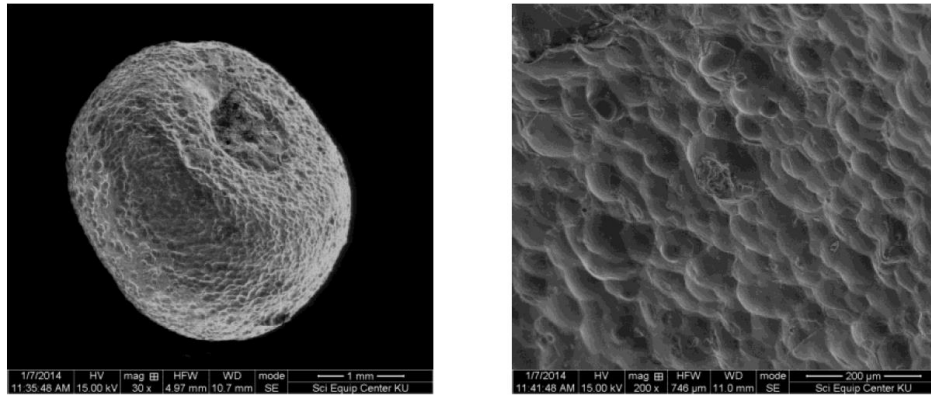
3.4. Çukur Oluşumu

Cam harmanının yetersiz karıştırılması sonucu bir arada kalan ergiticiler noktasal yoğunluklar oluşturabilir ve bu noktasal yoğunluklar kimyasal çözünme sonrasında çukur oluşumuna (pitting) neden olabilmektedir (Şekil 3.11)⁸⁸. Çukurlaşma, bozulma yüzey üzerinde ya da hemen altında belirli bir noktada başladığında, bazen başlangıç noktasının etrafında eş merkezli daireler oluşturarak ortaya çıkabilmektedir. Bozulma tabakası yüzeyden ayrıldığında, hasar görmemiş camın yüzeyinde bir delik veya çukur kalabilmektedir. Çukurlaşma genellikle bir

⁸⁷ Römich, **a.g.e.**, s. 168, 169.

⁸⁸ Lampropoulos vd., “Study and Comparisons Between Ploughing and Other Forms of Corrosion of Greek Archaeological Glass”, **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 4 (1), 2004, s. 36-37.

parçanın yüzeyi boyunca tek tek, eşzamanlı olarak ortaya çıkmaktadır⁸⁹. Cam yüzeyinin tamamında veya bir bölümünde oluşan çukurun boyutu çok küçük (0,1-0,2 mm) olabildiği gibi (Şekil 3.12), çapı 5 mm olan beyaz birikimli veya birikimsiz büyük çukur oluşumları (Şekil 3.13) da görülebilmektedir⁹⁰. Noktasal yoğunlukların daha büyük olduğu durumlarda ise yarık oluşumu şeklinde bir bozulma ortaya çıkmaktadır⁹¹. Bu bozulma türü, literatürde oyuklanma olarak da yer almaktadır.



Şekil 3.11: Cam boncuk üzerinde yer alan çukur oluşumlarının SEM görüntüsü
(Won-In vd., 2017: 592)



Şekil 3.12: Çok küçük (0.1-0.2 mm) çukur oluşumu



Şekil 3.13: Beyaz birikimli büyük (<5 mm) çukur oluşumu

(Caner-Saltık, 2012: 35)

⁸⁹ Van Giffen ve Koob, **a.g.e.**, s. 2.

⁹⁰ Caner-Saltık, **a.g.e.**, s. 58.

⁹¹ Baykan, **a.g.e.**, s. 57.

3.5. Yarık Oluşumu

Yarık oluşumunu (ploughing) etkileyen başlıca etmenler nem, tuz ve ergiticilerin miktarıdır. Çukur oluşumu şeklindeki bozulmanın gelişimi veya çukurların birleşimi olarak ortaya çıkar ve birbirinden bağımsız çizgiler veya birbirine bağlı kanallar şeklinde görülebilir. Görünüş ve kimyasal içeriğindeki değişiklik çukur oluşumu ile benzerlik gösterirken yarık oluşumunda yarıkların içinde neredeyse tamamen yok olan Na_2O içeriğindeki kayıp daha fazladır. Na_2O oranının yarık oluşumu görülen camlarda daha ciddi bir şekilde çözüldüğü, diğer ağ değiştiricilerin ise çok değişmediği anlaşılmaktadır. Çukur oluşumu ve yarık oluşumunun aynı anda görüldüğü camlarda Na_2O içeriğindeki azalmanın yarık içerisinde daha fazla olduğu görülmektedir. Kanalin merkezinde silisin azalmış olduğu da görülebilir. Bunun nedeni, bozulmuş malzemenin kademeli olarak çözünmesidir⁹². Çukur oluşumu ve yarık oluşumu görülen camlarda yapılan analizlerde oksitlerin derişimlerdeki değişikliklerin gözlemlenebildiği tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 3.1).

	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 4		
Oksitler	Yüzey	Yarık Oluşumu	Yüzey	Yarık Oluşumu	Yüzey	Yarık Oluşumu	Yüzey	Yarık Oluşumu	Çukur Oluşumu
Al_2O_3	2.16	12.16	2.17	11.71	2.05	12.44	2.05	12.82	11.85
CaO	6.41	8.91	7.12	5.33	9.40	3.85	6.18	5.81	5.38
FeO	0.39	0.11	0.41	0.41	0.39	0.31	0.94	1.01	0.61
K_2O	1.45	1.32	0.99	0.25	0.69	0.31	1.34	1.47	1.78
MgO	0.58	0.67	0.36	0.43	0.57	0.84	0.64	0.42	0.41
Na_2O	15.82	1.18	16.32	1.23	14.22	0.81	16.23	0.79	1.96
SiO_2	73.18	75.63	72.61	80.63	72.67	80.68	72.62	77.69	78.01

	Örnek 5		Örnek 6		Örnek 7		
Oksitler	Yüzey	Yarık Oluşumu	Yüzey	Yarık Oluşumu	Yüzey	Yarık Oluşumu	Çukur Oluşumu
Al_2O_3	1.82	12.49	1.84	12.13	2.16	12.66	12.42
CaO	5.78	6.20	7.48	7.83	8.24	4.13	3.96
FeO	0.35	0.30	0.39	0.28	0.67	1.75	0.62
K_2O	1.03	0.63	1.16	0.76	1.35	0.70	1.25
MgO	0.58	0.69	0.25	0.44	0.41	0.51	0.46
Na_2O	15.36	0.43	16.51	0.98	14.93	0.44	1.79
SiO_2	75.08	79.26	72.37	77.58	72.85	79.81	79.50

Tablo 3.1: Yarık oluşumu ve çukur oluşumu görülen camların Na_2O içeriğindeki değişiklik (Lampropoulos vd., 2004)

⁹² Lampropoulos vd., a.g.e., s. 38- 41; Baykan, a.g.e., s. 58.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ÖRNEKLER ve ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

4.1. Belgeleme Yöntemleri

Enez kazısı “Su Terazisi” ve “Kral Kızı” kazı alanlarından elde edilen ve Roma dönemine tarihlenen 31 etütlük örnek üzerinde (Şekil 4.1), cam eserlerin element içeriklerinin tespit edilmesi ve mevcut bozulmaların element içerikleri ile ilişkilendirilmesi için arkeometrik yöntemler ile çalışmalar yapılmıştır. Seçilen örneklerin; laboratuvar ortamında verilen kodlarının, objenin hangi kısmına ait olduğuna dair açıklamaların, buluntu yeri ve buluntuların ele geçtiği yıla dair bilgilerin yer aldığı bir tablo oluşturularak çalışılmaya başlanmıştır. Tabloda yer alan “E” kısaltması Enez Kazısı’nı, “ST” ve “KK” ise, Su Terazisi ve Kral Kızı kazı alanlarını ifade etmektedir. “E-”den sonra gelen sayı, buluntu yılını, “ST-”den sonra gelen sayı ise Su Terazisi kazı alanının farklı açma numaralarını ifade etmektedir. 14 örnek Kral Kızı kazı alanından, 15 örnek Su Terazisi kazı alanının 10 farklı açmasından seçilmiştir. Su Terazisi kazı alanından alınan örnekler 2008-2011, 2014, 2016 yıllarında ve Kral Kızı kazı alanından örnekler 2017 yılında ele geçen etütlük cam örneklerdir. Örnekler bir kabın ağız, dip ve kulp parçalarından, cam boncuk, kapak ve amorf durumdaki parçalardan oluşmaktadır (Tablo 4.1).

Bozulmaların Görsel İncelemeleri: Analiz için seçilen örnekler, üzerinde yoğun bozulma tabakası gözlemlenen parçalar arasından seçilmiş olup, farklı bozulma türlerinin görüldüğü parçaların örnek olarak alınmasına dikkat edilmiştir. Örnekler üzerinde yer alan bozulmaların görsel tanımlaması, bozulma dereceleri dikkate alınarak 0’dan 4’e kadar “0: Yok; 1: Çok az; 2: Az; 3: Fazla; 4: Çok ileri derecede” şeklinde derecelendirilmiştir. “0” olarak numaralandırılan örnekte bozulmanın görülmediğini ifade edilirken, “4” olarak numaralandırılan örnekte çok ileri derecede bozulmanın görüldüğü ifade edilmektedir. Bu bilgilerin yer aldığı tablo (Tablo 5.1) 5. bölümde tartışılmaktadır.

Örnekler	Açıklamalar	Buluntu Yılı ve Yeri
EET-G1	Unguentarium parçası	E-10/ ST-10
EET-G2	Unguentarium parçası	E-10/ ST-11
EET-G3	Unguentarium parçası (dip)	E-14/ ST-38
EET-G4	Unguentarium parçası	-
EET-G5	Kaide parçası	E-08/ ST-1
EET-G6	Kaide parçası	E- 09/ ST-4
EET-G7	Kaide parçası	E-09/ ST-5
EET-G8	Kaide	E-11/ ST-16
EET-G9	Ağız parçası	E-14/ ST-38
EET-G10	Ağız parçası	E- 16-ST-41
EET-G12	Ağız parçası	E-11/ ST-13
EET-G13	Cam parçası	-
EET-G14	Cam parçası	E-10/ST-7
EET-G15	Cam parçası	E-09/ ST-4
EET-G16	Cam parçası	E-08/ ST-1
EET-G17	Cam parçası	E-08/ ST-1
EET-G18	Cam boncuk	E-14/ ST-38
EET-G19	Cam kulp	E-17/ KK
EET-G20	Cam kulp	E-17/ KK
EET-G21	Cam kulp	E-17/ KK
EET-G22	Cam kulp	E-17/ KK
EET-G23	Cam ağız parçası	E-17/ KK
EET-G24	Cam ağız parçası	E-17/ KK
EET-G25	Cam kapak parçası	E-17/ KK
EET-G26	Cam dip parçası	E-17/ KK
EET-G27	Cam dip parçası	E-17/ KK
EET-G28	Unguentarium parçası	E-17/ KK
EET-G29	Unguentarium parçası	E-17/ KK
EET-G30	Cam obje	E-17/ KK
EET-G31	Kaide	E-17/ KK
EET-G32	Kaide	E-17/ KK

Tablo 4.1: Enez cam örneklerinin açıklamaları



EET - G1



EET - G2



EET - G3



EET - G4



EET - G5



EET - G6

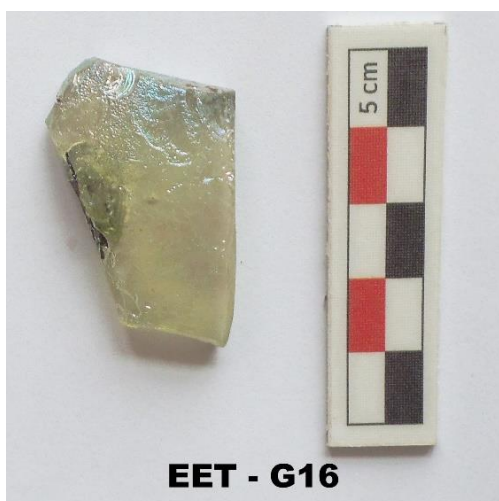




EET - G14



EET - G15



EET - G16



EET - G17



EET - G18



EET - G19



EET - G20



EET - G21



EET - G22



EET - G23



EET - G24



EET - G25



EET - G26



EET - G27



EET - G28



EET - G29



EET - G30



EET - G31



Şekil 4.1: Enez kazısı cam örnekleri

Kodlama ve Kalınlık Ölçümü: Enez kazısı laboratuvarından seçilen örneklerin ölçekli fotoğrafı çekilerek ön belgeleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4.1). Kazı laboratuvarından, İstanbul Üniversitesi Gemi Konservasyon ve Rekonstrüksiyon Laboratuvarı'na getirildikten sonra cam örnekler kodlamada EET ön kodu ve ardından cam için “G” harfi kullanılarak kodlanmıştır (Tablo 4.1). EET, “Edirne Enez Kazısı Tezi” nden türetilmiş bir ön kod olup, cam örnekleri diğer malzemelerden ayırt etmek için “Glass” kelimesinin baş harfinin kullanılması ile kodlama gerçekleştirilmiştir. EET-G1 örneği 1 numaralı cam örneği ifade etmektedir. Hem bozulmalarının hem de genel durumunun belgelenmesi amacı ile verilen kodlar ile birlikte tekrar ölçekli fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 4.2). Cam örneklerin kalınlıkları, virgülden sonra 3 haneli ölçüm hassasiyetindeki dijital kalınlık ölçer (digital thicknessmeter) ile belirlenmiştir (Şekil 4.3).

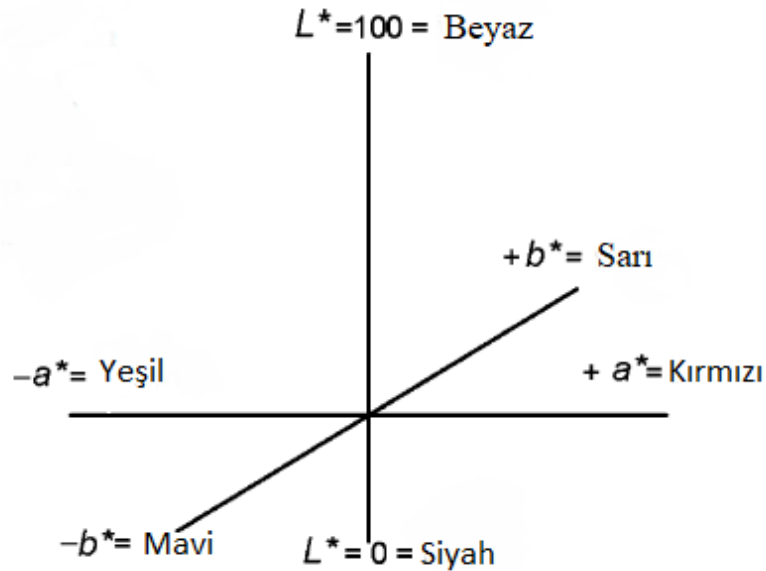


Şekil 4.2: Enez cam örneklerinin belgeleme çalışmaları



Şekil 4.3: Enez cam örneklerinin kalınlık ölçümü

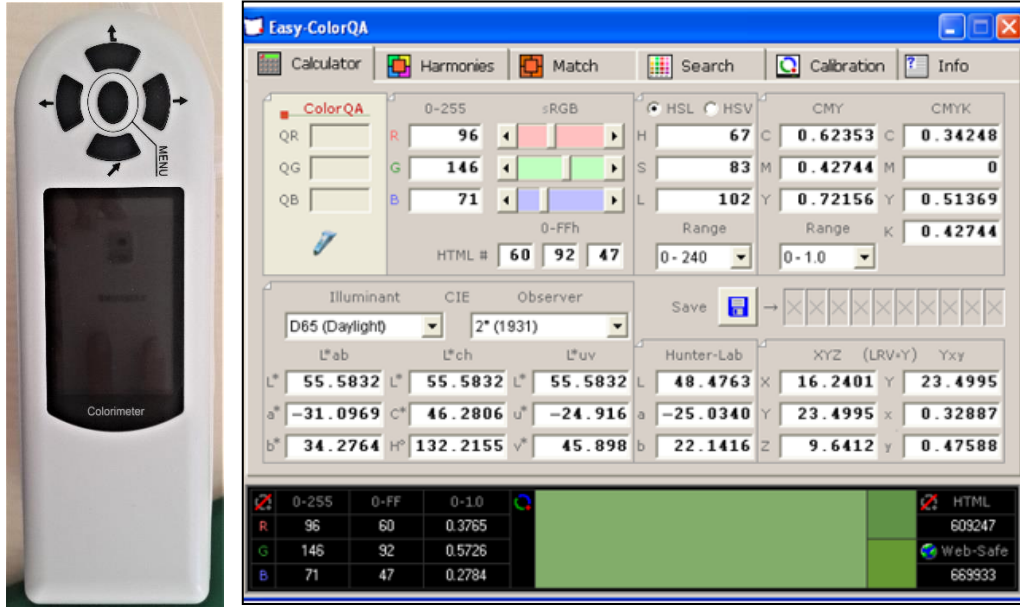
Renk Ölçümü: Cam hamurlarının görünen rengini belirlemek için renk ölçümü (kromametrik analiz) yapılmıştır. Bu yöntem ile renk ölçümü, standart CIE $L^*a^*b^*$ (Commission Internationale de L' Eclairage) renk sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu sistemde 0 ile 100 değerleri arasında değişen (beyaz: 100, siyah: 0) “L” değeri rengin açıklık/koyuluk değerini göstermektedir. “+a” değeri (0 ila +60 arası) kırmızı yoğunluğunu, “-a” değeri (0 ila -60 arası) yeşil yoğunluğunu, “+b” değeri (0 ila +60 arası) sarı yoğunluğunu ve “-b” değeri (0 ila -60 arası) mavi yoğunluğunu göstermektedir (Şekil 4.4)⁹³. Analizde MesuLab marka NH310 model ColorQA Pro System III programı içeren portatif bir kromametre kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.4: CIE $L^*a^*b^*$ renk sistemi diyagramı

(Ohno, 2007: 86)

⁹³ Ohno, “Spectral Color Measurement”, **Colorimetry: Understanding the CIE System**, Ed. J. Schanda, Bölüm 5., New York, Wiley Publication, 2007, s. 101-132; Akyol ve Kadioğlu, “Tekfur Sarayı Cam Buluntuları Arkeometrik Çalışmaları”, **Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi-TÜBA-KED** 2015, 13, 2016, s. 29.



Şekil 4.5: Portatif kromametre ve ColorQA Pro System III programı
(Akyol ve Erten, 2016: 37)

Örneklerin Mikroskop Altı İncelemeleri: Camın üretim teknolojisi hakkında bilgi veren habbeler yani cam hamuru içerisinde hapsolan hava boşlukları, hem camın mekanik dayanımını azaltmakta hem de optik görüntü hatalarına neden olmaktadır. Antik çağlarda da sık sık karşılaşılan bu sorunun nedeni cam ergitme fırınlarında 1200°C ısının üzerine çıkılamamasıdır. Afinyasyon, yani hava boşluklarının giderilmesi işlemi için, günümüzde de olduğu gibi Antik çağlarda da antimon (Sb_2O_3) oksidin kullanıldığı yapılan çalışmalarda belirlenmiştir⁹⁴. Cam örneklerin yapım tekniklerinin belirlenebilmesi amacıyla habbelerin yanı sıra bozulma ürünlerinin Optika marka optik mikroskop ile görüntülemeleri yapılmıştır (Şekil 4.6).

Başlangıçta cam hamurunda bulunan habbeler daireselken, yapım teknikleri ile habbelerin şekilleri değişiklik göstermektedir. Antik dönemde camlar, kalıp ya da üfleme teknikleri kullanılarak üretilmekteydi. Kalıp ya da üfleme işlemleri sırasında, cam hamurunda bulunan habbeler daireselken, gittikçe uzayan elips şekilleri alabilmektedir. Serbest üfleme tekniğinde, habbeler merkezden dışa doğru gittikçe

⁹⁴ Baykan ve Baykan, **a.g.e.**, s. 4.

uzamaktadır⁹⁵. Örneklerin optik mikroskop görüntüleri, analiz sonuçları kısmında açıklanmaktadır.



Şekil 4.6: Örneklerin optik mikroskop incelemeleri

4.2. Analiz Yöntemleri

4.2.1. X-Işını Floresans (XRF) Analizi

X-Işını Floresans (XRF) analizi, malzemelerin kimyasal özelliklerinin nicel ve nitel tanımlanmasında sıkça kullanılan bir analiz yöntemidir. XRF ile temel ($>1\%$), az ($\sim 1\%$) ve eser elementler ($<1\%$) nicel ve nitel olarak tespit edilebilmektedir. XRF tekniğinde, bir atom, bir iç kabukta iyonlaştığında, dış kabuklardan bir dizi elektron geçişi ile gevşetilir, böylece karakteristik fotonlar yayılır. Bir numunedeki bu fotonların enerjisinin ölçülmesi nitel analize izin verirken, foton sayısının saptanması nicel analize izin vermektedir. Modern ekipmanlarla, sodyum (Na)'dan uranyum (U)'a

⁹⁵ Akyol vd., “Arkeometrik Çalışmaların Işığında Elaiussa Sebaste Kazısı Camlarının (2002-2011) Karakterizasyonu”, **Kaunos/ Kbid Toplantıları 2: Anadolu Antik Cam Araştırmaları Sempozyumu (17-20 Haziran 2010)**, Bilgin Kültür Sanat Yayınları, 2013, s. 200.

kadar tüm elementler prensipte analiz edilebilir ve yaklaşık 50 keV ila 100 keV arasında bir enerji bölgesini kapsar⁹⁶.

X-ışınlarının düşük penetrasyon derinliği ve iyonlaştırıcı radyasyon kullanımı nedeniyle ölçülen numunenin çok ince tabakası, bu tekniğin uygulanmasında bir sınır oluşturmuştur. Doğru bir değerlendirme için ve tüm hacmi temsil eden numune homojen olmalıdır. Bu nedenle, heterojen malzemeyi homojen hale getirmek için örneğin tahrip edilmesi gerekir. Katı ve heterojen örnekler ezilir veya öğütülür ve preslenerek pelet haline getirilir. Ek olarak, homojen katı numuneler sadece yüzeyin parlatılmasıyla hazırlanabilir. Sıvı olanlar için ise kaplar yeterlidir. Genel olarak, camın bozulması, yüzeydeki iyon değişim süreçlerine dayanır, bu da çevredeki ortamın atmosferik kirleticiler veya toprak bileşenleri ile reaksiyona girerek tuzların oluşumuna yol açar. Genel olarak, bozulmuş camlarda üç farklı tabaka tanımlanabilir: bozulmamış cam yapısı, hidratlı bir silis ağı tarafından oluşan jel tabakası ve harici olarak oluşan bozulma tuzları tabakasıdır⁹⁷.

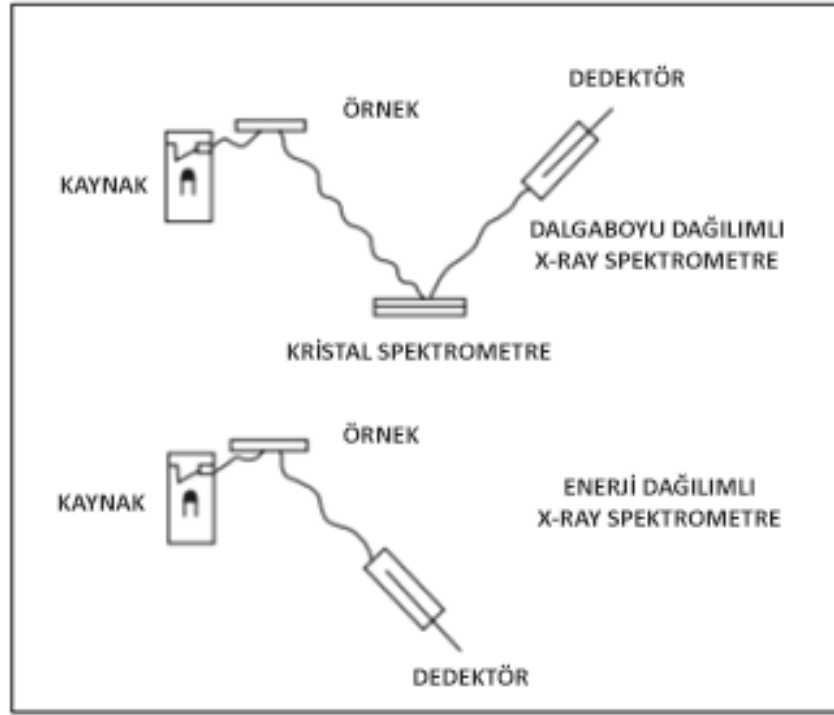
XRF, elementlerin karakteristik K_{α} veya L çizgilerini analiz eder. K çizgileri ile düşük atom sayısına sahip elementler belirlenirken, daha yüksek atom sayısına sahip elementler ise genellikle L çizgileri kullanılarak belirlenir. X-ışınları, elektromanyetik spektrumda morötesi ışınlardan daha yüksek enerji bölgesinde bulunur. Örnek yüzeyine X-ışını tüpünden yüksek enerjili bir X-ışını kaynağı ışınlanır. Bunun sonucunda, elementlerde atom çekirdeğinin en yakınındaki K ve L katmanlarındaki elektronlar atomdan çıkarılır. Ardından üst katmanlarda bulunan elektronlar enerji kaybederek oluşan boşluğu doldurur ve kaybedilen enerji yine bir X-ışını olarak salınır. Salınan her X-ışınının enerjisi, analit elemente özgüdür, çünkü her element farklı elektron yapısındadır. Salınan ışının enerjisi nitel, şiddeti ise nicel analiz için kullanılır. Tespit iki tip X-ışını spektrometresi ile yapılabilir: X-ışınlarının dalga boylarını kullanan dalga boyu dağılımlı spektrometreler (WD-XRF veya WDS) veya

⁹⁶ Mantler ve Schreiner, "X-Ray Analysis of Objects of Art and Archaeology", **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 247 (3), 2001, s. 635; Mantler ve Schreiner, **a.g.e.**, 2000, s. 3.

⁹⁷ Carmona vd., "Analysis of Corroded Glasses By Laser Induced Breakdown Spectroscopy", **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, 60 (7-8), 2005, s. 1156; Akyol vd., "İstanbul Yeni Cami Hünkar Kasrı Camları Üzerine Arkeometrik Çalışmalar", **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştay-Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar Bildiri Kitabı (6-8 Ekim 2011)**, Ankara, 2012, s. 165.

enerji özelliklerini kullanan enerji dağılımlı spektrometreler (ED-XRF veya EDS). X-ışını kaynağı bir X-ışını tüpü veya radyoaktif izotop olabilir. Bu enstrümanların çalışma prensipleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. WDXRF ile X-ışını enerjileri, kırınım kristalleri ile spesifik dalga boylarına göre ayrılır. İlgili yoğunluklar daha sonra tek tek orantılı sayaçlar ile ölçülür. Örnek uyarımı X-ışını tüpü ile yapılır. ED-XRF ile karakteristik floresans, düşük sıcaklıkta, katı hal detektörü veya gaz dolu bir orantı sayacı ile tespit edilir ve X-ışını-yoğunluğu enerjisinin bir XRF spektrumunu üretmek için elektronik olarak sıralanır. ED-XRF'te örnek uyarımı düşük seviyeli bir radyoizotop kaynağı ile yapılır. ED-XRF aynı anda geniş bir dalga boyu veya enerji spektrumu üretirken, WD-XRF bir seferde yalnızca tek bir dalga boyunun X-ışınlarını ölçer. ED-XRF ile WD-XRF karşılaştırıldığında, ED-XRF daha yüksek çözünürlük, eser elementler için yüksek hassasiyet ve düşük atom numarasına sahip elementlerin tespitinde hassaslık gibi özelliklere sahiptir, WD-XRF ise daha uzun çalışma süresine, karmaşık tasarım ve daha yüksek maliyete sahiptir. Temel parametreler gibi matris etkilerini düzeltmek için Polarize Enerji Dağılımlı X-ışını Floresansı (PED-XRF) kullanılmaktadır⁹⁸.

⁹⁸ Liptak, "Elemental Monitors", **Instrument Engineers' Handbook, Process Measurement and Analysis**, Volume 1, London, New York, Washington, 2003, s. 1345; Ataman, "Arkeometride Spektrometri Yöntemleri", **Türkiye'de Arkeometrinin Ulu Çınarları, Prof. Dr. Ay Melek Özer ve Prof. Dr. Şahinde Demirci'ye Armağan**, Homer Kitabevi, İstanbul, 2012, s. 91; Mantler ve Schiner, **a.g.e**, 2000, s. 3-4; Kramar, "X-Ray Fluorescence Spectrometers", **Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry**, Elsevier, 1999, s. 2467.

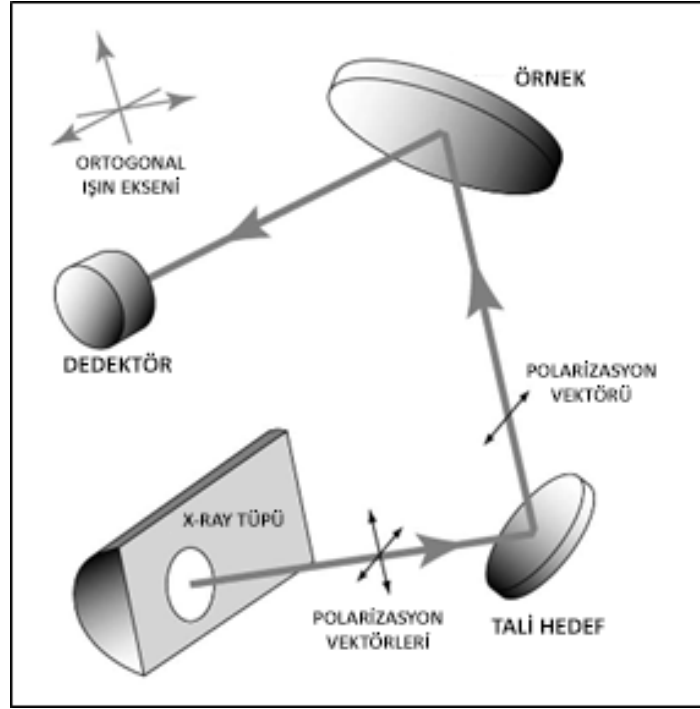


Şekil 4.7: X-ışını Floresans çalışma prensibi
(Liptak, 2003: 1345)

Polarize ve polarize edilmemiş olarak iki tür ED-XRF konfigürasyonu vardır. Polarize Enerji Dağılımlı X-ışını Floresansı (PED-XRF), atomik saçılma kesitinin anizotropisine dayanan polarize X-ışını radyasyonu ile uyarılarak floresans spektrumunda önemli bir arka plan azalması sağladığından polarize olmayan enerji dağıtıcıdan (XRF) farklıdır. Polarize X-ışını radyasyonunda, örnek doğrusal polarize X-ışını ile uyarılır ve örnekten sadece floresans radyasyonu yayılır, örnekten herhangi bir birincil radyasyon saçılmaz. Floresans radyasyonu, dedektöre uygun pozisyonda ulaşır. PED-XRF yönteminde, ışın, saçılımlı ışın ve floresans ışın, birbirleriyle dik açılarda tasarlanmıştır (Şekil 4.8)⁹⁹. PED-XRF'in doğruluğu ve hassasiyeti WDS'den daha üstündür ve saptama sınırları normal ED-XRF'den daha iyidir. Polarize ışın, numunedeki elementlerin karakteristik X-ışınlarını uyarmak, örnekten saçılmayı azaltmak için kullanılır. Polarize olmayan radyasyonun aksine, spektral arka plan

⁹⁹ Stephens ve Calder, "Analysis of Non-Organic Elements in Plant Foliage Using Polarised X-Ray Fluorescence Spectrometry", *Analitica Chimica Acta*, 527, 2004, s. 90-91, 95.

oldukça düşüktür. PED-XRF’te birincil X-ışınları atomu enerjilendirmek için Barkla saçılımı veya Bragg yansıması ile polarize edilir. Dikey koşullar altında saçılmış radyasyon oldukça polarize olur. İkincil X-ışınları polarizasyon düzlemine dik geometri ile hesaplanır. PED-XRF çok elementli analiz kabiliyetini düşük tespit limitleri ve minimum numune hazırlama ile birleştirmektedir¹⁰⁰.



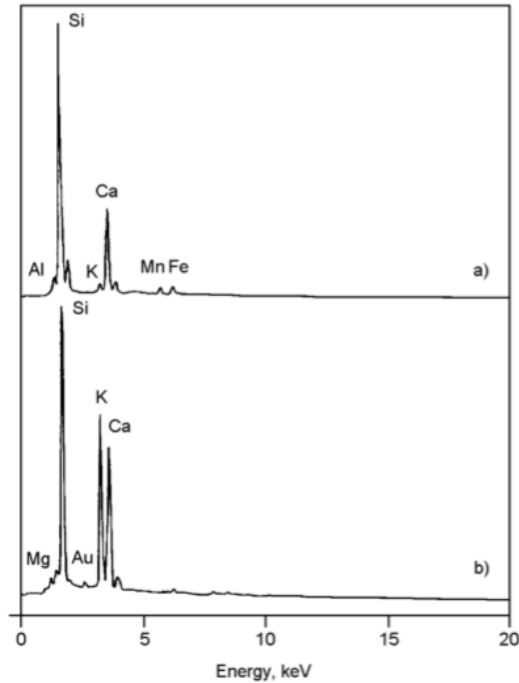
Şekil 4.8: PED-XRF spektroskopisi çalışma prensibi
(Stephens ve Calder, 2004: 91)

XRF spektrometrisi, basit, hızlı ve ucuz olduğu için camların kimyasal bileşimini belirlemek için sık kullanılan bir yöntemdir. XRF analiz yöntemi ile camın yapısını oluşturan; silisyum (temel element), sodyum ve/veya potasyum (ergitici), Ca ve/veya Mg (sağlamlaştırıcı) ile renk veren eser elementlerin analizleri yapılabilmektedir¹⁰¹. Bu elementlerin fazla ya da az olması bize cam objelerde görülen bozulmalar hakkında da bilgi vermektedir.

¹⁰⁰ Kramar, a.g.e., s. 2473- 2476.

¹⁰¹ Akyol vd., "Elaiussa-Sebaste Cam Örnekleri Arkeometrik Çalışmaları ", 24. Arkeometri Sonuçları Toplantısı (Ankara, 26-30 Mayıs 2008), Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, 2009, s. 13-28.

Katedral ve kiliselerde pencere camı olarak kullanılan çoğu Orta Çağ vitray camında ergitici olarak potas kullanılmıştır. Genellikle bir kısım kum, iki kısım kayın ağacı veya eğrelti otu külü ile tebeşir (chalk) karıştırılmıştır. Bununla birlikte, pencere camlarının bu bileşimi, özellikle dış yüzeylerde hızlandırılmış bozulma ve hava koşullarına karşı düşük kararlılık gösterir. Sürekli bozulma zamanla camın ve ayrışan yüzey üzerinde biriken bozulma kabuğunun kalınlığını azaltır. Bu da camı şeffaf ve üzerindeki sanatsal özellikleri neredeyse tanınmaz bir hale getirir. Bozulmuş yüzeylerin XRD analizi, Si, K, Ca ve ayrıca Al, Mg, Mn ve Fe'yi gösteren XRF spektrumları ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleriyle desteklenen kristal fazlar, alçıtaşı ve sinjenitin varlığını gösterir. Bununla birlikte, spektrumlar (Şekil 4.9) camın yüzeyi ve cam yapısındaki malzeme için farklıdır. Orta Çağ vitrayında elde edilen SEM'deki enerji dağılımlı X-ışını mikroanalizi, cam yüzeyi ve camın yapısı karşılaştırıldığında K ve Ca'nın tükendiğini veya gittikçe azaldığını göstermektedir. Bu, iki aşamalı bir çözünme işlemi olan kimyasal reaksiyonlar hakkında bilgi vermektedir¹⁰².



Şekil 4.9: Cam yüzeyi (a) ile cam yapısındaki (b) K ve Ca oranları
(Mantler ve Schreiner, 2001: 642)

¹⁰² Mantler ve Schreiner, **a.g.e.**, 2001, s. 641.

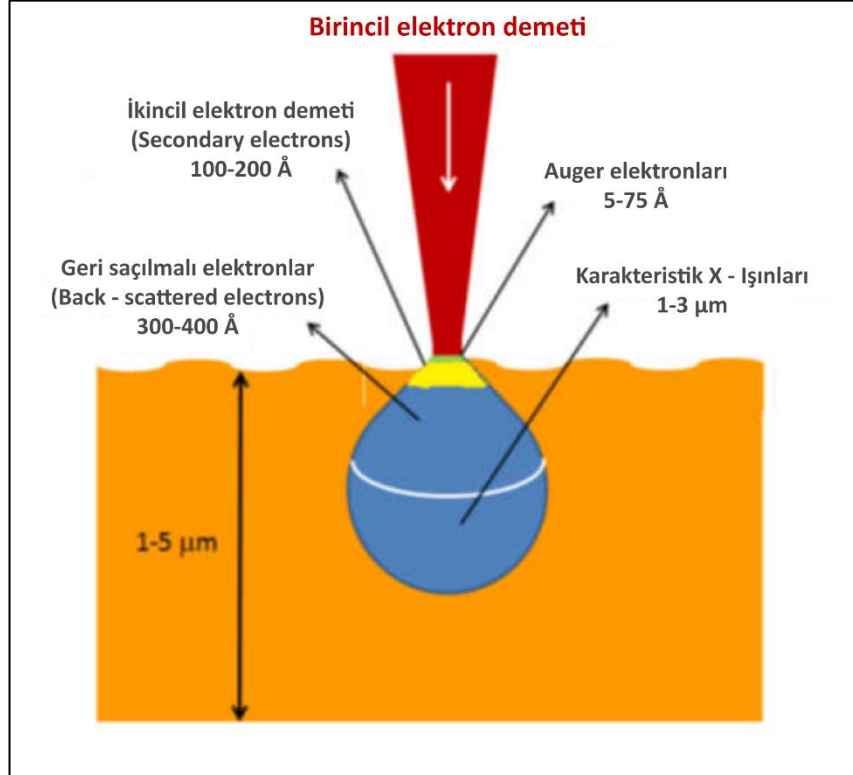
XRF yöntemi, tahribatsız analiz yapmaya olanak vermesi nedeniyle arkeometrik çalışmalarda en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Taşınır XRF (p- XRF), diğer XRF spektrometrelerine göre daha az duyarlılığa ve analiz gücüne sahip olmasına rağmen, taşınabilir ve kolay kullanılabilir olması, örnek hazırlama işlemi olmaması nedeniyle tercih edilmektedir¹⁰³.

4.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), bir örneğin büyüklüğü, şekli, bileşimi, kristalografisi ve diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında mikroskobik ölçekte bilgiler ortaya çıkaran büyütülmüş görüntüler oluşturan bir araçtır. SEM'in temel çalışma prensibi, bir elektron kaynağından emisyon yoluyla odaklanmış bir enerjik elektron demeti oluşturulmasıdır. İncelenen örnek yüzeyinin elektron demeti ile etkileşimi sonucunda meydana gelen sinyaller ile görüntü oluşur. SEM, birincil elektron ışınının etkileşimi sonucunda örnekten çıkan geri saçılmalı elektron, ikincil elektron veya geri saçılmalı elektron ve ikincil elektron kombinasyonuna duyarlı bir veya daha fazla dedektör ile donatılmıştır. Geri saçılmalı elektronlar, ikincil elektronlara göre daha derinden gelmektedir (Şekil 4.10). Etkileşim sonucu ortaya çıkan elektron grubundan ilki, ikincil elektronlar (Secondary Electrons, SE), örnekteki atomların, gelen elektron demetindeki elektronlar ile çarpışması sonucu, örnek yüzeyinde bulunan atomlardaki elektronlara enerji transferi ile ortaya çıkar. İkincil elektronlar düşük enerjili elektronlardır, örnek yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinliğinden ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yüzey topolojisine çok duyarlıdır ve örneğin daha yüksek çözünürlüklü görüntüsü elde edilebilmektedir. Diğer bir elektron grubu olan geri saçılmalı elektronlar (Back-Scattered Electrons, BSE); örnekteki atomların elektrik alanları tarafından saçılma ve sapma yaşadktan sonra, gelen enerjilerinin büyük bir kısmı bozulmadan örnekten çıkan ışın elektronlarıdır. Geri saçılmalı elektronlar daha yüksek enerjili elektronlardır ve saçılma atomunun atom sayısına duyarlıdır. Bu nedenle geri saçılmalı elektron sinyalinin yoğunluğu, örneğin ortalama atom sayısı ile yoğunluğunun bir kombinasyonuna bağlıdır. Geri saçılmalı elektron veya ikincil elektronun gelen ışın elektronu başına toplam verimi,

¹⁰³ Ataman, **a.g.e.**, s. 92.

ortalama atom numarası (BSE), kimyasal içeriği (SE) ve kristalografik yönelim (BSE) gibi örnek özelliklerine duyarlıdır. SEM tipik olarak SE modunda 25 kV'de 0,7 nm ve BSE modunda 5 kV'da 2,5 nm çözünürlüğe sahiptir. SEM büyük bir alan derinliğine sahip olduğundan görüntüler üç boyutlu görünebilmektedir.¹⁰⁴.



Şekil 4.10: Elektron demeti ve örnek arasındaki etkileşim
(ODTÜ MERLAB Tanıtım Kitapçığı: 16)

SEM, en çok tercih edilen elektron mikroskoplarından biridir. Elektron ışını analiz yöntemleri, bir örneğe çarpan yüksek enerjili elektron demeti tarafından üretilen sinyallerin ölçülmesini içerir ve antik cam yüzeylerinin bileşim analizi için kullanılmaktadır. SEM, bir örneğin yüzeyini görüntülemek için kullanılan bir tekniktir ve bu teknik ile üç boyutlu görüntüler elde edilebilmektedir. SEM'in dezavantajı, örneklerin iletken olmadıkları durumda, ortaya çıkacak elektrik yüklerinin birikmesini

¹⁰⁴ Goldstein vd., **Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis**, Springer, 4. Baskı, 2018, s. 83; Carter ve Norton, **Ceramic Materials: Science and Engineering**, New York, Springer. 2007, s. 158.

ve serbest kalmasını önlemek için cam örneğe karbon veya altın gibi ince ve görünmez elektriksel olarak iletken bir kaplama uygulanmasıdır¹⁰⁵.

SEM yönteminde yüzey bir elektron demeti ile taranır ve örnekten ayrılan elektron akımı toplanır, güçlendirilir, daha sonra nokta (spot) elektron ışınının örneğin üzerindeki hareketine uygun olarak ekran üzerinde hareket eden bir katot ışınli tütün parlaklığını ayarlamak için kullanılır. Yüzeyle etkileşim sonucunda yüksek çözünürlüklü bir görüntü ortaya çıkar. 5x-300.000x arası büyütme kapasitesine sahiptir. Elektron demeti sonucunda yüzeyde çeşitli sinyaller oluşur. Bunlar; geri saçılmalı, ikincil ve Auger elektronlar ile X-ışını floresans fotonları ve çeşitli enerjilerde diğer fotonlardır¹⁰⁶. Yüzeyden salınan fotonların uygun detektörlerle algılanması ile yüzey morfolojisi ve element içerikleri belirlenebilmektedir. Örneğin türüne göre geri saçılmalı (Back Scattered Electron, BE) veya ikincil elektron (Secondary Electron, SE) dedektörleri kullanılmaktadır. Optik mikroskop kullanımında görünür bölgedeki (400-750 nm) ışınlar kullanılırken, elektron mikroskopunda görünür bölge fotonları yerine elektronlar kullanılır. Optik mikroskopide >400nm boyuttaki parçacıklar oluşan kırınım etkileri nedeniyle saptanamazken, elektron mikroskopunda, bu etkiler çok daha küçük boyutlarda oluşabilmektedir. Bu nedenle görüntü çözünürlüğü elektron mikroskopunda 5 nm'ye kadar inebilmektedir¹⁰⁷.

SEM'de, örnek yüzeyinden yayılan elektronların çoğu 50 eV'nin altında enerjilere sahiptir ve ikincil elektronlar olarak belirtilir. Pek çok (elastik olmayan) etkileşimden sonra orijinal enerjilerinin çoğunu kaybeden birincil elektronlar olabilir; bu şekilde kaybedilen enerjinin bir kısmı valens (değerlik) elektronlarına aktarılabilir ve bu da ikincil elektron haline gelir. Düşük enerjileri nedeniyle, örnek materyalleri içindeki aralıkları çok sınırlıdır; uygulamada, çoğu malzemede, ikincil elektronların kaçabileceği derinlik bir mikrometrenin bir kısmıdır. İkincil elektronların emisyonu, birincil ışının darbe noktası çevresinde yoğunlaşır ve böylece, bir numunenin yakın yüzeyinin yüksek alan derinliği ile birlikte yüksek çözünürlüklü görüntülenmesini

¹⁰⁵ Davison, **a.g.e.**, s. 234.

¹⁰⁶ Ataman, **a.g.e.**, s. 94; Smith ve Oatley, "The Scanning Electron Microscope and Its Fields of Application", **British Journal of Applied Physics**, 6 (11), 1955, s. 391.

¹⁰⁷ Akyol ve Aydın, "Olba Kazısı Seramik Buluntuları Arkeometrik Analizleri", **Selevcia Ad Calycadnm, Olba Kazısı Yayınları**, Sayı VI, 2016, s. 416.

mümkün kılar. Geri saçılmalı elektronlar ortalama olarak ikincil elektronlardan daha yüksek bir enerjiye sahiptir ve bir örneğin çeşitli alanları arasındaki topografik, atom numarası veya kristalografik farklılıkların vurgulanabileceği SEM'de farklı görüntüleme türleri için kullanılabilir. Geri saçılmalı elektron (BE) görüntülerinin yanal çözünürlüğü genel olarak ikincil elektron (SE) görüntülerininki kadar iyi değildir, çünkü geri saçılmalı elektronlar daha derinden kaynaklanır¹⁰⁸.

Bozulmuş camların analizi için günümüzde en çok kullanılan teknik, Enerji Dağılımlı X-ışını analizi (EDX) ile birleşen Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'dur. Bu tekniğin, bozulma tabakasının kalınlığının ölçülmesi için kullanılması için, sadece orijinal objenin küçük bir bölümünü tahrip ederek gerekli olan bir kesiti hazırlamak gerekir¹⁰⁹. SEM-EDS hafif elementler içeren iletken olmayan malzemenin kantitatif mikro analizini yapabilmesi nedeniyle çok tercih edilmektedir. Yaklaşık %0,1'den daha yüksek derişimlerde camdaki elementlerin sodyuma kadar yarı kantitatif analizine izin vermektedir. Genellikle camda bulunabilen eser element olan bor da SEM-EDS ile tespit edilememektedir. Daha az belirgin spektral parazitler nedeniyle SEM/WDS ile daha düşük tespit limitleri, daha doğru ve kesin kantitatif analiz sonuçları elde edilebilmektedir. Ancak bu teknik zaman alıcı olduğu için, çok sayıda örneğin kantitatif analizi için dezavantajdır. Genellikle, temel ve az elementlerin belirlenmesi için SEM-EDS kullanılabilir; ancak eser elementleri belirlemek için daha hassas bir yöntem ile desteklenmelidir¹¹⁰. Bu tez çalışmasında SEM-EDS yöntemi kullanılmıştır.

4.2.3. Raman Spektroskopisi

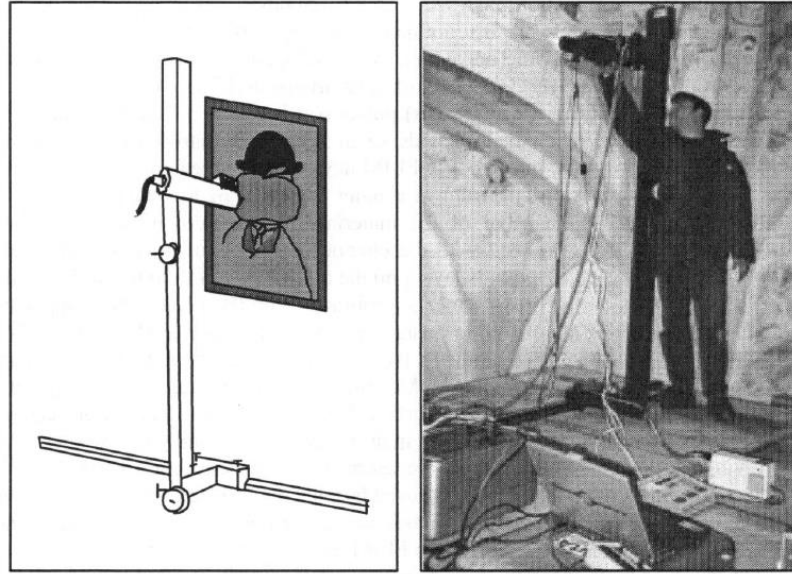
1930 yılında Nobel ödüllü Sir C.V. Raman tarafından bulunan Raman spektrometresi, çok yönlülüğü nedeniyle, arkeoloji, sanat tarihi ve koruma alanlarında çok çeşitli organik ve inorganik materyalleri karakterize etmek için kullanılmıştır. Bu alanda Raman spektroskopisinin en büyük avantajı, analiz için numune elde etme

¹⁰⁸ Janssens, **a.g.e.**, s. 134- 136.

¹⁰⁹ Schreiner, "Deterioration of Medieval Stained Glass by Atmospheric Attack. Pt. 1: Scanning Electron Microscopic Investigations of the Weathering Phenomena", **Glastechnische Berichte**, 61 (7), 1988, s. 198; Carmona vd., **a.g.e.**, s. 1155.

¹¹⁰ Wagner vd., "Complementary Analysis of Historical Glass by Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry", **Microchimica Acta**, 162 (3-4), 2008, s. 416-421.

noktasında ortaya çıkar. Mikro örneklerden veya alt katmanlardan konfokal teknikler kullanılarak parça almak zorunda kalmadan Raman spektrumları elde edilebilir. Mikro örnekler dahi alınamadığında, inceleme fiber optik probların ucundaki algılama kafaları ve/veya uzaktan algılama ile yapılabilir. Fourier Dönüşümlü Raman Spektroskopisi (FTRS) özellikle doğrudan, tahribatsız analize izin veren yansıtıcı bir yöntem olma avantajına sahiptir. Küçük numunelerin karakterizasyonuna izin vermek için mikroskopta da kullanılabilir. Renk tanımlama ile birlikte, değerli taşların, porselenlerin, camların, metal korozyon ürünleri ile reçine ve fildişi gibi organik maddelerin tanımlanması, Raman spektroskopisini bu alanda çok değerli bir teknik haline getirmektedir¹¹¹. Mobil Raman spektroskopisi, taşınamayan büyük boydaki eserler veya mimari öğeler için yararlı bir tekniktir (Şekil 4.11)¹¹².



Şekil 4.11: Fiber optik Raman enstrümantasyonu ile nesnelerin yerinde tahribatsız analizi (Vandenabeele ve Moens, 2005: 671)

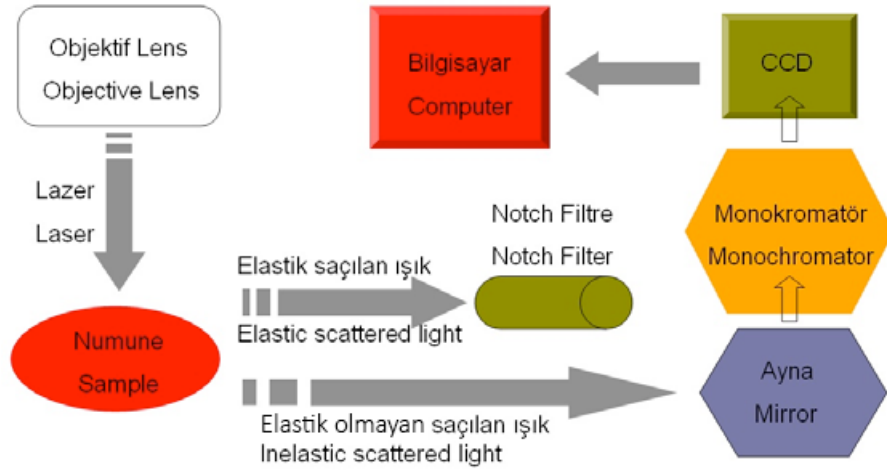
Arkeometrik çalışmalarda konfokal mikro-Raman spektroskopisinin ilk uygulamaları yağlı boya, duvar resimleri, duvar kağıtları, reçineli malzemeler, tekstil,

¹¹¹ Smith ve Dent, **Modern Raman Spectroscopy – A Practical Approach**, John Wiley & Sons, 2005, s. 143; Bellot-Gurlet vd., “Raman Spectroscopy in Art and Archaeology”, **Journal of Raman Spectroscopy**, 37, s. 963.

¹¹² Bellot-Gurlet vd., **a.g.e.**, s. 962- 963.

sır ve porselen, cam, değerli taşlar vb. üzerinedir. Bu analizi obje üzerinde doğrudan ve yerinde gerçekleştirmek için mobil, fiber optik Raman spektrometreleri kullanılabilir¹¹³.

Raman spektroskopisinde, moleküllerin titreşim spektrumu incelenmektedir. Raman spektrometrenin çalışma prensibinde, örnek yüzeyi, UV veya görünür bölge dalgaboylarında bir lazer kaynağı ile ışınlanır. Yüzeye çarpan fotonların elektriksel alan titreşimleri sonucunda örnek ile gelen ışın arasında bir etkileşim oluşur. Yüzeyle etkileşimler arasında UV veya görünür bölgede salınan ışınlar arasındaki enerji farkları titreşim spektrumu oluşturur. Moleküllerin parmak izi niteliğindeki oluşan bu sinyaller ile örneklerin molekül içeriği saptanabilmektedir (Şekil 4.12)¹¹⁴.



Şekil 4.12: Raman spektroskopisinin çalışma prensibi
(Bayazıt vd, 2016: 663)

Radyasyon şeffaf bir ortamdan geçerken, gelen ışının küçük bir kısmı her yöne saçılır. Saçılma sırasında gelen ışının büyük bir kısmının sahip olduğu enerji, örnek ile etkileşen ışının enerjisi ile aynıdır. Bu saçılmaya Rayleigh veya elastik saçılım

¹¹³ Vandenabeele ve Moens, "Raman Spectroscopic Applications in Art and Archaeology", 2005 **Conference on Lasers and Electro-Optics Europe**, 2005, s. 671.

¹¹⁴ Bayazıt vd., "Seramik Arkeometrisinde Spektroskopik Yöntemler (FTIR, RAMAN)", 10. **Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu**, Eskişehir, 2016, s. 663; Ataman, a.g.e., s. 93.

denmektedir. Saçılan ışının çok küçük bir kısmı ise elastik olmayan saçılım yani Raman saçılımını göstermektedir. Raman spektroskopisinde, örnek ile saçılan ışın analiz edilir. Raman saçılımına uğrayan ışın, Rayleigh saçılımının aksine, gelen ışınla aynı frekansa sahip değildir ve birbirlerinden daha düşük veya daha yüksek enerjiye sahip olabilmektedir. Rayleigh saçılması, titreşim spektroskopisi geçişleri hakkında bilgi vermemektedir¹¹⁵.

Raman spektrometre yöntemi ile, camın bileşimi, pişirme sıcaklığı ve camda renk oluşumunu sağlayan faktörler ve camın yapım teknolojisi hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Camın karakteristik Raman spektrumları, eğilme bandı ve gerilme bandı denilen iki geniş banttandır¹¹⁶.

Raman spektroskopisi hasarsız bir teknik olduğu için büyük önem taşımaktadır. Bu tekniğin SEM-EDS, LIBS, X-ışını floresans (XRF) spektrometrisi veya XRD ile tamamlanmasının iyi bir kombinasyon olduğu belirtilmektedir. Infrared'de gözlemlenemeyen zayıf titreşimler, Raman'da gözlemlenebildiği için, genellikle Raman infraredin tamamlayıcı olmaktadır. Raman spektrometri, belirli bir dönemde veya bölgede uygulanan teknik ve malzemeler hakkında bilgi elde etmek, objenin kabaca tarihlendirilmesi (bilinen bir buluş tarihine sahip pigmentin, daha yakın bir döneme ait olduğunun anlaşılması vs.), restorasyon, rötuş ve hatta sahte eserlerin anlaşılabilmesi için kullanılabilir. Spektrometri uygulamaları, restorasyon ve konservasyon uygulamaları için de yardımcı olmaktadır. Bu teknik, seramik, cam, duvar resmi, ahşap, tekstil, kağıt vb. korozyon ürünlerinin ve renklendirici, reçene, harç/sıva malzemelerinin araştırılmasında kullanılmaktadır. Boyalı eserlerdeki pigmentler ve bağlayıcılar genellikle Raman spektroskopisi kullanılarak incelenmektedir. Yapı malzemelerinin incelenmesi, bozulma ve kirlilik bileşiklerinin yanı sıra malzemelerin korozyonunun ve nesnelerin yüzey değişimlerinin belirlenmesini sağlamaktadır¹¹⁷.

¹¹⁵ Pollard ve Heron, **Archaeological Chemistry**, RSC Publishing, Cambridge, 2. baskı, 2008, s. 66-68.

¹¹⁶ Kırmızı ve Colomban, "15.-19. Yüzyıllar Arası Çin Cloisonné Emayeleri Üzerine Raman Spektrometrisi ile Yapılan İncelemeler", **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştay-Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar Bildiri Kitabı (6-8 Ekim 2011)**, 2012, s. 149- 151.

¹¹⁷ Vandenabeele, "Raman Spectroscopy in Art and Archaeology", **Journal of Raman Spectroscopy**, 35 (8-9), 2004, s. 607; Baraldi ve Tinti, "Raman Spectroscopy in Art and Archaeology", **Journal of Raman Spectroscopy**, 39 (8), 2008, s. 963.

Konfokal prensipleri, 1955 yılında Marvin Minsky tarafından bulunmuştur. Aynı odağa sahip olmak anlamına gelmektedir. Konfokal yöntemde, lazer ışığı odaklaması ve saçılan radyasyonu toplama aynı objektif ile yapılmaktadır. Örneğin herhangi bir noktasından üç boyutlu görüntü alınabilmektedir; ancak örneğin bir tarafının düzgün bir yüzey olması gerekmektedir. Konfokal spektrometrenin çalışma prensibinde, örnek bir monokromatik bir ışık kaynağı (lazer) ile tarandıktan sonra odak planındaki örnekten emisyon yayılır. Emisyon ışını, sadece belli dalga boyundaki ışığı yansıtan dikroik aynadan yansır ve iğne deliğinden geçerek bir foton çarpıcı (PMT) tarafından sayılır. Filtre görevi gören iğne deliği, odak dışı ışığın geçişine izin vermez. Işıklar dijital ortamda kaydedilir, görme alanı piksellere ayrılır ve her piksel sırayla lazer ile taranır. Sonuç olarak lazer ışınları, örnek üzerinde belirlenen yerde odaklanır. Netliğin fazla olması, kalın örneklerin net bir şekilde incelenebilmesi, 3 boyutlu inceleme yapılabilmesi gibi avantajları ile pahalı olması, yüksek yoğunluklu lazerin dokuya zarar verme olasılığı gibi dezavantajları bulunmaktadır¹¹⁸.

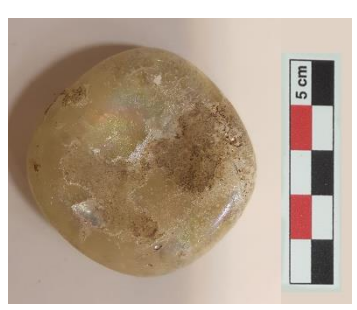
¹¹⁸ Er, “Konfokal Raman Yöntemleri”, **Yüksek Lisans Tezi**, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2010, s. 21- 24.

BEŞİNCİ BÖLÜM

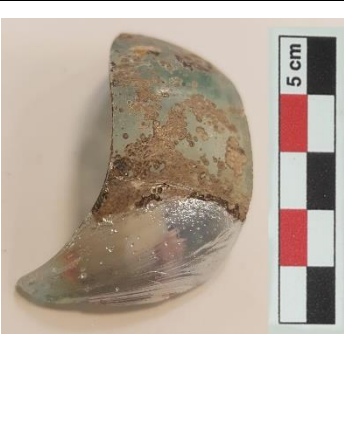
ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

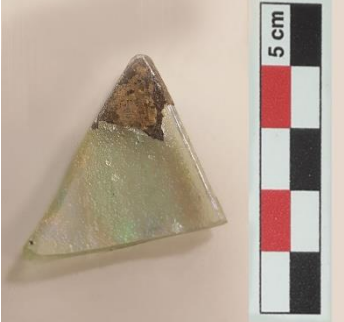
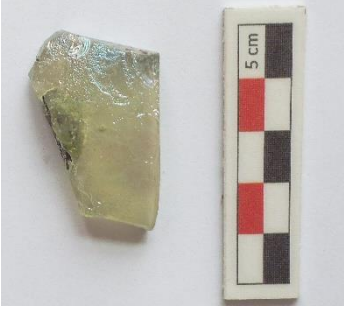
5.1. Bozulmaların Görsel İncelemeleri

Enez kazısından ele geçen Roma Dönemi'ne tarihlenen 31 etütlük cam üzerinde yapılan bozulma tabakalarının görsel incelemeleri aşağıda yer almaktadır. Bozulmalar Tablo 5.1'de görüldüğü gibi 0'dan 4'e kadar, "0: Yok; 1: Çok az; 2: Az; 3: Fazla; 4: Çok ileri derecede" şeklinde derecelendirilmiştir. Bozulmaların görsel incelemelerinden sonra cam bileşimini belirlemek ve bunları bozulma ile ilişkilendirmek için PED-XRF, SEM-EDS ve Raman (Konfokal) analiz yöntemleri uygulanmıştır.

EET-G1 : Örneğin tüm yüzeyinde, çok yoğun olmamakla birlikte ince bir sedef oluşumu tabakası bulunmaktadır. Sedef oluşumu tabakaları pullanma nedeniyle yer yer dökülmektedir. Ayrıca çok yoğun olmamakla birlikte matlaşma da görülmektedir.	
EET-G2 : Örnek yüzeyinde, matlaşma ve sedef oluşumu tabakası bulunmaktadır. Camın genel olarak yapısı oldukça zayıftır. Ağız kısmında fiziksel bozulma nedeni ile oluşan bir çatlak bulunmaktadır. Çukur oluşumu ve süt beyazı aşınma oluşumları başlangıç seviyesindedir.	
EET-G3 : Örnek yüzeyinde, çok yoğun olmamakla birlikte ince bir sedef oluşumu tabakası bulunmaktadır. Matlaşma ve çukur oluşumu ile başlangıç seviyesinde mine aşınma tabakası görülmektedir.	

EET-G4 : Örnek yüzeyinde yer yer ince bir sedef oluşumu tabakası ile birlikte çukur oluşumu başlangıcı görülmektedir. Örneğin genel yapısının sağlam olduğu gözlenmektedir.	
EET-G5 : Örnek yüzeyinde ince bir sedef oluşumu tabakası ile birlikte çukur oluşumu başlangıcı görülmektedir.	
EET-G6 : Örnek yüzeyinde çok ileri derecede sedef oluşum tabakası, çukur oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	
EET-G7 : Örnek yüzeyinde çok ileri derecede sedef oluşum tabakası, çukur oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir. Bozulma tabakası pul pul dökülmektedir.	
EET-G8 : Örnek yüzeyinde yer yer sedef oluşumu tabakası ile birlikte çukur oluşumu ve başlangıç seviyesinde süt beyazı aşınma tabakası görülmektedir.	

EET-G9 : Örnek yüzeyinde yalnızca ince bir sedef oluşumu tabakası bulunmaktadır.	
EET-G10 : Örnek yüzeyinde başlangıç seviyesinde sedef oluşumu ve çukur oluşumu görülmektedir. Mine aşınma (siyah kabuk) tabakası ileri derecededir.	
EET-G12 : Örnek yüzeyinde yer yer sedef oluşumu ile mine aşınma (siyah kabuk) tabakaları bulunmaktadır. Başlangıç seviyesinde çukur oluşumu görülmektedir.	
EET-G13 : Örneğin yalnızca bir kısmında ancak yoğun bir biçimde sedef oluşumu, yer yer çukur oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) tabakaları bulunmaktadır. Başlangıç seviyesinde matlaşma tabakası görülmektedir. Yer yer görülen bozulma tabakaları dışında cam oldukça sağlam bir yapıya sahiptir.	

EET-G14 : Örnek yüzeyinde matlaşma ile başlangıç seviyesinde sedef oluşumu ile mine aşınma (siyah kabuk) tabakası bulunmaktadır.	
EET-G15 : Örnek yüzeyinde başlangıç seviyesinde sedef oluşumu tabakası yer almaktadır. Matlaşma ve çukur oluşumu orta seviyededir. İleri seviyede mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	
EET-G16 : Örnek yüzeyinde başlangıç seviyesinde sedef oluşumu ve çukur oluşumu görülmektedir. Örnek yüzeyinde kısmen mine aşınma (siyah kabuk) tabakası da görülmektedir.	
EET-G17 : Örneğin tüm yüzeyinde sedef oluşumu, çukur oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	

EET-G18 : Örneğin tüm yüzeyinde sedef oluşumu ve derin çukur oluşumları görülmektedir.	
EET-G19 : Örneğin tüm yüzeyinde sedef oluşumu, matlaşma ve kalın bir mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	
EET-G20 : Örneğin tüm yüzeyinde sedef oluşumu, matlaşma, çukur oluşumu ve yoğun mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	
EET-G21 : Örneğin tüm yüzeyinde sedef oluşumu, çukur oluşumu ve yoğun mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	

EET-G22 : Örneğin tüm yüzeyinde yoğun sedef oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir. Matlaşma ve çukur oluşumu başlangıç seviyesindedir.	
EET-G23 : Örneğin tüm yüzeyinde yoğun mine aşınma (siyah kabuk) tabakası altında sedef oluşumu tabakası görülmektedir.	
EET-G24 : Örneğin tüm yüzeyinde yoğun ancak ince bir mine aşınma tabakası altında sedef oluşumu görülmektedir. Yoğun olmamakla birlikte yer yer matlaşma tabakası da mevcuttur.	
EET-G25 : Örneğin tüm yüzeyinde sedef oluşumu, matlaşma, çukur oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	

EET-G26 : Örneğin tüm yüzeyinde yoğun bir mine aşınma (siyah kabuk) tabakası altında sedef oluşumu tabakası görülmektedir.	
EET-G27 : Örneğin tüm yüzeyinde sedef oluşumu, çukur oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	
EET-G28 : Örnek yüzeyinde başlangıç seviyesinde sedef oluşumu, çukur oluşumu ve süt beyazı/mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir.	
EET-G29 : Örneğin tüm yüzeyini kaplayan yoğun bir mine aşınma (siyah kabuk) tabakası bulunmaktadır. Bu tabaka altında sedef oluşumu, matlaşma ve çukur oluşumu görülebilmektedir.	

EET-G30 : Örneğin tüm yüzeyini kaplayan kalın bir mine aşınma (siyah kabuk) tabakası ve sedef oluşumu tabakası görülmektedir.	
EET-G31 : Örneğin çok büyük bir kısmını kaplayan süt beyazı/mine aşınma (siyah kabuk) tabakasında beyazdan kahverengimsi renge geçiş net bir şekilde görülebilmektedir ve pul pul dökülmektedir. Bu tabakanın altında sedef oluşumu ve çukur oluşumu görülmektedir.	
EET-G32 : Örneğin bir yüzünde kalın bir mine aşınma (siyah kabuk) tabakası bulunmaktadır. Yoğun olmamakla birlikte sedef oluşumu, matlaşma ve çukur oluşumu da görülmektedir.	

Örnekler	Sedef oluşumu	Matlaşma	Çukur oluşumu	Süt Beyazı/Mine Aşınma	
				Süt Beyazı Aşınma	Mine Aşınma
EET-G1	2	2	0	0	0
EET-G2	3	3	1	1	0
EET-G3	2	3	3	0	1
EET-G4	1	0	1	0	0
EET-G5	1	0	1	0	0
EET-G6	4	0	4	0	4
EET-G7	4	0	4	0	4
EET-G8	2	0	2	1	0
EET-G9	1	0	0	0	0
EET-G10	1	0	1	0	4
EET-G12	2	0	1	0	3
EET-G13	3	1	2	0	3
EET-G14	1	2	0	0	1
EET-G15	1	2	2	0	4
EET-G16	1	0	1	0	3
EET-G17	3	0	2	0	3
EET-G18	2	0	3	0	0
EET-G19	2	2	0	0	4
EET-G20	2	2	2	0	4
EET-G21	3	0	2	0	4
EET-G22	4	1	1	0	4
EET-G23	2	0	0	0	4
EET-G24	1	2	0	0	3
EET-G25	3	3	4	3	3
EET-G26	3	0	0	0	4
EET-G27	3	0	2	0	3
EET-G28	1	0	1	1	1
EET-G29	2	2	2	0	4
EET-G30	3	0	0	0	4
EET-G31	2	0	1	3	4
EET-G32	2	1	1	0	3
0: Yok; 1: Çok az; 2: Az; 3: Fazla; 4: Çok ileri derecede					

Tablo 5.1: Enez camlarında görülen bozulmaların görsel tanımlaması

5.2. Renk Ölçümü

Renk ölçümü sonuçları ile görsel inceleme sonucu belirlenen renkler karşılaştırıldığında, aralarında bir uyum olduğu görülmektedir. L değerleri 81,12 ila 7,81 arasında değişmektedir ve L değerlerinin ortalaması 49,03'tür; ($\pm a$) değerleri

-10,65 ila 5,45 arasında değişmektedir ve a değerlerinin ortalaması -2,39'dur; ($\pm b$) değerleri ise -2,32 ila 41,95 arasında değişmektedir ve (b) değerlerinin ortalaması 11,10'dur (Tablo 5.2).

Örnekler	Kalınlık (mm)	L	a	b	Görünen Renk
EET-G1	3,39	81,12	-4,71	2,29	Mavimsi yeşil
EET-G2	4,51	67,06	-7,84	7,23	Mavimsi yeşil
EET-G3	4,87	65,57	0,68	13,08	Beyazımsı
EET-G4	3,25	44,80	-9,38	10,66	Yeşil
EET-G5	3,72	51,53	-0,11	14,00	Açık yeşil
EET-G6	3,40	43,79	2,92	16,11	Sarımsı yeşil
EET-G7	3,56	76,19	-6,03	21,02	Sarımsı yeşil
EET-G8	1,79	67,72	-0,44	41,95	Açık kahve
EET-G9	1,74	55,67	-10,65	-2,32	Açık yeşil
EET-G10	3,20	60,42	-1,14	4,36	Beyaz
EET-G12	6,77	36,57	-1,64	16,20	Yeşil
EET-G13	2,20	64,51	-4,65	-0,43	Mavimsi yeşil
EET-G14	5,67	51,65	0,81	32,99	Kahverengi
EET-G15	3,12	58,11	-5,71	11,77	Açık yeşil
EET-G16	5,42	53,70	-3,11	16,44	Açık yeşil
EET-G17	2,79	52,51	-3,84	4,78	Metalik gri*
EET-G18	5,08	7,81	-1,98	3,29	Beyaz*
EET-G19	1,96	36,14	-1,49	13,75	Yeşil
EET-G20	0,97	37,01	-6,18	1,18	Mavi
EET-G21	3,17	34,37	-1,76	13,12	Yeşil
EET-G22	2,90	31,60	-6,64	8,43	Yeşil
EET-G23	4,50	25,84	1,83	4,81	Kahverengi*
EET-G24	0,90	50,23	-2,56	-2,13	Açık mavi
EET-G25	3,55	39,33	-2,78	0,33	Koyu gri*
EET-G26	4,05	22,61	3,25	7,52	Koyu kahve*
EET-G27	2,39	41,99	-0,71	7,38	Açık yeşil
EET-G28	1,54	60,30	-1,94	25,13	Açık kahve
EET-G29	3,63	49,56	5,45	12,48	Kahverengi*
EET-G30	2,28	31,34	-0,85	2,38	Kahverengi*
EET-G31	5,38	62,86	-3,01	11,31	Açık kahve/Yeşil
EET-G32	3,26	58,03	0,06	24,85	Açık kahve
Ortalama	3,39	49,03	-2,39	11,10	
*Bozulma tabakası					

Tablo 5.2: Enez arkeolojik kazısı cam örneklerinin renk kodları (CIE L*a*b*) ve kalınlıkları

5.3. Örneklerin Mikroskop Altı İncelemeleri

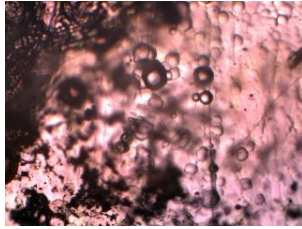
Cam üretimi sırasında, cam hamuru içerisinde hapsolan habbelerin (hava boşlukları) şekilleri, camların üretim teknikleri hakkında bilgiler verebilmektedir. Başlangıçta dairesel olan habbe şekilleri, uygulanan tekniğe bağlı olarak elips ya da uzayan bir elips şeklini alabilmektedir. Habbe şekilleri, bir kabın boyun, gövde ve dip kısımlarında farklı şekillerde olmasına rağmen, üfleme tekniğinde daha uzun elips habbe şekilleri görme imkanı vardır. Tekfur Sarayı camlarının mikroskop altı incelemelerinde, habbelerin bu çalışmada incelenen örnekler gibi iri ve geniş bir dairesel form verdiği görülmektedir ve bu örneklerin serbest üfleme tekniğinde üretilmiş olduğu belirtilmektedir¹¹⁹. İncelenen örneklerin genel olarak dairesele yakın ve iri olan habbe formlarına bakarak, camların serbest üfleme tekniğinde üretildiği söylenebilir.

Habbelerin mikroskop altında incelenmesi ile elde edilen görüntülerde (EET-G1, EET-G10, EET-G13, EET-G17, EET-G19, EET-G20, EET-G21, EET-G22, EET-G23, EET-G24, EET-G25, EET-G26, EET-G27, EET-G31 ve EET-G32 örneklerinde) habbelerin dairesele yakın şekilleri olduğu görülmektedir (Şekil 5.1)¹²⁰.

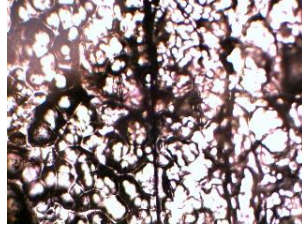
Cam örneklerin optik mikroskop görüntülerinde yüzeydeki bozulma tabakaları transparan görüntüyü engellediğinden dolayı gövdede bulunan habbe görüntüleri net bir şekilde elde edilememiştir. Örneklerin görüntülerindeki dairesel siyahlıklar sınırlı da olsa bir habbe görüntüsü vermektedir. Ancak bununla beraber cam yüzeyinde görülen bozulma tabakalarından dolayı tüm görüntülerde bozulma ürünleri de görüntülenmektedir. Örneğin EET-G1'in bozulma tablosunda (Tablo 5.1.) bozulma derecesi 2 (az) ve EET-G7'nin bozulma derecesi 4 (çok ileri derecede) olarak belirlenmiştir. Bu iki örneğin mikroskop altı görüntüleri karşılaştırıldığında, bozulma ürünlerinin görüntüsü EET-G1'de daha küçük, EET-G7'de ise çok daha iridir. EET-G28'de bu bozulma ürünleri küçük ve kılcal olarak görüntülenmiştir. Tablo 5.1.'de gösterilen bozulma derecelerini, mikroskop altı görüntüleri destekler niteliktedir.

¹¹⁹ Akyol ve Kadioğlu, **a.g.e.**, s. 33.

¹²⁰ Akyol vd., "Olba Kazısı Camları Arkeometrik Çalışmaları ", **Selevcia Ad Calycadnvm, Olba Kazısı Yayınları**, 5, 2015, s. 210.



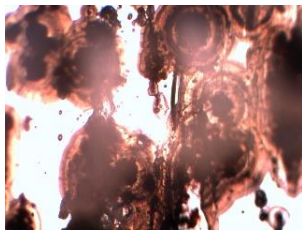
EET-G1



EET-G2



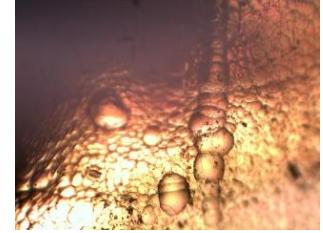
EET-G3



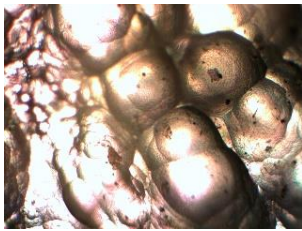
EET-G4



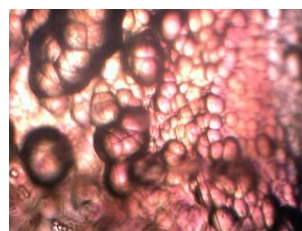
EET-G5



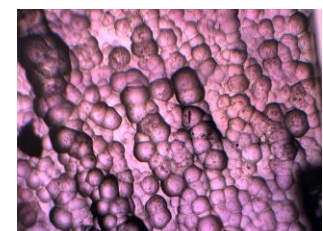
EET-G6



EET-G7



EET-G8



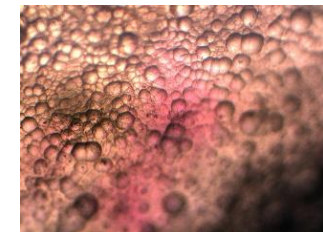
EET-G9



EET-G10



EET-G13



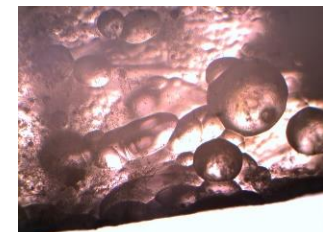
EET-G14



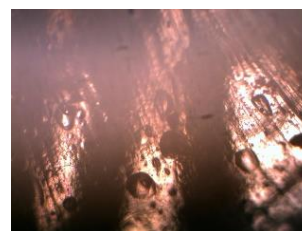
EET-G15



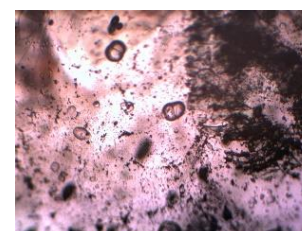
EET-G16



EET-G17



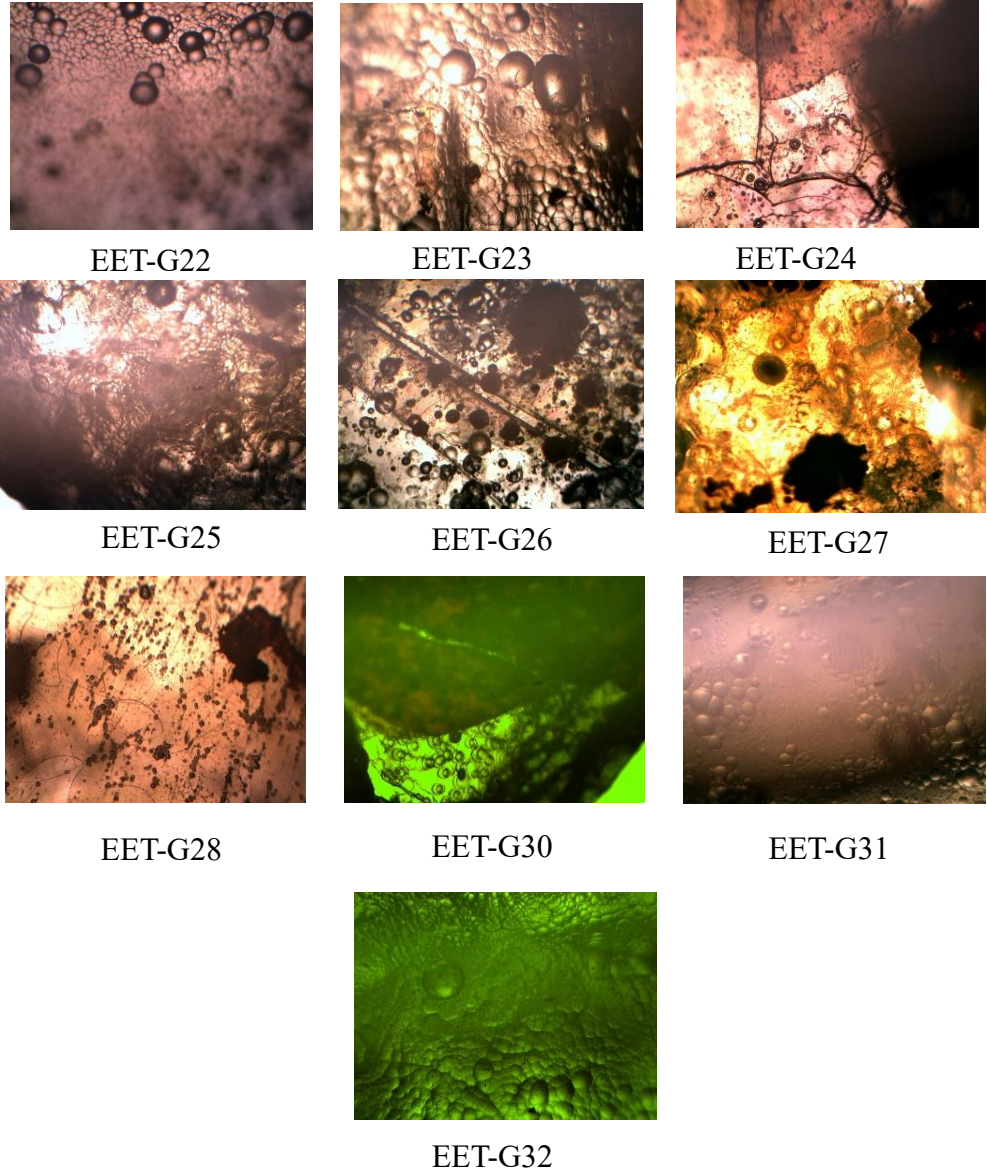
EET-G19



EET-G20



EET-G21



Şekil 5.1: Enez Su Terazisi ve Kral Kızı kazıları cam örneklerinin bozulma ürünleri ve habbe şekillerinin optik mikroskop görüntüleri

5.4. PED-XRF ve Noktasal Mikro XRF Analizi

Roma Dönemi'ne tarihlenen 10 etütlük cam örneğin (EET-G2, EET-G4, EET-13, EET-G15, EET-G16, EET-G21, EET-G23, EET-G24, EET-G26 ve EET-G29 örnekleri) element ve mineralojik içerikleri Polarize Enerji Dağılımlı X- Işını Floresans spektrometresi (PED-XRF) ile analiz edilmiştir. Ayrıca iki örneğin (EET-G13 ve EET-G24) Noktasal Mikro XRF ile analizi yapılmıştır.

X-LAB 2000 model cihaz ile PED-XRF analizi, miktar açısından analize izin veren 10 örnek üzerinde uygulanabilmektedir. Analiz öncesindeki hazırlık aşamasında, 1-3 gram ağırlığa sahip cam örnekler agat havanda toz haline getirildikten sonra 32 mm'lik diskler oluşturulmuştur. Cihazda çalışmak üzere bir zamlı karıştırılarak analiz için hazır hale getirilmiştir. Analizde standart olarak USGS (Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma) standartları ve referans olarak GEOL, GBW-7109 ve GBW-7309 referansları kullanılmıştır. X-LAB 2000 model PED-XRF spektrometresi ile atom numarası 11 (Na)'den 92 (U)'ye kadar olan elementler analiz edilebilmektedir. Analiz sonucunda temel, az ve eser elementler olmak üzere yaklaşık 50 element belirlenmiş olup, temel ve az elementler % ile, eser elementler ise ppm (parts per million) olarak ifade edilmiştir. Cihazın ağır elementlerde duyarlılık sınırı 0,5 ppm ve hafif elementlerde duyarlılık sınırı 10 ppm kadardır. PED-XRF analizi, yüksek sıcaklıkta (950°C) ağırlık kaybı nedeniyle kaybedilen bor, lityum ve flor hariç incelenen cam parçalarını karakterize eden tüm kimyasal bileşenlerin belirlenmesine izin vermiştir. Analiz edilen örneklerin sonuçları Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te gösterilmektedir.

PED-XRF analizleri, tüm örneklerin tipik soda-kireç-silis camı olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 5.3, Tablo 5.4). Tipik bir soda-kireç-silis camında, %73 oranında SiO₂, %12 oranında Na₂O, %10 oranında CaO, %4 oranında MgO ve %1 oranında Al₂O₃ bulunmaktadır. Alkali ergiticiler Na₂O ve K₂O ve alkali toprak sağlamlaştırıcılar CaO ve MgO'dur¹²¹.

¹²¹ Akyol vd., **a.g.e.**, 2016, s. 211.

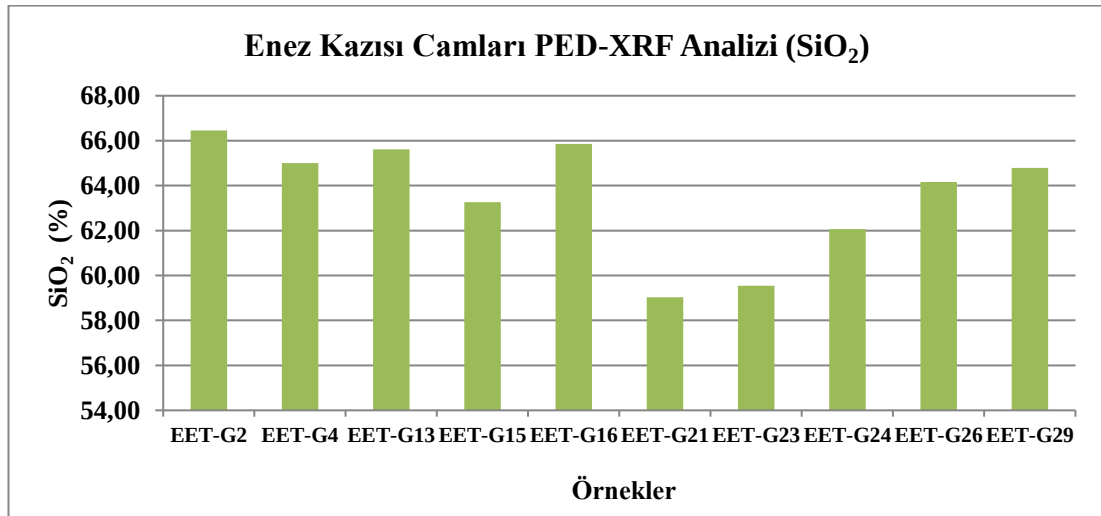
Element	Birim	EET-G2	EET-G4	EET-G13	EET-G15	EET-G16
Na ₂ O	%	4,43	5,64	13,21	8,17	17,78
MgO		0,283	0,219	0,508	0,351	0,547
Al ₂ O ₃		0,678	0,689	1,54	1,13	0,503
SiO ₂		66,46	65,00	65,61	63,26	65,86
P ₂ O ₅		0,001	0,005	0,056	0,051	0,031
SO ₃		0,193	0,167	0,495	0,246	0,349
Cl		0,384	0,565	0,652	0,379	0,719
K ₂ O		0,430	0,497	0,803	0,820	0,464
CaO		3,53	9,43	9,52	7,28	6,35
TiO ₂		0,062	0,059	0,074	0,029	0,113
V ₂ O ₅		0,004	0,008	0,007	0,003	0,008
Cr ₂ O ₃		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
MnO		0,181	1,03	0,626	0,909	1,14
Fe ₂ O ₃		0,379	0,350	0,386	0,504	0,589
LOI*		22,33	16,83	6,73	16,63	5,92
Co	ppm	22	20,2	29,4	14	18,5
Ni		5,9	10,8	7,6	7,9	11,9
Cu		12,1	9	76,7	33,4	21
Zn		11	10,3	12	8,7	12
Ga		0,8	3,1	2,8	4,2	2,9
Ge		0,6	0,3	0,3	0,3	1
As		10,9	1,7	2,5	1,1	2
Se		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Br		5,1	6,7	12,8	5,8	5,5
Rb		5,3	6,4	11,3	9,7	5,4
Sr		265,7	418,3	449	447,4	527,4
Y		1,8	5,2	5,9	4,9	6,2
Zr		24,9	38,5	33,7	37,1	58,9
Nb		2,1	2	2,4	2,2	2,5
Mo		2,1	2,1	2,4	3,6	2,5
Cd		0,7	0,6	0,8	0,7	0,7
In		1,1	0,6	0,9	0,6	0,7
Sn		9,3	0,7	9,7	2,5	1,8
Sb		1054	15,2	107,2	0,7	0,7
Te		1	1	1,2	1	1,2
I		1,6	1,7	2,2	2	2,1
Cs		2,7	3	3,9	3,3	3,6
Ba		64,9	252,9	268,7	1175	323,3
La		5,2	6,2	8,2	6,4	14,4
Ce		7,3	8,5	24,8	8,8	11
Hf		4,6	2,2	4,8	2,4	1,5
Ta		1,9	2	4,2	2,8	2,6
W		1,7	1,6	1,8	0,9	1,7
Hg		0,5	0,5	0,6	0,5	0,6
Tl		0,9	0,4	0,6	0,5	0,5
Pb		298	5,2	88,3	45	8,5
Bi		0,7	0,4	0,6	0,5	0,5
Th		1,3	0,6	1,7	0,8	0,9
U		4,5	5,2	6,1	5,6	5,4
*LOI : Loss on ignition. 950°C'de ısıtma ile ağırlık kaybı						

Tablo 5.3: Enez cam örnekleri PED-XRF analizi sonuçları

Element	Birim	EET-G21	EET-G23	EET-G24	EET-G26	EET-G29	Ortalama
Na ₂ O	%	8,76	11,01	7,17	7,98	5,85	9,00
MgO		0,771	0,805	0,679	0,378	0,530	0,507
Al ₂ O ₃		1,37	2,13	2,62	0,934	2,70	1,43
SiO ₂		59,03	59,55	62,06	64,16	64,79	63,58
P ₂ O ₅		0,082	0,208	0,040	0,019	0,055	0,055
SO ₃		0,336	0,414	0,378	0,243	0,275	0,310
Cl		0,484	0,530	0,474	0,525	0,275	0,499
K ₂ O		1,00	1,07	1,26	0,504	0,882	0,774
CaO		6,23	6,67	6,16	9,58	4,80	6,95
TiO ₂		0,181	0,199	0,204	0,214	0,202	0,134
V ₂ O ₅		0,011	0,014	0,013	0,011	0,015	0,009
Cr ₂ O ₃		0,002	0,001	0,002	0,004	0,001	0,001
MnO		1,56	1,64	1,20	0,953	1,69	1,09
Fe ₂ O ₃		1,40	1,36	1,44	1,31	1,09	0,881
LOI*		18,94	14,38	16,83	13,92	16,63	14,91
Co	ppm	36,9	24,6	85,6	25,6	13,9	29,1
Ni		31,8	24,5	42,2	14,7	34,8	19,2
Cu		68,5	94,5	438,3	53,8	46,2	85,4
Zn		39	21,3	17,2	15,7	21,7	16,9
Ga		4,4	2,7	2,1	2,6	3,1	2,9
Ge		0,4	0,4	0,6	0,3	0,3	0,5
As		6,5	22,9	9,9	4,4	13,8	7,6
Se		0,3	0,3	0,6	0,2	0,2	0,3
Br		10,9	10,2	15,7	7,2	9	8,9
Rb		9,8	10,1	14,9	6,9	8,8	8,9
Sr		801,7	655,2	726,9	375,6	521,1	518,8
Y		7,6	6,4	7,8	6,5	6,3	5,9
Zr		115,1	91,2	106,5	120	106	73,2
Nb		3,1	2,6	3,1	2,5	4,4	2,7
Mo		9,1	2,9	8,9	2,6	6,6	4,3
Cd		0,9	0,8	1,4	0,6	0,7	0,8
In		1	0,8	1,3	0,6	0,7	0,8
Sn		14,2	16,6	71,6	23,9	50,9	20,1
Sb		83,4	83,3	53,3	13,6	22,4	143,4
Te		1,5	1,2	1,8	1	1	1,2
I		2,8	2,2	3,5	1,8	2	2,2
Cs		4,9	3,7	5,6	3	3	3,7
Ba		334,4	391	301,9	245	253,9	361,1
La		11	9,2	12	11,8	6,3	9,1
Ce		28,4	25,5	17	8,6	8,7	14,9
Hf		3,7	7,1	28,5	5,4	3,8	6,4
Ta		4,3	4,8	11	3,4	3,4	4,0
W		2,3	1,9	2,9	1,6	1,8	1,8
Hg		0,6	0,6	1,1	0,5	0,6	0,6
Tl		0,8	0,9	2,6	0,5	0,7	0,8
Pb		90,1	248,6	1663	95,8	107,6	265,0
Bi		0,7	0,9	2,2	0,6	0,7	0,8
Th		1,5	2,4	12,5	1,4	1,8	2,5
U		6,8	6,6	7,3	5,5	5,8	5,9
*LOI : Loss on ignition. 950°C'de ısıtma ile ağırlık kaybı							

Tablo 5.4: Enez cam örnekleri PED-XRF analizi sonuçları (devam)

Cam harmanında ağ yapıcı olarak bulunan temel madde SiO_2 'nin yüksek miktarda olması camın mekanik direncinin, dayanıklılığının yüksek olduğunu ve yüksek ergitme derecesine sahip olduğunu göstermektedir. Ağ yapıcı (SiO_2) ile birlikte cam harmanına sağlamlaştırıcı olarak eklenen CaO miktarının mevcut üretim oranlarından daha az olması ise camın dayanıklılığını azaltarak bozulmaya karşı direncini azaltmaktadır¹²². SiO_2 içeriği %59,03 ila %66,46 arasında değişmekte olup, ortalama %63,58'dir (Tablo 5.3, Tablo 5.4). SiO_2 içeriği beklenenden düşüktür (Şekil 5.2). Camın yapısındaki silisyum içeriği, camın mekanik direncini, dayanıklılığını ve ergime derecesi gibi özelliklerini belirlemektedir. Camın zamanla bozulmaya uğraması sonucu azalan SiO_2 içeriği, cam yüzeyinde görülen bozulmaları destekler niteliktedir¹²³. Camın genel yapısında düşük olan SiO_2 bozulma tabakalarında daha yüksektir. Örneklerin SEM-EDS analiz sonuçları, PED-XRF ile karşılaştırıldığında daha yüksek SiO_2 içeriğine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi SiO_2 içeriklerine göre gruplandırılması

MS 1. binyıl öncesinde cam üretiminde küçük atölyeler görülürken, MS 1. binyıl sonrasında belirgin cam kompozisyonları olan önemli bölgelerin büyük atölyeleri

¹²² Akyol vd., "İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi Camları Arkeometrik Analizleri", *Journal of Turkish Studies*, 9 (10), 2014, s. 5.

¹²³ Akyol vd., *a.g.e.*, 2012, s. 161; Akyol ve Kadioğlu., *a.g.e.*, s. 33.

ortaya çıkmaktadır. Belirlenen birkaç ana cam grubuna göre Enez camları 4 farklı cam grubuna ayrılabilir; mangan ile renksizleştirilmiş Roma camı, antimon-mangan karışık renksizleştirilmiş Roma camı, HIMT (yüksek demir-mangan-titanyum) camı, Levant I camı.

Manganla renksizleştirilmiş Roma cam grubu, temel olarak arka plan seviyelerinin üzerinde mangan ($>0,025 \text{ MnO}$) ve saptama sınırlarının (yaklaşık $0,03$) altında Sb_2O_5 içeren camları kapsamaktadır. EET-G15 ve EET-G16 örnekleri, sırasıyla $0,909$ ve $1,14$ mangan içeriği ile manganla renksizleştirilmiş Roma cam grubuna dahil edilebilir (her iki örneğin antimon değeri $0,7 \text{ ppm}$). Ancak bu örnekler, renksiz değil, yeşilimsi renklere sahiptir. Bunun indirgeciyi fırın ortamından kaynaklandığı düşünülmektedir¹²⁴. *Antimon-mangan karışık renksizleştirilmiş Roma camı*, MS 1. ve 3. yüzyıllar arasında, mangan ve antimonun kasıtlı olarak cam harmanına eklenmesine işaret eden derişimlerde hem antimon hem de mangan içeren camı temsil etmektedir ($>0,03 \text{ Sb}_2\text{O}_5$, $>0,025 \text{ MnO}$ saptama sınırları üzerinde). Bu gruba uyan tek örneğin (EET-G2) mangan değerleri $0,181$ iken antimon derişimi 1054 ppm 'dir. Bu grup hem antimon ile hem de mangan ile renklendirilmiş iki camın bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş olmalıdır. Ayrıca 100 ppm üzerinde kurşun içeriğine sahip olması (298 ppm) geri dönüşüm işlemini destekler niteliktedir. MS 4. yüzyıl itibarıyla Avrupa ve Akdeniz boyunca yayılmaya başlayan, önemli miktarda demir ($\geq 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3$), mangan ($\geq 1-2 \text{ MnO}$) ve titanyum ($>0,1 \text{ TiO}_2$) bulunan camlar *HIMT (Yüksek Demir Mangan Titanyum)* camı olarak isimlendirilmektedir. HIMT, her biri $1,50$ 'nin altında potasyum ve magnezyum içeren bir soda-silis camıdır ve bu da üretiminde kullanılan alkalinin soda olduğunu gösterir¹²⁵. Enez cam örnekleri içerisinde EET-G21 ($1,40 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $1,56 \text{ MnO}$ ve $0,181 \text{ TiO}_2$), EET-G23 ($1,36 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $1,64 \text{ MnO}$ ve $0,199 \text{ TiO}_2$), EET-G24 ($1,44 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $1,20 \text{ MnO}$ ve $0,204 \text{ TiO}_2$), EET-G26 ($1,31 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $0,953 \text{ MnO}$ ve $0,214 \text{ TiO}_2$) ve EET-G29 ($1,09 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $1,69 \text{ MnO}$ ve $0,202 \text{ TiO}_2$) örneklerinin HIMT camı olabileceği

¹²⁴ Schibille vd., "Glass Groups, Glass Supply and Recycling in Late Roman Carthage", **Archaeological and Anthropological Sciences**, 9 (6), 2017, s. 1231.

¹²⁵ Freestone vd., "The Production of HIMT Glass: Elemental and Isotopic Evidence", **Annales du 16^e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre**, London, 2005, s. 153–154; Beşer vd., **a.g.e.**, s. 298; Genç, "Archaeometric Investigations of Glass from the Early Byzantine Workshop in Side, Antalya", **Yüksek Lisans Tezi**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2019, s. 28.

düşünülmektedir. Ancak belirleyici özelliği yüksek demir, mangan ve titanyumun olsa da, HIMT camlarının yüksek soda ($\sim\%18-19$), magnezyum ($\geq\%0,8$ MgO), düşük kireç ($\sim\%6$ CaO) içeriklerine de sahip olması beklenmektedir¹²⁶. Ancak gereken tüm kriterleri karşılamadığı için bu camları kabaca HIMT (?) camı olarak sınıflamak daha doğru olacaktır. HIMT camının çağdaşı olan, MS 6. ve 7. yüzyıllarda *Levant camları* olarak gruplandırılan bir başka cam türü daha bulunmaktadır. Levant I camı Roma-Mn ile benzer özelliklere sahiptir. Levant I camları yüksek kireç ($\%8-9$ CaO), alüminyum ($\%2,5-3$ Al₂O₃) ve düşük soda ($\sim\%15$) ve genellikle düşük demir ($\%0,4$ Fe₂O₃) seviyeleriyle karakterize olmaktadır. *Levant II* camı 7. ve 8. yüzyıllara tarihlenmekte ve daha yüksek alüminyum içeriğine sahiptir. Levant II camları, Levant I ile karşılaştırıldığında daha yüksek alüminyum ($\%3-4$) ve silis ($\%73-76$) ile daha düşük kireç ($\%6-8$) ve sodyum ($\%10-13$) içermektedir¹²⁷. Enez camlarında EET-G4 ve EET-G13 camları, yüksek kireç (sırasıyla $\%9,43$ ve $\%9,52$) ve alüminyum (sırasıyla $\%0,689$ ve $\%1,54$) ile düşük sodyum (sırasıyla $\%5,64$ ve $\%13,21$) ve demir (sırasıyla $\%0,350$ ve $\%0,386$) içerikleri ile Levant I grubu olarak değerlendirilebilir. Geç antik dönemde Levant camı, düşük seviyelerde zirkonyum (Zr) ve yüksek seviyelerde stronsiyum (Sr) içerir. Deniz kabuğu parçalarından Sr elde edildiğinde, kıyı kumunun yüksek Sr (> 150 ppm) ve düşük Zr (<160 ppm) içerdiği kabul edilmiştir¹²⁸.

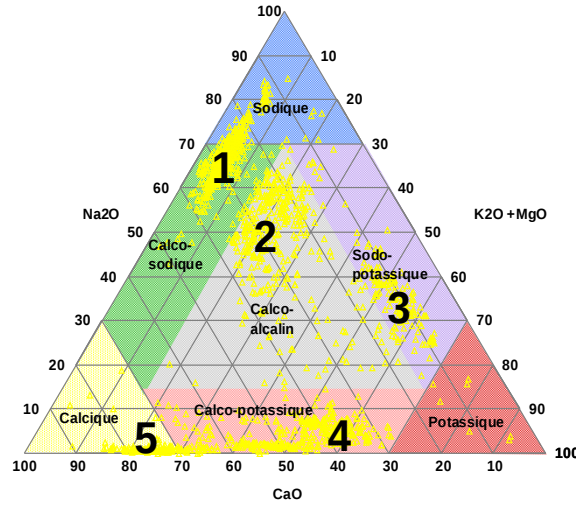
Arkeolojik cam objelerin kimyasal analizleri yapılarak ana bileşenlerine (SiO₂, Na₂O, K₂O, CaO ve MgO) bağlı olarak tarihlemesi, üretim yeri ve cam türü tespitinde üçlü faz diyagram yöntemi geliştirilmiştir (Şekil 5.3). Örneklerin bulundukları bölgeye bağlı olarak aşağıda yer alan camın Na₂O, K₂O, MgO ve CaO bileşenlerine göre gruplanmasında (Triangular plotting); 1 olarak kategorize edilen bölge “soda- kireç camları”nı (Demir Çağı, Antik Dönem, Erken Ortaçağ ve Ortaçağ), 2 olarak kategorize edilen bölge “bitki külü sodası-kireç camları”nı (Orta-Geç Bronz Çağı (Mısır, Miken ve Mezopotamya)), 3 olarak kategorize edilen bölge “soda ve potas karışık alkali

¹²⁶ Foster ve Jackson, “The Composition of ‘Naturally Coloured’ Late Roman Vessel Glass From Britain and the Implications for Models of Glass Production and Supply”, *Journal of Archaeological Science*, 36, 2009, s. 189.

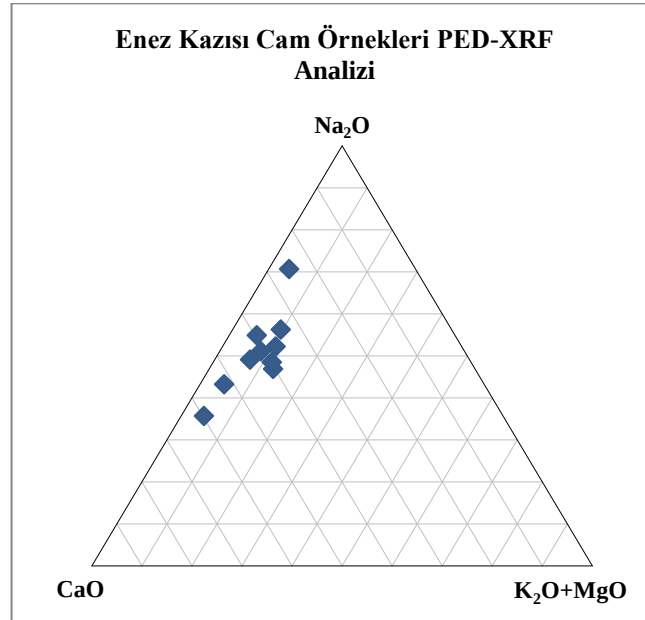
¹²⁷ Freestone vd., “Primary Glass from Israel and the Production of Glass in Late Antiquity and the Early Islamic Period”, *La route du verre: Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.C. au Moyen Âge*, Lyon, 2000, s. 73; Schibille vd., *a.g.e.*, s. 1232, Foster ve Jackson, *a.g.e.*, s. 189.

¹²⁸ Freestone vd., *a.g.e.*, 2000, s. 73.

camları”nı (Geç Bronz Çağı) ve 4 olarak kategorize edilen bölge “orman bitkileri külü potası-kireç camları”nı (Ortaçağ) temsil etmektedir (Şekil 5.3)¹²⁹. PED-XRF sonuçları, beklenenden düşük silis ve sodyum içeriğine rağmen, camların tipik soda-kireç-silis camı olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 5.4).



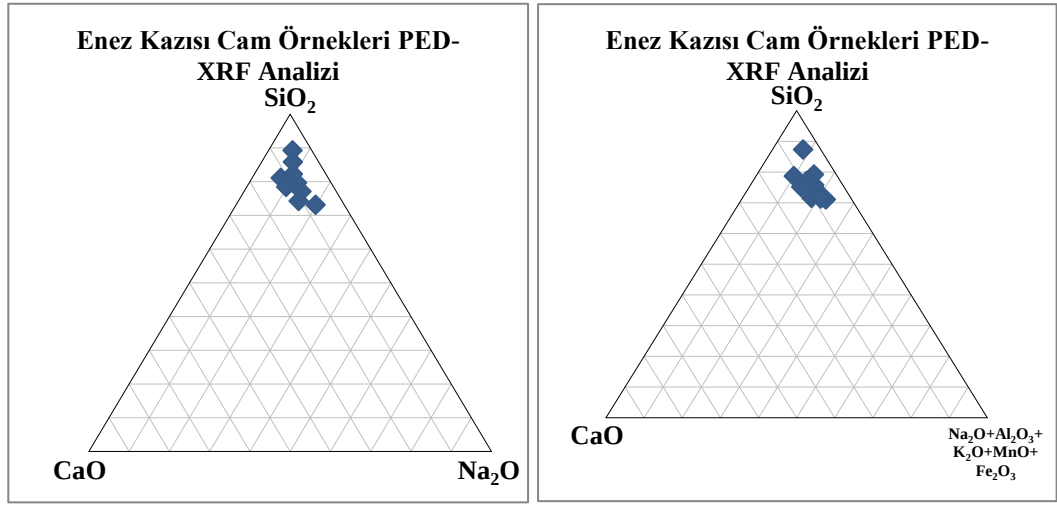
Şekil 5.3: Camların kimyasal bileşenlerine göre cam türü tespitinde kullanılan üçlü faz diyagramı (Hasdemir, 2016)



Şekil 5.4: Enez cam örneklerinin cam türünü gösteren üçlü faz diyagramı

¹²⁹ Hasdemir, “Arkeolojik Camların Kimyasına Göre Üretim Yerinin Tespitinde En Son Yöntem; Nadir Element Analizi Yöntemi”, 12-14 Ekim 2016 Cam Çalıştayı, Sualtı Arkeoloji Enstitüsü, Muğla.

Ana bileşenlere göre yapılan üçlü faz diyagram yönteminde, bu camlar aynı döneme tarihlenmesine rağmen ana bileşenlerinin dağılımına göre en az 5-6 üretim işliğinden geldiği söylenebilir (Şekil 5.5, sol). Ana bileşenlerin yanında toprak grubu elementler de eklendiğinde yaklaşık %1,5’lik katkıları ile gruplar silisyumun etkisinden uzaklaşarak grafiği biraz daha farklılaştırmıştır. Bu durumda 4-5 üretim işliği olduğu söylenebilmektedir (Şekil 5.5, sağ).

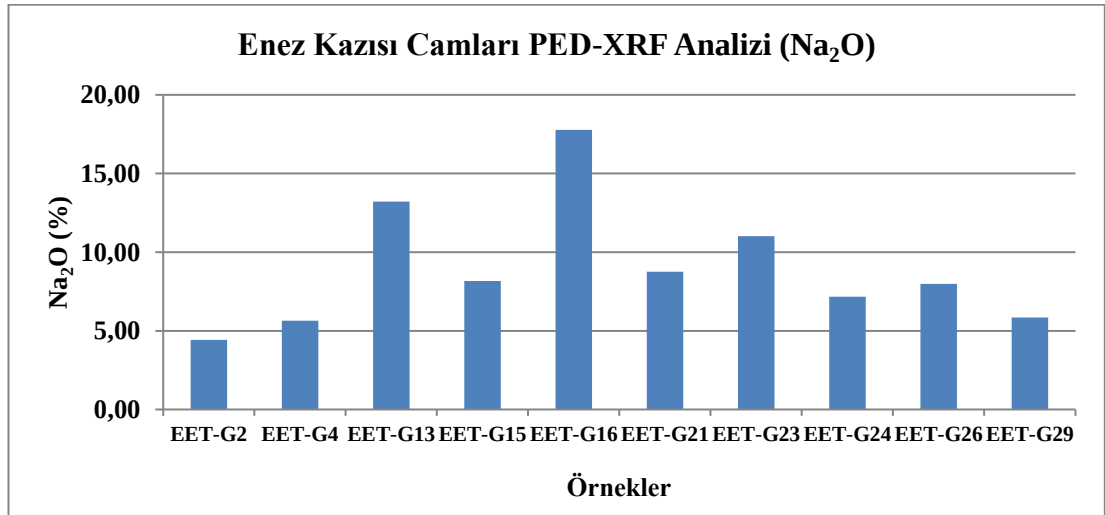


Şekil 5.5: Enez cam örneklerinin ana bileşenlerine göre gruplanması

Cam harmanına ergime derecesini düşürmek için eklenen alkali oksitlerden Na_2O miktarı %4,43 ila %17,78 arasında değişmekte olup, ortalama değeri %9,00’dır. K_2O içeriği %0,430 ila %1,26 arasında değişmekte olup, ortalama %0,774’tür (Tablo 5.3, Tablo 5.4). Kullanılan ergiticinin belirleyicisi olan potasyum ve magnezyum içeriklerinin %1,5’ten düşük olması nedeniyle¹³⁰ ergitici olarak bitki külü yerine natron veya trona kullanılmış olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.6). Camın genel yapısındaki Na_2O içeriği %12-18 arasında görülebilirken, cam objelerin nemli ortamlarda bulunması nedeni ile yüzeyde oluşan jel tabakasında Na_2O içeriğinin

¹³⁰ Scott ve Degryse, “The Archaeology and Archaeometry of Natron Glass Making”, **Glass Making in the Greco-Roman World: Results of the ARCHGLASS Project**, 2014, s. 21; Brill, "Scientific Investigations of the Jalame Glass and Related Finds", **Excavations at Jalame: Site of a Glass Factory in Late Roman Palestine**, 1988, s. 259; Freestone vd. “The Origin of Byzantine Glass from Maroni Petrera, Cyprus”, **Archaeometry**, 44 (2), 2002, s. 257; Davison, **a.g.e.**, s. 75.

azalması beklenmektedir¹³¹. EET-G13 ve EET-G16 örnekleri en yüksek Na₂O değerine sahiptir (sırasıyla %13,21 ve %17,78) ve CaO içeriği sırasıyla %9,52 ve %6,35'tür. Bu iki örnek kısmi bozulma bölgeleri dışında yoğun bir bozulma tabakası içermemektedir. Bu iki örnekteki yüksek sodyum, denizel etki nedeniyle yüzeydeki birikintiden kaynaklanıyor da olabilir. Genellikle klor %0,50 seviyesinin altında iken EET-G13 ve EET-G16 örneklerinde %0,65 üzerinde olması yine denizel etkiyi destekler niteliktedir. Bir diğer neden ise, üfleme tekniği ile üretimden kaynaklı olarak, camların bilinçli olarak CaO içeriğinin düşük (<%6) Na₂O içeriğinin yüksek tutulması olabilir¹³².



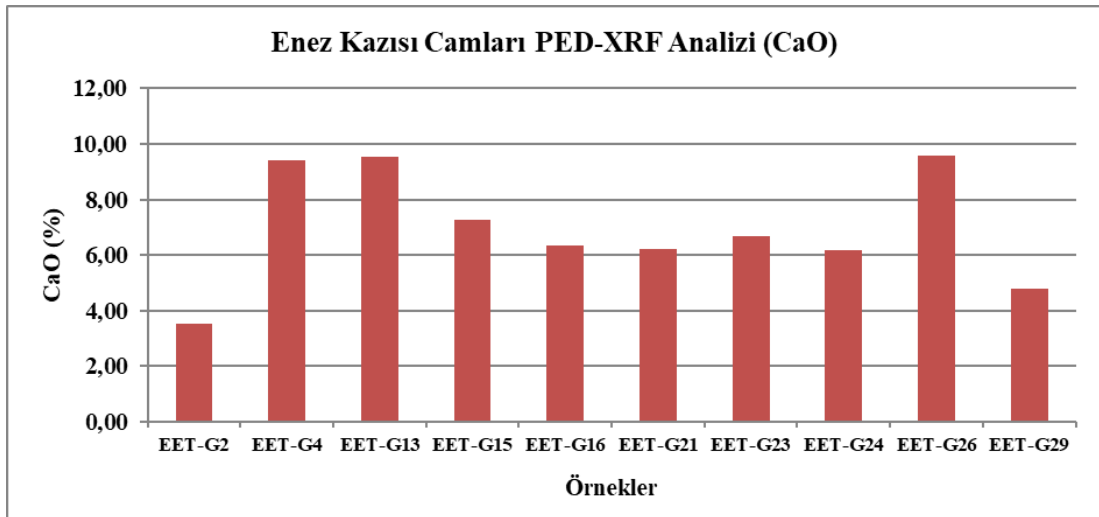
Şekil 5.6: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi Na₂O içeriklerine göre gruplandırılması

Cam harmanına sağlamlaştırıcı olarak eklenen CaO içeriği %3,53 ila %9,58 arasında değişmekte olup, ortalaması %6,95'tir ve MgO içeriği %0,219 ila %0,805 arasında değişmekte olup, ortalaması %0,507'dir (Tablo 5.3, Tablo 5.4). CaO miktarının az olması, camın bozulmaya karşı direncini azaltmada etkili olmaktadır. EET-G2 ve EET-G29 dışındaki 8 örnekte CaO miktarı beklenildiği gibi bulunmuştur. Bu iki örnekte (EET-G2 ve EET-G29) CaO oranı oldukça düşüktür (sırasıyla %3,53

¹³¹ Huisman vd., "Degradation Processes in Colourless Roman Glass: Cases from the Bocholtz Burial", *Journal of Archaeological Science*, 35 (2), 2008, s. 404.

¹³² Baykan, a.g.e., s. 56.

ve %4,80). EET-G2 örneğinde yoğun sedef oluşumu, EET-G29 örneğinde ise yoğun mine aşınma (siyah kabuk) tabakası görülmektedir (Şekil 4.1). Bu iki örneğin aynı zamanda düşük sodyum içeriklerine sahip olması, camın bozulmasından kaynaklanmaktadır. Örnekler arasında EET-G4, EET-G13 ve EET-G26 örneklerinin, diğer örneklerle göre daha fazla CaO içeriğine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.7). Tablo 5.1'e bakıldığında EET-G4 örneğinin bozulmalarının başlangıç seviyesinde olduğu görülmektedir. EET-G4 örneğinin diğer 2 örnekten farkı (EET-G13 ve EET-G26) yüksek CaO içeriği (%9,43)'nin yanı sıra düşük Na₂O içeriğine (%5,64) sahip olmasıdır. CaO ve Na₂O arasındaki denge örnekteki başlangıç seviyesindeki bozulmayı destekler niteliktedir.



Şekil 5.7: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi CaO içeriklerine göre gruplandırılması

Örneklerin P₂O₅ ortalaması 0,055'dir. EET-G23 (%0,208) dışındaki örneklerde, P₂O₅ içeriği oldukça düşüktür (Tablo 5.3, Tablo 5.4). Kemik külü içerisinde fosfor bulunmasından dolayı¹³³, fosforun (P₂O₅) cam harmanındaki varlığı üretimde kemik külünün kullanılmış olabileceğini düşündürmektedir. EET-G23 örneğinin cam harmanında, kemik külü kullanılmış olma ihtimali bulunmaktadır.

¹³³ Marchesi vd., a.g.e., s. 400.

Örneklerin görünen rengi yeşil, mavi ve kahverengidir. Ancak bu örnekler içerisinde PED-XRF ile analiz edilen 10 örneğin analiz sonuçlarında, örneklerin yeşilimsi renklere sahip olduğu anlaşılmaktadır. PED-XRF analizi sonucunda cama renk verici elementlerin demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) olduğu saptanmıştır.

Cama mavi rengini veren kobalt (Co)'tır. Renk ölçümü sonucunda açık mavi olarak belirlenen cam örneği EET-G24'tür. PED-XRF sonucunda en yüksek kobalt (Co) içeriği EET-G24 (85,6 ppm) örneğinde bulunmuştur. Ancak bu örnekte bakır (Cu) oranı 438,3 ppm, kurşun ise 1663 ppm değerindedir. L^*a^*b değerleri tablosundaki veriler ile karşılaştırıldığında (a) değeri -2,56, (b) değeri ise -2,13'dir. Baskın bir yeşil renk ortaya çıkarabilmek için bakır ile birlikte kurşunun¹³⁴ da eklendiği görülmektedir. Örneğin açık mavimsi görünen rengi, yüzeydeki bozulma tabakasından kaynaklanan bir ışık kırılması sonucu oluşmuş da olabilir. Ancak baskın bakır ve kurşun değerlerinden dolayı örneğin renginin yeşil olduğu söylenebilir. Ayrıca kurşunun, camın kimyasal içeriğine bağlı olarak farklı seviyelerde bozulmaya da neden olduğu bilinmektedir. Yüksek kurşun içerikli camlar, daha kararlı silis içeriğine sahip camların aksine en hızlı bozulma oranını göstermektedir¹³⁵.

Fe^{2+} iyonları cama yeşil renk vermektedir. Çözeltide Fe^{2+}/Fe^{3+} oranı azaldıkça renk sarı/kırmızıya doğru gider. Demir (Fe) ve manganın (Mn) birlikteliği kahverengini oluşturmaktadır. Yeşilimsi renkler bakırdan elde edilmektedir. Ancak kalay veya çinkonun da mevcut olup olmadığına bakmak gerekir, çünkü kalayın varlığı, harmana bronz parçacıklarının eklenmiş olabileceğini gösterirken, çinkonun varlığı pirinç parçalarının kullanıldığını önermektedir. Renk ölçümü sonucunda EET-G2 ve EET-G13 örneklerinin rengi mavimsi yeşil, EET-G4 ve EET-G21 örneklerinin rengi yeşil; EET-G15 ve EET-G16 örneklerinin rengi açık yeşil olarak belirlenmiştir. Cama maviden yeşile, sarıdan kahverengiye kadar değişen bir renk yelpazesi sunan demir (Fe_2O_3), %0,35 ila %1,44 arasında değişmekte olup, ortalaması %0,881'dir. Cama turkuaz, mavi ve yeşil tonlarında renk veren bakır (Cu), 9 ppm ila 438,3 ppm

¹³⁴ Kadikova vd., "Study of Deteriorating Turquoise Lead-Potassium Glass Beads at Different Stages of Corrosion Using Micro-FTIR Spectroscopy", **Submitted to Materials Today: Proceedings**; arXiv: 1705.09394, 2017, s. 4.

¹³⁵ Palomar vd. "Hydrolytic Resistance of $K_2O-PbO-SiO_2$ Glasses in Aqueous and High-Humidity Environments", **Journal of the American Ceramic Society**, 2020, s. 8, 10.

arasında olup, ortalaması 85,4 ppm'dir. Örneklerin PED-XRF sonuçlarına göre yeşil renkte olduğu söylenebilmektedir. EET-G2 örneği diğer örneklerden farklı olarak daha yüksek antimon ve kurşun (sırasıyla 1054 ppm ve 298 ppm) içermesi bu elementlerin renk verici madde olarak cama eklendiğini göstermektedir¹³⁶.

Renk ölçümünde EET-G23, EET-G26, EET-G29 örneklerinin ise yüzeyinde bulunan bozulma tabakası nedeniyle renkleri belirlenememiş ve kahverengi tabakadan dolayı renk kahverengi olarak tespit edilebilmiştir. Ancak PED-XRF analizi sonucunda EET-G23 örneğinde bakır (Cu) içeriği 94,5 ppm, kurşun (Pb) içeriği 248,6 ppm ve demir (Fe) içeriği %1,36'dır. EET-G26 örneğinde bakır (Cu) içeriği 53,8 ppm, kurşun (Pb) içeriği 95,8 ppm ve demir (Fe) içeriği %1,31'dir. EET-G29 örneğinde bakır (Cu) içeriği 46,2 ppm, kurşun (Pb) içeriği 107,6 ppm ve demir (Fe) içeriği %1,09'dur. Örneklerin tutarlı ve düşük kobalt içeriklerinden ve nispeten yüksek bakır ve kurşun içeriklerinden dolayı renklerinin yeşilimsi olduğu söylenebilir.

Cama mor rengi veren aynı zamanda renksizleştirici olarak da kullanılan mangan (Mn) %0,181 ila %1,689 arasında olup, ortalaması %1,09'dur (Tablo 5.3, Tablo 5.4). Manganın %0,4'ten fazla olması cama kasıtlı olarak eklendiği anlamına gelmektedir¹³⁷. Ortalama %1,09 oranında bulunan mangana rağmen çalışılan örnekler arasında renksiz bir cam örnek bulunmamaktadır. Bu cam içeriğinde ortalama %0,881 oranında bulunan demirin (%0,35- 1,44 arası) cama mavi ya da yeşil tonlarında renk vermesi ile açıklanabilir. Yalnızca bir örnek (EET-G2) diğerlerinden yüksek antimon (Sb) (1054 ppm) içeriğine sahiptir. Bir diğer renksizleştirici olan antimon, bu örneğin mavimsi-yeşil renkte olmasından dolayı, beklenen etkiyi fırın ortamında bir indirgeyici olarak işlev görmesi nedeniyle verememiş olmalıdır. Antimonun aynı zamanda, cam içerisinde hapsolan hava boşluklarını (habbe) giderici bir madde olarak cam harmanına eklendiği bilinmektedir. Örneklerin yüzey bozulmaları mikroskop altı incelemelerde habbelerin görüntülenmesini etkilediğinden, antimonun habbe giderici etkisi, özellikle yüksek antimon içeriğine sahip EET-G2 örneğinde gözlemlenememektedir.

¹³⁶ Akyol ve Kadioğlu, **a.g.e.**, s.34.

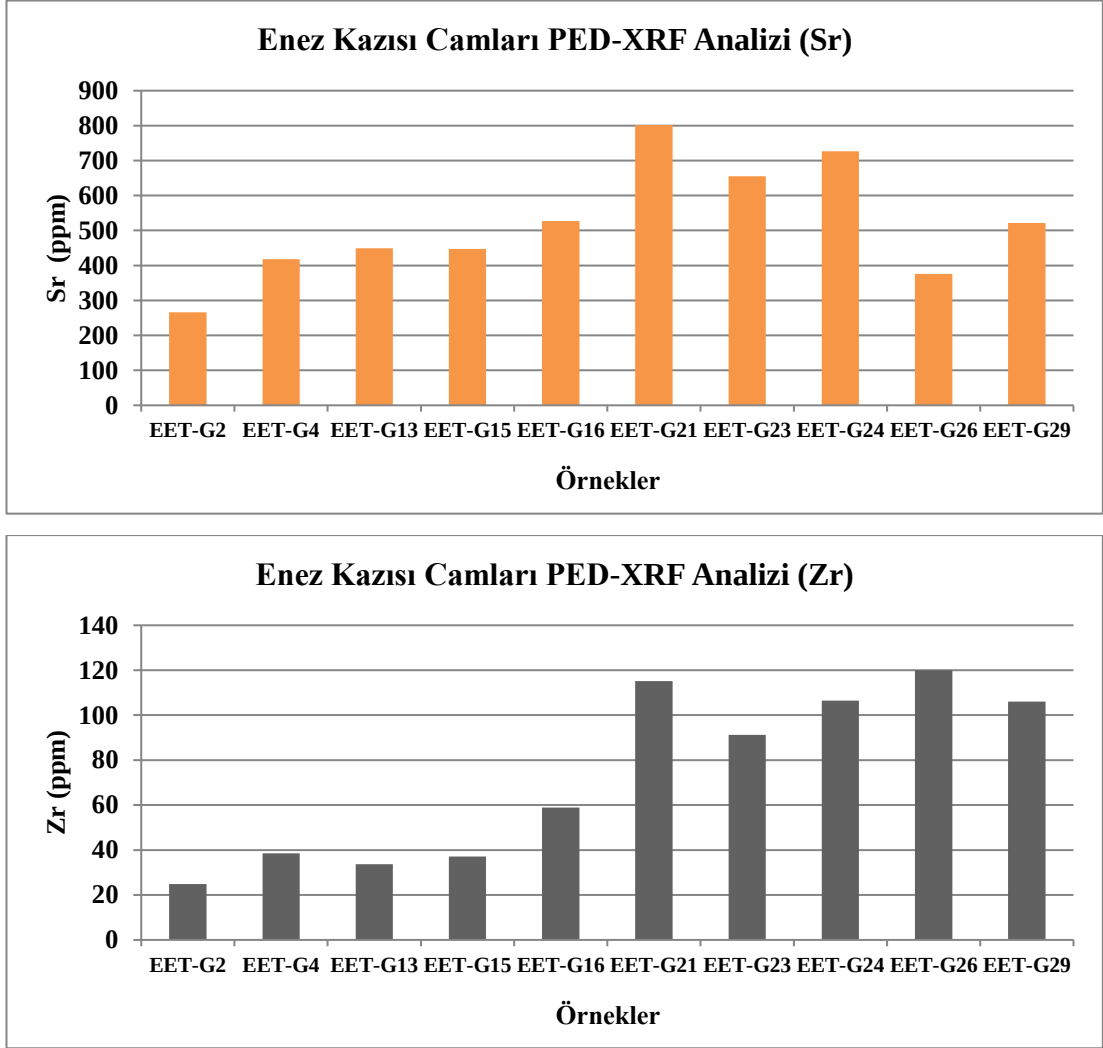
¹³⁷ Brill, **a.g.e.**, 1988, s. 259.

Cam örnekleri, bakır (Cu) içeriklerine göre 3 gruba ayrılmıştır. Bakır içeriği düşük olanlar (EET-G2, EET-G4, EET-G16), orta seviyede olanlar (EET-G13, EET-G15, EET-G21, EET-G26, EET-G29) ve yüksek seviyede olanlar (EET-G23, EET-G24). Kobalt içeriği yüksek olan örneklerin bakır içeriği de yüksektir. Örneklerin genel itibarıyla tutarlı ve düşük kobalt içeriklerine ve daha baskın bakır içeriklerine sahip olması nedeniyle camların yeşil renkte olduğu söylenebilmektedir.

Stronsiyum (Sr) ve izotopları, antik camların hem ham maddelerini hem de kökenlerini tanımlamak için güçlü bir araçtır. Camdaki stronsiyumun büyük bir kısmının, camda kireç taşıyan bileşenlerden (kalsiyum karbonat içeren bir deniz kabuğu veya kireçtaşı, kireç bakımından zengin bitki külü) gelmesi muhtemeldir. Stronsiyum (Sr) ve zirkonyum (Zr) miktarları üretimde kullanılan kumun kökeni hakkında bilgiler verebilmektedir. Stronsiyumun fazla (>400 ppm) olması üretimde kullanılan kumun büyük olasılıkla denizel kökenli olduğuna işaret etmektedir. Karasal kökenli kumlarda ise, Sr miktarının 150 ppm'den az, Zr miktarının ise 160 ppm'den fazla olması beklenmektedir¹³⁸. PED-XRF sonuçlarında, Sr içeriği 265,7 ppm ila 801,7 ppm arasında değişmekte olup, ortalaması 518,8 ppm'dir. İki örneğin (EET-G2 ve EET-G26) Sr içeriği 400 ppm altındadır; ancak karasal özelliği de yansıtmamaktadır. Örneklerin genel olarak Sr miktarının 400 pm üzeri olması, kullanılan kumun denizel olduğu göstermektedir (Şekil 5.8, Tablo 5.3, Tablo 5.4). Ayrıca baryum (Ba) içeriği 5 örnekte 300 ppm'den fazladır ve özellikle EET-G15 örneğinde 1175 ppm kadar yüksek bir değere sahiptir. Aynı örneklerde Al₂O₃ içeriği de %1'den fazladır. Bu sonuçlar, camların üretiminde alkali feldispat bakımından zengin bir kumun kullanıldığını düşündürmektedir¹³⁹.

¹³⁸ Wedepohl ve Baumann, "The Use of Marine Molluscan Shells in the Roman Glass and Local Raw Glass Production in the Eifel Area (Western Germany)", *Naturwissenschaften*, 87 (3), 2000, s. 129; Freestone vd., *a.g.e.*, s. 19, 21; Akyol vd., *a.g.e.*, 2014, s. 10.

¹³⁹ Silvestri, "The colourless glass of Iulia Felix", *Journal of Archaeological Science*, 35, 2008, s. 339.



Şekil 5.8: Enez cam örneklerinin PED-XRF analizi Stronsiyum (Sr) ve Zirkonyum (Zr) içeriklerine göre gruplandırılması

Cam harmanındaki Al_2O_3 'ün varlığı, genellikle silis ham maddesinden kaynaklanmaktadır ve kuvars kumu kullanımına işaret etmektedir¹⁴⁰. Al_2O_3 oranları birbirinden çok farklı ise farklı silis kaynaklarının kullanıldığı, oranlar birbirine yakın ise silis ham maddesinin aynı kaynaktan olduğu hakkında bilgiler vermektedir. Analiz edilen örneklerin Al_2O_3 oranları (%0,503 ila 2,70 arasında) birbirinden farklılık göstermektedir. Örneklerin farklı oranlarda olması farklı silis kaynağı kullanımına

¹⁴⁰ Goffer, **a.g.e.**, s. 119; Akyol vd., **a.g.e.**, 2015, s. 211.

işaret etmektedir. Örneklerin 6'sında (EET-G13, EET-G15, EET-G21, EET-G23, EET-G24 ve EET-G29) Al_2O_3 miktarı %1'den fazladır (Tablo 5.3, Tablo 5.4).

Noktasal Mikro XRF analizi, Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (YEBİM) Spectro Midex cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Raman analizleri için seçilen örnekler arasından doğrudan sedef oluşumu ve siyah kabuk (mine aşınma) oluşumu tabakası üzerinde Noktasal Mikro XRF analizi yapılmıştır (Tablo 5.5). EET-G13 örneğinde, yüzeydeki sedef oluşumu tabakasından alınan ve EET-G24 örneğinde siyah kabuk tabakasından alınan örneklerde yapılan analiz sonucunda, Mn ve Fe elementlerine dikkat çekilmek istenmiştir. PED-XRF analizi sonuçlarında EET-G13 örneğinde mangan (Mn) içeriği %0,626 ve demir (Fe) içeriği %0,386 iken Noktasal Mikro XRF analizi sonucunda mangan içeriği %0,142 ve demir içeriği %0,450'dir. Bu örneğin sedef oluşumu tabakasında analiz yapıldığı için manganın yüksek olması beklenmemektedir. Ancak yüksek olması beklenen demir içeriğinde nispeten artış görülmektedir. Ayrıca EET-G13 örneğinden alınan sedef oluşumu tabakasında alüminyum içeriğinin yüksek bulunması, bozulma ile ilişkilendirilebilecek bir diğer sonuçtur. Siyah kabuk oluşumunda yüksek olması beklenen mangan içeriği EET-G24 örneğinde yüksek bir değer göstermektedir. PED-XRF analizi sonucunda mangan (Mn) içeriği %1,20 ve demir (Fe) içeriği %1,44 iken, Noktasal Mikro XRF analizi sonucunda mangan içeriği %1,25 ve demir içeriği %0,749 olarak belirlenmiştir.

Element	Birim	EET-G13	EET-G24
Mg	%	6,62	8,90
Al		3,84	3,38
P		0,090	0,090
S		0,080	0,080
Ti		0,087	0,162
V		0,010	0,016
Cr		0,008	0,005
Mn		0,142	1,25
Fe		0,450	0,749
Co		0,003	0,004
Ni		0,015	0,015
Cu		0,010	0,009
Zn		0,003	0,002
Ga		0,010	0,001
Zr		0,050	0,050
Nb		0,094	0,098
Mo		0,083	0,076
Rh		0,002	0,002
Pd		0,004	0,004
Ag		0,004	0,005
Cd		0,005	0,005
In		0,006	0,006
Sn		0,007	0,007
Sb		0,011	0,012
W		0,005	0,003
Ir		0,001	0,001
Pt		0,020	0,020
Au		0,020	0,020
Pb		0,014	0,012
Toplam		26,29	21,95

Tablo 5.5: Enez camları Noktasal Mikro XRF analiz sonuçları

5.5. SEM-EDS Analizi

Roma Dönemi'ne tarihlenen etütlük 10 cam örneğin (EET-G1, EET-G2, EET-G3, EET-G5, EET-G6, EET-G10, EET-G12, EET-G24, EET-G25 ve EET-G30) incelenmesinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmış, element analizi ise SEM'e bağlı Enerji Dağılımlı X-ışını spektrometresi (EDS) ile gerçekleştirilmiştir (Tablo 5.6). Bu çalışmada, Türk Kültür Vakfı Kültürel Miras ve Doğal Boya Laboratuvarı'nda TESCAN EasySEM markalı, Bruker X-Flash 410-M dedektör uyumlu (Yazılım: Esprit 1.9) taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. 10 cam örnek, yüksek çözünürlükte görüntü elde edilebilmek için analiz sonucunu etkilemeyen karbon ile kaplanmıştır ve görüntüler sekonder (SE) ve geri saçılımlı (BSE) dedektör kullanılarak alınmıştır. Karbon kaplamanın analiz sonucunu etkilememesi için karbon elementi tüm analiz sonuçları için ihmal edilmiştir.

Sıra No.	Örnek Kodu	Tespit Edilen Element Oksitler ve Yüzdeleri										
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO
1	EET-G1	9,31	0,97	4,19	75,09	0,25	0,81	0,68	7,94	0,14	0,27	0,37
2	EET-G2	6,52	0,78	4,74	75,16	1,66	1,14	0,77	8,48	0,04	0,28	0,44
3	EET-G3	19,88	0,76	2,48	67,72	0,50	1,31	0,39	6,17	0,03	0,30	0,45
4	EET-G5	3,68	0,84	6,58	76,98	0,16	0,60	0,57	8,04	0,31	1,22	1,02
5	EET-G6	9,39	1,48	4,33	71,25	0,49	0,83	0,69	8,04	0,28	1,49	1,72
6	EET-G10	4,36	0,70	6,35	79,57	0,12	0,57	0,44	6,97	-	0,50	0,43
7	EET-G12	19,80	1,57	3,30	64,23	0,32	0,97	0,37	5,68	0,40	2,14	1,22
8	EET-G24	10,24	1,52	5,03	72,62	0,29	0,53	1,07	6,38	0,11	1,12	1,08
9	EET-G25	19,21	1,12	3,11	63,70	0,35	0,80	0,66	8,95	0,18	1,06	0,86
10	EET-G30	4,89	1,11	5,58	76,53	0,15	0,42	0,87	7,84	0,30	0,84	1,48
ORTALAMA		10,73	1,08	4,57	72,28	0,43	0,80	0,65	7,45	0,20	0,92	0,91

Tablo 5.6: Enez cam örnekleri SEM-EDS analizi sonuçları

Camın genel olarak bozulma tabakası, cam matrisinden sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi alkali iyonlarının kaybını ve bunların hidrojen iyonları ile yer değiştirmesini içerir. Alkali iyonlarının camdan çözünmesi ve daha sonra bunların sudan H⁺ iyonları ile değiştirilmesi, bozulma bölgesinde bir pH artışına neden olur. Bozulma süreçleri, bir camdaki ağ yapıcılar (SiO₂), ergiticiler (K₂O ve Na₂O) ve sağlamlaştırıcılar (CaO ve MgO) gibi kimyasal bileşikler arasındaki korelasyonu farklı

bir şekilde etkilemektedir¹⁴¹. Her türlü bozulma süreci, genellikle silis ve alüminyumun artmasıyla birleştiğinde güçlü bir sodyum tükenmesi göstermektedir. Bunların yanı sıra Fe₂O₃'ün de artması beklenmektedir. Bunun kimyasal çözünme sonrası hidrasyon nedeni ile silis ağının çözünmesi ile ilişkili olarak gerçekleşmesi beklenmektedir. Alkali ve toprak alkali iyonlarının çözünmesinin neden olduğu sedef oluşumu, süt beyazı aşınma veya matlaşma türü bozulmaların aksine, mine aşınma (siyah kabuk), Mn, Fe ve camı etkileyen su tarafından çevredeki topraktan cama giren diğer metalik iyonların göçünden kaynaklanmaktadır¹⁴².

Genellikle SiO₂ ve Al₂O₃ içeriği, bozulmuş camlarda artar, çünkü ağ yapıcılardır ve camdan çözünmeleri oldukça zordur; ancak demir (Fe) bakımından zengin katmanlarda ve yüzeye yakın Mn açısından zengin katmanlarda tükenmesi beklenir. Bunun yanı sıra pH 9'u aşarsa, silis matrisi de çözünmeye başlar. Bozulma tabakasındaki Na₂O içeriğinde önemli bir azalma, camların gömülme koşullarına uzun süre maruz kalması sırasında meydana gelen kimyasal çözünme işleminin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Camın genel yapısında daha yüksek Na₂O değerleri görülürken, her türlü bozulmuş camda Na₂O'nun önemli ölçüde azalması beklenmektedir. Soda bakımından zengin camlar için, bozulmamış camdaki Na₂O içeriği arttıkça bozulmuş tabakadaki Na₂O içeriği azalırken, potas bakımından zengin olan karışık alkali camlar için, bozulmamış camdaki Na₂O içeriği arttıkça bozulmuş tabakadaki Na₂O içeriği artmaktadır. Ayrıca kalsiyum (CaO) içeriğinin de kimyasal çözünme sonucu azalması beklenir; ancak kalsit oluşumundan dolayı tabakalarda sistematik olarak artabilmektedir. Potasyum, magnezyum ve klor gibi diğer az elementler, muhtemelen nemli ortamın tercih ettiği tuzlu kabukların oluşumundan dolayı, bozulmuş bölgede zengindir. Her durumda bozulmuş yüzeylerde demir (Fe₂O₃) ve titanyum (TiO₂) içeriği artmaktadır. Klor, camda iyonik formda bulunur ve sadece çok az miktarlarda cam matrisinde çözünebilir (tipik olarak soda-kireç-silis camlarda %2'den az). Bozulmuş yüzeylerde, klor iyonlarının varlığı, özellikle kütleye göre artan değerler

¹⁴¹ Abd-Alla, **a.g.e.**, s. 44.

¹⁴² Gueli vd., **a.g.e.**, s. 221-224.

için, in situ oluşan tuzlarla açıklanabilir. Genel olarak varlığı deniz ortamları ile ilgilidir¹⁴³.

Örneklerin SEM-EDS sonuçlarında (Tablo 5.5) genel olarak SiO₂ ve Al₂O₃ içeriklerinin PED-XRF sonuçlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. SiO₂ içeriği, %63,70 ila %79,57 arasında olup, ortalaması %72,28'dir. Al₂O₃ içeriği, %2,48 ila 6,58 arasında olup ortalaması %4,57'dir. Bu durum bozulmuş camlarda SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğinin artması ile ilişkilidir (Tablo 5.7). EET-G2 ve EET-G24 örneklerinde, her iki analiz (PED-XRF ve SEM-EDS) de yapıldığından karşılaştırma için veri sağlamaktadır. PED-XRF analizi sonucunda EET-G2'nin SiO₂ ve Al₂O₃ içeriği sırasıyla, %66,46 ve %0,678 iken, SEM-EDS analizi sonucunda SiO₂ ve Al₂O₃ içeriği sırasıyla %75,16 ve %4,74'tür. PED-XRF analizi sonucunda EET-G24'ün SiO₂ ve Al₂O₃ içeriği sırasıyla, %62,06 ve %2,62 iken, SEM-EDS analizi sonucunda SiO₂ ve Al₂O₃ içeriği sırasıyla %72,62 ve %5,03'tür. Bu iki analiz arasındaki fark, PED-XRF analizinde camın genel yapısı hakkında bilgi elde etmek için örneğin toz haline getirildikten sonra incelenmesinden, SEM-EDS'te ise bozulmuş yüzey tabakasının bulunduğu yüzeyin incelenmesinden kaynaklanmaktadır.

Element (%)	EET-G2		EET-G24		
	PED-XRF	SEM	PED-XRF	Mikro XRF	SEM
	Cam Hamuru	Bozulma Tabakası	Cam Hamuru	Bozulma Tabakası	Bozulma Tabakası
SiO ₂	66,46	75,16	62,06	-	72,62
Na ₂ O	4,43	6,52	7,17	-	10,24
CaO	3,53	8,48	6,16	-	6,38
K ₂ O	0,430	0,77	1,26	-	1,07
MgO	0,283	0,78	0,679	-	1,52
Al ₂ O ₃	0,678	4,74	2,62	3,38	5,03
Fe ₂ O ₃	0,379	0,44	1,44	0,749	1,08
MnO	0,181	0,28	1,20	1,25	1,12

Tablo 5.7: PED-XRF ve SEM-EDS analizlerine göre camın bileşenlerinin karşılaştırılması

¹⁴³ Doménech-Carbo vd., "Study on Corrosion Processes of Archaeological Glass from the Valencian Region (Spain) and its Consolidation Treatment", **Microchim Acta**, 154, 2006, s. 127-133; Verney-Carron vd., "Understanding the Mechanisms of Si-K-Ca Glass Alteration Using Silicon Isotopes", **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 203, 2017, s. 417.

SEM-EDS analizi sonucunda Na₂O içeriği %3,68 ila 19,88 arasında değişmekte olup ortalaması %10,73'tür. K₂O %0,37 ila 1,07 arasında değişmekte olup ortalaması %0,65'tir. CaO içeriği %5,68 ila 8,95 arasında değişmekte olup ortalaması %7,45'tir. Örneklerin Na₂O ve CaO içeriklerinin, kimyasal çözünme sonucu oluşan jel tabakası nedeniyle düşük olması beklenmektedir; ancak %19,88 gibi yüksek bir Na₂O içeriği bulunmaktadır. Oysa ki bu değerlerin düşük olması beklenirdi. Bunun camların bulunduğu ortamdan, yani denizel etkiden kaynaklandığı düşünülmektedir. EET-G3, EET-G12 ve EET-G25 örneklerinin Na₂O içeriği, diğer örneklerden oldukça yüksektir. Aynı örneklerin nispeten Cl içerikleri (sırasıyla %1,31, %0,97 ve %0,80) de yüksektir. Yine bu içeriklerin denizel etki nedeniyle daha yüksek olduğu söylenebilir. 4 örnek (EET-G6, EET-G12, EET-G24 ve EET-G30) nispeten yüksek MnO ve FeO içeriğine sahiptir. Bahsedilen bu örneklerde, mine aşınmanın ileri derecede olması, MnO ve FeO sonuçlarını destekler niteliktedir.

Örneklerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntülerinde, cam yüzeyinde yer alan bozulmalar gözlemlenebilmektedir (Şekil 5.9). Bunların sayısı ve yoğunluğu, artan çözünme süresi ile, yani çoğalan tabaka kalınlığı ile artmaktadır¹⁴⁴.

EET-G1 örneğinde gözle görünmeyen ve EET-G2 örneğinde ise başlangıç seviyesinde görünebilen çukur oluşumları, SEM görüntülerinden net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Bu iki örneğin SEM görüntüleri oldukça benzerdir.

EET-G3 örneğinde çukur oluşumu çıplak gözle net bir şekilde görülebilirken, örneğin belki de incelenen alanından kaynaklı olarak çukurlaşmayı SEM görüntüsünde görememekteyiz. Sedef oluşumu ve mine aşınmanın (siyah kabuk) çok yoğun olmadığı bu örnekte yüzeydeki çizgilerin, pullanmaya henüz başlamış örnek yüzeyini temsil ediliyor olabileceğini düşündürmektedir.

EET-G5 ve EET-G6 örneklerinin SEM görüntülerinden camda oluşan çukur oluşumları net bir şekilde görülebilmektedir. Ancak EET-G5 örneğinin görsel incelemelerinde çukurlaşma belgelenememiştir. EET-G6'da ise çukur oluşumu daha ileri seviyededir ve yüzey bozulma tabakalarının pul pul döküldüğü alanlar görüntülenebilmektedir (Şekil 3.7).

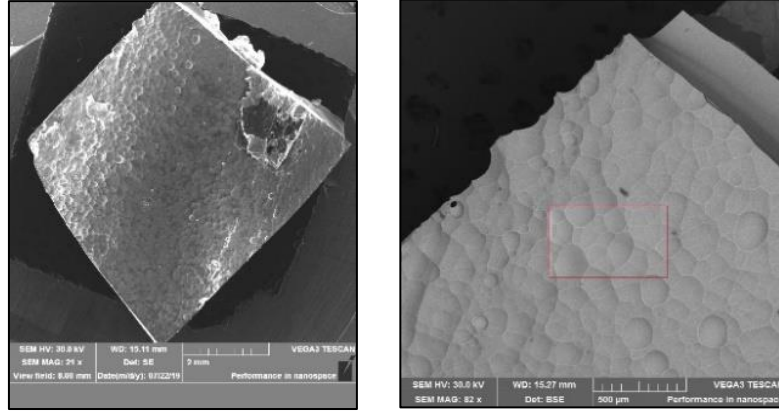
¹⁴⁴ Mäder vd., **a.g.e.**, s. 866.

EET-G10 örneğinde görülen mine aşınma yani siyah kabuk oluşumunun neden olduğu yoğun bir pullanma görülmektedir.

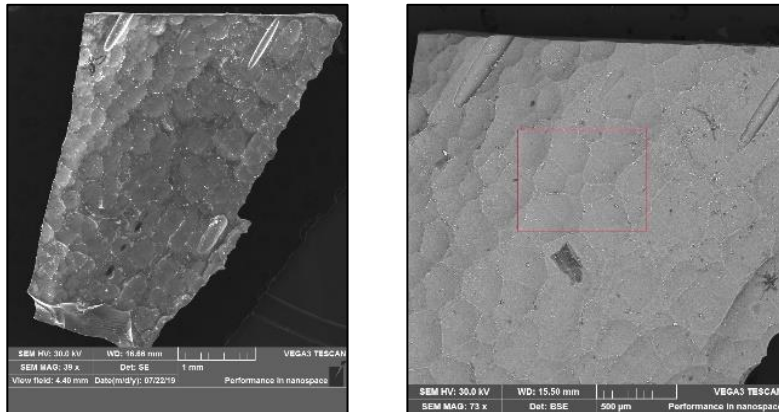
EET-G12 örneğinin SEM görüntüsünde çukur oluşumu nedeniyle çukur ve mine aşınma (siyah kabuk) ile sedef oluşumu nedeniyle pullanma görülmesi beklenirken, örneğin sağlam bir alanını temsil eden bir bölgeden görüntü alındığı düşünülmektedir.

EET-G24 örneğinde sedef oluşumu ve mine aşınma (siyah kabuk) nedeni ile oluşan pullanmalar görülebilmektedir.

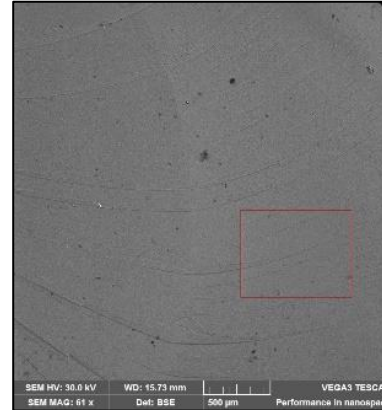
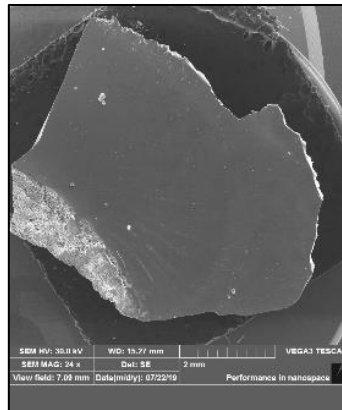
EET-G25 ve EET-G30 örnekleri SEM görüntüleri optik mikroskop altında alınan görüntülere (Şekil 5.1) benzer bir görüntü vermektedir



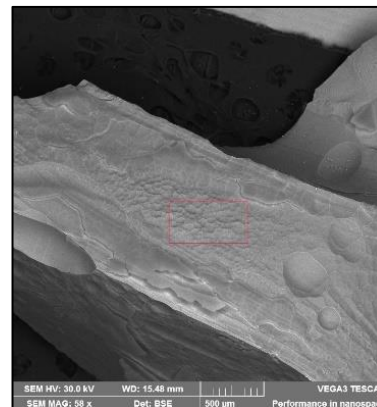
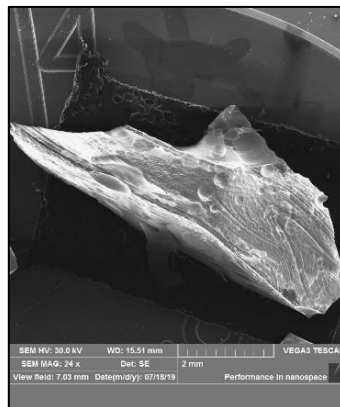
EET-G1



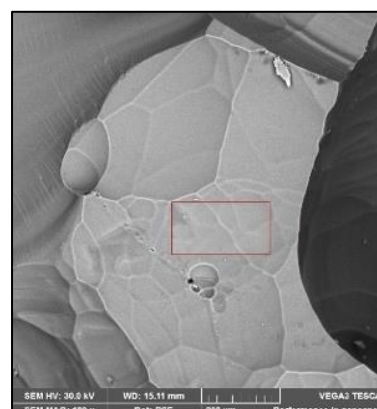
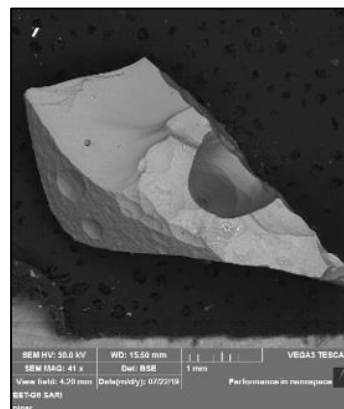
EET-G2



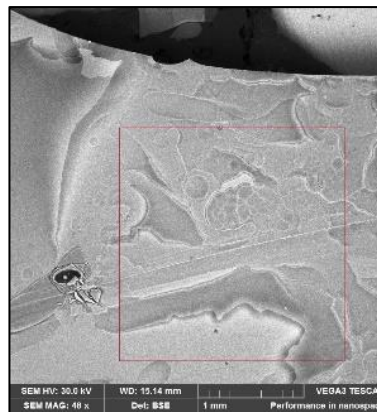
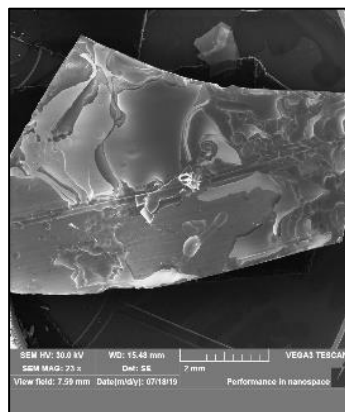
EET-G3



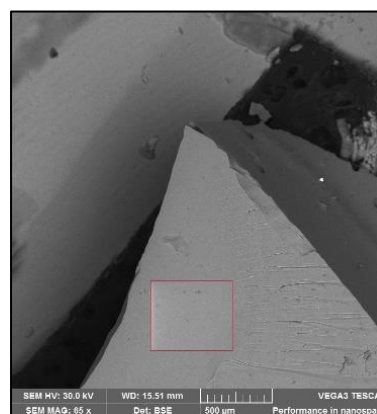
EET-G5



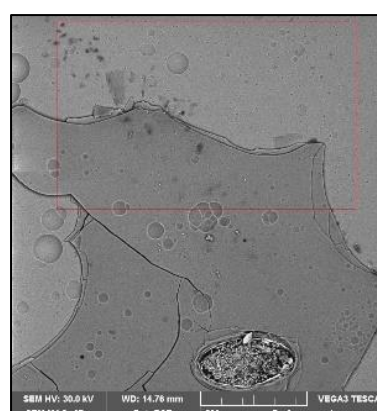
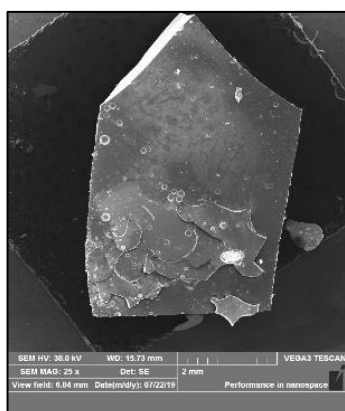
EET-G6



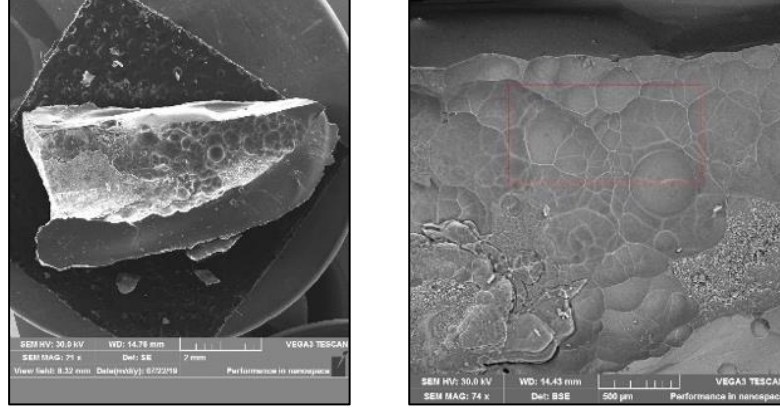
EET-G10



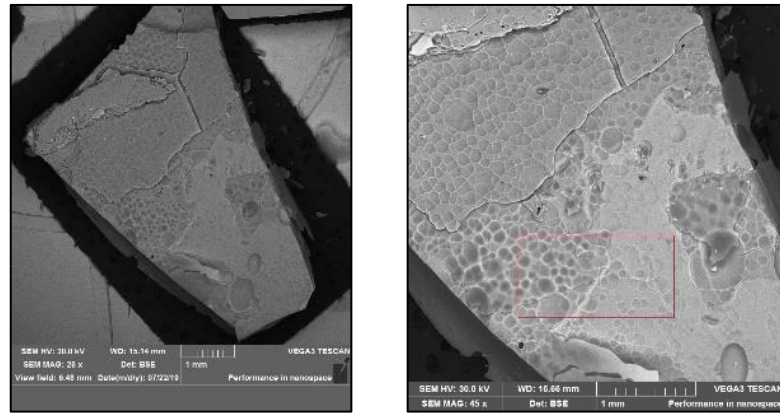
EET-G12



EET-G24



EET-G25



EET-G30

Şekil 5.9: Enez cam örneklerinin SEM analizi görüntüleri

5.6. Raman (Konfokal) Spektroskopi Analizi

Raman spektroskopi ile örneklerin detaylı çalışmalarının yapılmasına başlanmıştır. Cam örneklerin hamur bileşimini oluşturan mineral ve bileşik türleri, Raman konfokal spektroskopi analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Bu çalışmada Raman ölçümleri bir Thermo DXR spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Sistem 633 nm lazer, elektrik soğutmalı yükten bağımlı aygıt (CCD) dedektörü, 10X, 20X, 50X ve 100X uzun odaklı hedeflere sahip bir Olympus optik mikroskop ile donatılmıştır. Cihaz kalibrasyonu bir polistiren film kullanılarak test edilmiştir. Raman spektrumları

100–2800 cm^{-1} ve 100–1200 cm^{-1} aralığındaki 2 cm^{-1} çözünürlükte alınmıştır. Raman spektrumları Labspec 4.02 programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Konfokal spektrometre ile Raman spektrumları ve Raman görüntüleri hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Seçilen bazı cam örnekler üzerinde Raman spektrumları elde edilebilmiştir. Si-O titreşimi ile ilişkili, 500 ve 1100 cm^{-1} enerji düzeylerinde sırasıyla eğilme titreşimi (bending vibration; 500 cm^{-1}) ve gerilme titreşimi (stretching vibration; 1100 cm^{-1}) hareketlerini gösteren doruklar belirlenmiştir.

Antik camlardaki mangan seviyeleri %1 civarındadır. Siyah kabuk oluşumu (mine aşınma) bozulma tabakaları, Mn bakımından zengin ve tabakaların yakın yüzey bölgesinde görülen Fe bakımından zengin bölgeler ile ince yapraklanmış bir yapı gösterir. Mikro çatlaklar nedeniyle oluşan boşluklar camın gövdesine nüfuz etme ve bozulma üretme olasılığını arttırmaktadır. Bu bozulma sonucunda bazen, çukurların merkezinde Ca ve P birikimleri görülür. Bozulma ürünlerinde Mn, Ca, P ve Fe bakımından zengin bölgelerin ortaya çıkması sadece toprakaltı arkeolojik alanlardan camların değişiminin karakteristiğidir. Mn, Fe, Ca ve P'nin camın yüzeye yakın birikimlerinin toprak kaynaklı olma ihtimali yüksektir¹⁴⁵.

Mine aşınmadaki siyah kabuklanmada, yüksek mangan içeriği görülürken, aynı element camın genel yapısında ve diğer bozulma türlerinde her zaman daha az bulunmaktadır¹⁴⁶. Cam yüzeyinin kararması camda bulunan demir ve mangan iyonlarının oksidasyonundan kaynaklanabilmektedir. %0,5'ten daha düşük Fe_2O_3 içeriği cam üretiminde kullanılan kumdan cam ağına girmektedir. Benzer şekilde, %1'den düşük MnO içeriği, cam bileşiminde safsızlık olarak bulunabilmektedir. Ancak demir ve mangan renksiz camlarda yaklaşık %0,5 ila %1 arasında değişen derişimlerde camın renksizleştirilmesi için kasıtlı olarak da bulunabilmektedir. Bunlar camın ağ yapısından çözünerek oksidasyona ve yer değiştirmeye uğrayabilirler¹⁴⁷.

Hem iç hem de dış mangan kaynaklarının, genellikle toprak altı arkeolojik camda meydana gelen siyah veya kahverengi kabuklanmaya (mine aşınma) neden olduğu bilinmektedir. Manganın topraktaki varlığını SEM-EDS analizi ile görmek

¹⁴⁵ Silvestri vd., **a.g.e.**, 2008a, s. 1345; Watkinson vd., **a.g.e.**, s. 71.

¹⁴⁶ Palomar, "Characterization of the Alteration Processes of Historical Glasses on the Seabed", **Materials Chemistry and Physics**, 214, 2018, s. 394.

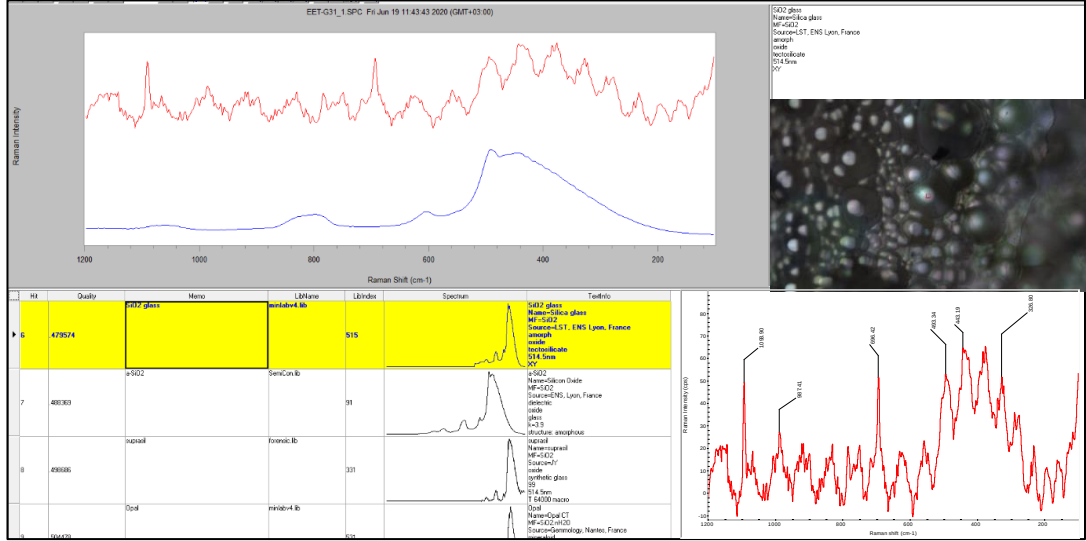
¹⁴⁷ Doménech-Carbo vd., **a.g.e.**, s. 133-134.

mümkündür. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada, mangan içermeyen bir Orta Çağ camı, mangan içeren sulu bir çözeltiye daldırıldığında ve birkaç hafta sonra daldırma örnekleri kesitlere ayrılıp incelendiğinde, manganın camdaki çatlaklarda varlığı tespit edilmiştir. Dış etkilere kaynaklı olarak cama dahil olan manganın toprak altındaki bir Orta Çağ potas camında siyah kabuk oluşumuna neden olabileceği anlaşılmıştır¹⁴⁸.

Tez kapsamında incelenen cam örnekler içerisinde seçilen EET-G1, EET-G13, EET-G24 ve EET-G31 örneklerinde Raman (Konfokal) analizi yapılmıştır. Cihazın kütüphanesine göre aşağıdaki grafiklerde yer alan mavi doruklar, referans olarak kütüphanede o doruğa eş değer olan minerali gösterirken, kırmızı doruklar ise analiz edilen örneğin sonucunu göstermektedir.

Örnekler içerisinde seçilen EET-G31 örneğinde SiO_2 'nin varlığı Raman analizinde de belirlenmiştir (Şekil 5.10). Bozulma sonucu yüzeyde oluşan jel tabakasında silisyum içeriğinin artması beklendiği için, Raman analizi ile de bu sonuç belirgin bir şekilde ortaya konmuştur. EET-G31 örneklerinin sedef oluşumu tabakasında demirin varlığına işaret eden goetit minerali bulunmuştur. Özellikle siyah kabuk oluşumunda demir içeriğinin yüksek olması beklenirken, genel olarak diğer türdeki bozulma tabakalarında da demir içeriğinin bulunması beklenmelidir. Aşağıda yer alan Raman sonuçlarında hem siyah kabuk oluşumu hem sedef oluşumu tabakasında bu sonuçlar elde edilebilmiştir.

¹⁴⁸ Watkinson vd., **a.g.e.**, s. 70-80; Hamad, **a.g.e.**, s. 234.

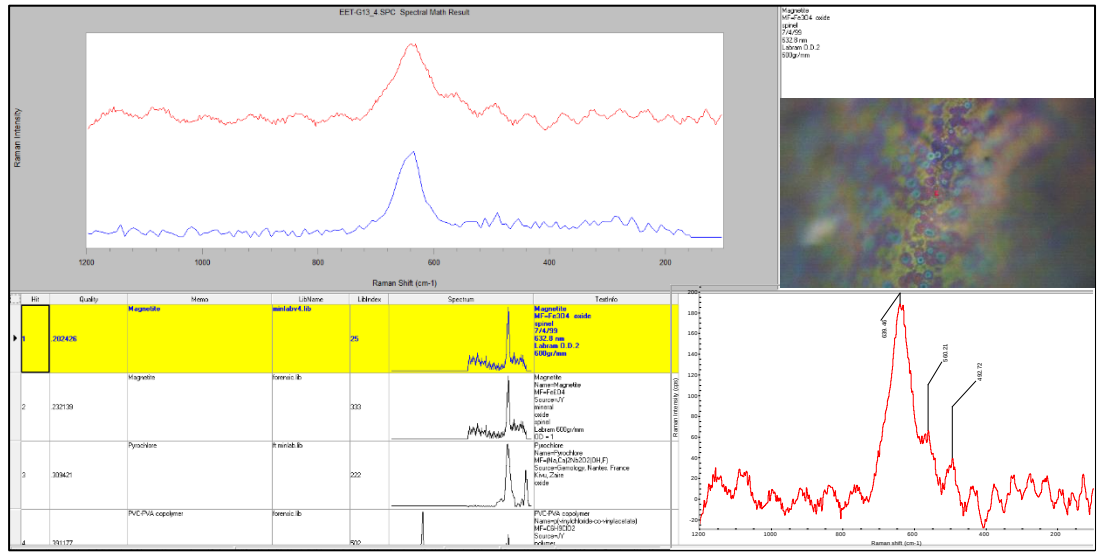


Şekil 5.10: EET-G31 örneğinin sedef oluşumu tabakasında Raman analizi ile belirlenen silisyum içeriği

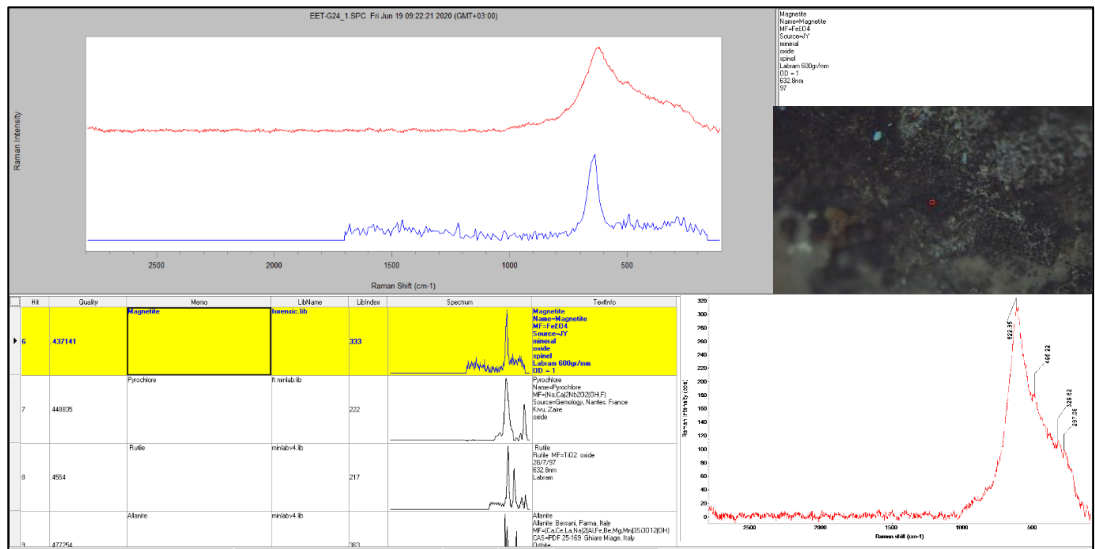
Örnekler arasından seçilmiş EET-G13 ve EET-G24 örneklerinde yukarıda bahsedilen siyah kabuk oluşumunda görülen mangan PED-XRF (EET-G13 %0,626 ve EET-G24 %1,20) ve SEM-EDS (EET-G24 %1,12) analizlerinde olduğu gibi Raman analizi ile de 287-623 cm⁻¹ arasında mineral olarak tespit edilebilmiştir (Şekil 5.11). Zaten bu örnekler analiz sonuçlarında en yüksek mangan değerlerine sahip örnekler arasında yer almaktadır. Birbirini destekleyen bu analiz sonuçları ışığında manganın varlığı çalışılan örneklerde çıplak gözle görülen siyah kabuk (mine aşınma) oluşumu tabakasının varlığını somutlamaktadır.



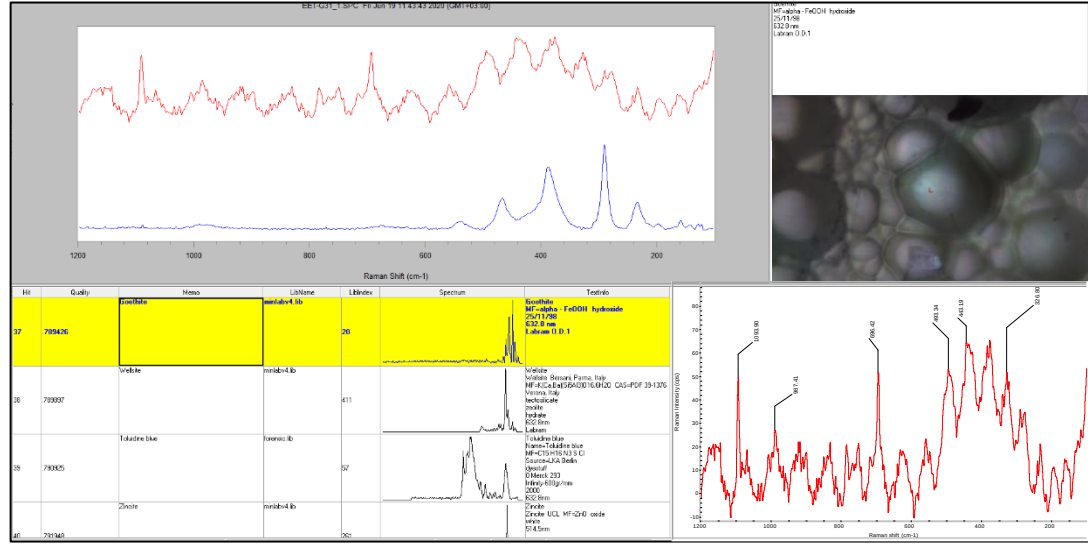
EET-G24 örneğinin Mikro-XRF, PED-XRF ve SEM-EDS analiz sonuçlarında Mn değeri gibi Fe değeri de nispeten yüksektir. Cam yüzeyinde görülen siyah kabuk oluşumunu (mine aşınma) bu sonuçlar desteklemektedir. Ancak EET-G13 örneğinin SEM-EDS analiz sonucu olmadığı için ne yazık ki bir kıyaslama yapılamamakta birlikte demirin varlığı Raman analizi ile tespit edilebilmiştir.



a)



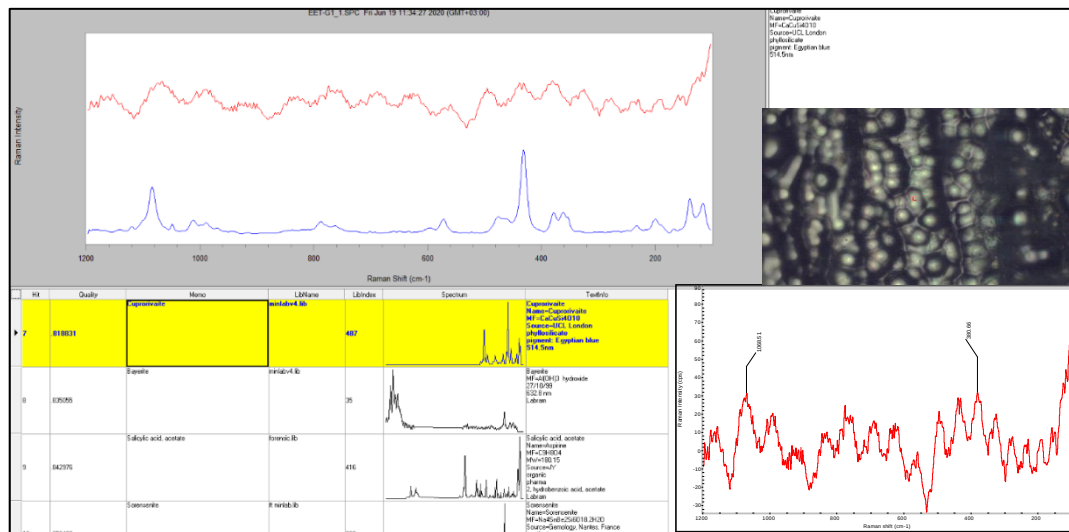
(b)



(c)

Şekil 5.12: EET-G13 (a), EET-G24 (b) ve EET-G31 (c) örneklerinin siyah kabuk oluşumu tabakalarında Raman analizi ile belirlenen demir mineralleri

Renk ölçümünde rengi mavimsi-yeşil olarak belirlenen EET-G1 örneğinde ayrıca bu sonucu destekleyebilecek Mısır mavisi, bileşimi kalsiyum bakır silikat ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ cuprorivaite) olan pigment 381-1068 cm^{-1} doruk noktaları arasında Raman analizi ile de tespit edilmiştir. (Şekil 5.13).



Şekil 5.13: EET-G1 örneğinde Raman analizi ile belirlenen pigment ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$)

SONUÇ

Cam toprak altından çıktığında çok sağlam bir durumda olabilir. Dünyadaki müzelerde bulunan binlerce korunmuş Roma cam objeleri buna örnek gösterilebilmektedir. Bununla birlikte, agresif toprak altı ortamlarda bulunması, toprak altından çıktıktan sonra gerekli önleyici koruma müdahalelerinin yapılmaması veya yanlış koruma/onarım yöntemleri nedeniyle iyi korunamamış binlerce cam obje de bulunmaktadır. Uzun süreli gömülme durumunun cam üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kazı sırasında cam objenin çıktığı toprağın da analizi yapılmalıdır. Çevredeki toprağın veya yeraltı suyunun pH'sinin yanı sıra çözünür tuzların varlığı, camın mevcut durumunu açıklamaya ve gelecekteki durumunu tahmin etmeye yardımcı olabilmektedir. Arkeolojik camlardaki ciddi şekilde bozulmuş tabakalar dokunmaya son derece duyarlıdır ve mümkün olduğunca az elle müdahale edilmelidir. Bir arkeolojik cam yüzeyinden bozulma tabakalarının uzaklaştırılması, bir müzedeki serginin "estetik" amacı için bile kabul edilmemelidir. Çünkü zaman içerisinde bozulmaya uğramış cam yüzeyindeki bu tabakalar, camı dış etkenlere karşı koruma işlevi görmektedir¹⁵⁰.

Bu çalışma kapsamında Roma Dönemi'ne tarihlenen 31 etütlük örnek üzerinde camın kimyasal içeriğinin ve kimyasal içeriğinden kaynaklı olarak ortaya çıkan bozulmaların tespit edilmesine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Etütlük camlar görsel ve kimyasal olarak incelenmiştir. 31 adet etütlük örneğin laboratuvar ortamında kodlama, kalınlık ölçümü ve detaylı fotoğraf ile belgeleme çalışmaları yapılmıştır. Camın yüzeyinde mevcut olan bozulmaların görsel olarak incelemesi yapılmış ve var olan bozulma türleri ve bozulma dereceleri belirlenerek bir tablo oluşturulmuştur. Örneklerin renk ölçümü ile belirlenen görünen renkleri PED-XRF analizi ile de desteklenmiştir. Örneklerin optik mikroskop incelemelerinde, cam yüzeyinde görülen bozulma tabakasını destekleyebilecek bozulma ürünleri belirlenmiştir. Bozulma ürünleri camın transparan görüntüsünü engellediğinden kısmen belirlenebilen camın üretim tekniği hakkında bilgi veren habbeler genel olarak dairesele yakın ve iri

¹⁵⁰ Koob, **a.g.e.**, s. 15-18.

formlarda gözlemlenmiştir ve bu şekillere bakılarak camların serbest üfleme tekniğinde üretildiği söylenebilmektedir.

PED-XRF ve SEM-EDS analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda camların tipik soda-kireç-silis camı olduğu anlaşılmıştır. MS 1. binyıl sonrasında belirgin cam kompozisyonları olan önemli bölgelerin büyük atölyeleri ortaya çıkmaktadır. 10 örnek üzerinde yapılan PED-XRF analiz sonuçlarına göre belirlenen birkaç ana cam grubuna göre Enez camlarını da 4 farklı gruba ayırabilmekteyiz; mangan ile renksizleştirilmiş Roma camı, antimon-mangan karışık renksizleştirilmiş Roma camı, HIMT (yüksek demir-mangan- titanyum) camı ve Levant I camı. Stronsiyum (Sr) ve zirkonyum (Zr) içerikleri değerlendirildiğinde (stronsiyum içeriği yüksek, zirkonyum içeriği düşük), genel olarak camların üretiminde kullanılan silis kaynağının denizel kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır. Potasyum ve magnezyum içeriklerinin düşük olması bitki külü yerine natronun ergitici olarak kullanıldığını göstermektedir. Silis ham maddesinden kaynaklı olarak cam harmanında bulunan Al_2O_3 'ün farklı oranlarda bulunması, farklı silis kaynaklarının kullanıldığına işaret etmektedir. P_2O_5 içeriğinin varlığı, kemik külü içerisinde fosfor bulunması nedeniyle, üretimde kemik kullanımına işaret etmektedir. Bir örnek dışında (EET-G23, %0,208) diğer örneklerde P_2O_5 içeriği düşük olması (ortalama %0,081) nedeniyle kemik külü kullanıldığı düşünülmemektedir. Renk ölçümü sonucu örneklerin renginin yeşilimsi-mavimsi tonlarda olduğu anlaşılmaktadır. PED-XRF sonuçlarına göre renk verici elementlerin demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) olduğu anlaşılmıştır.

Roma Dönemi'ne ait örneklerin bozulma tabakaları görsel olarak ve optik mikroskop ile incelendiğinde; sedef oluşumu, matlaşma, süt beyazı-mine aşınma (siyah kabuk) ve çukur oluşumu gibi camın kimyasal bileşimindeki değişimden kaynaklanan bozulma türleri tespit edilmiştir. Camlarda görülen bozulma türleri, bozulma derecelerine göre değerlendirilmiştir. Cam harmanında ağ yapıcı olarak bulunan SiO_2 'nin yüksek miktarda olması camın mekanik direncini de artırmaktadır. Örneklerin PED-XRF analizi sonucunda, SiO_2 içeriği ortalama %63,58 olarak belirlenmiştir. Beklenenden düşük olan SiO_2 içeriğinin nedeni camlarda görülen bozulmalardır. Bozulma sonucunda camın yapısında azalan SiO_2 'nin bozulma tabakasında artması beklenmektedir. PED-XRF ve SEM-EDS analizleri ortak yapılan iki örnek (EET-G2 ve EET-G24) arasında yapılan karşılaştırmada (Tablo 5.7) bozulma

tabakasında SiO_2 içeriğinin fazla olması, camlarda görülen bozulmaları destekler niteliktedir. Cam objelerin nem ve/veya su ile temas etmesi sonucu yüzeyde oluşan jel tabakasında ergitici (Na_2O) ve sağlamlaştırıcı (CaO) miktarının azalması beklenmektedir. Ancak örneklerin SEM-EDS analizi sonuçlarında Na_2O ve CaO miktarının yüksek olmasının, antik kentin denize çok yakın bir konumda olması nedeniyle denizel etki sonucu oluşan birikintilerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Örnekler arasından seçilen 10 örneğin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde de örnek yüzeyinde yer alan bozulmalar tespit edilebilmiştir. Cam yüzeyinde çıplak gözle de görülebilen çukur oluşumları ve sedef oluşumu ile siyah kabuk oluşumu (mine aşınma) sonrasında yüzeyde oluşan pullanmalar elde edilen SEM görüntülerinde belirgin olarak gözlemlenebilmektedir.

Antik camlardaki mangan seviyeleri %1 civarındadır ve cam harmanına renksizleştirici olarak eklenmektedir. Mine aşınma türü bozulmada görülen siyah kabuk tabakası, mangan içeriği ile karakterizedir. Yüksek mangan içeriği ile birlikte demir içeriğinin de yüksek olması beklenmektedir. Bozulma ürünlerinde Mn, Ca, P ve Fe bakımından zengin bölgelerin ortaya çıkması sadece toprakaltı arkeolojik alanlardan camların değişiminin karakteristiğidir ve köken olarak toprak kaynaklı olma ihtimali yüksektir. Mine aşınmadaki siyah kabuklanmada, yüksek mangan içeriği görülürken, aynı element camın genel yapısında ve diğer bozulma türlerinde her zaman daha az bulunmaktadır. Cam örneklerin Mikro XRF, PED-XRF ve SEM-EDS analizleri sonucunda siyah kabuklanma türü bozulma ürünlerinde mangan ve demir öne çıkarken, Raman analizi ile saptanan mangan ve demirin varlığı bu sonuçları desteklemektedir.

Raman analizi sonucunda, jel tabakasında artması beklenen SiO_2 ve Fe içeriğinin ve siyah kabuk oluşumunda (mine aşınma) görülen tabakalarda mangan ve demir içeriğinin yanı sıra mavimsi-yeşil renkteki örneğin rengini destekleyebilecek pigment içeriği ortaya çıkarılmıştır.

KAYNAKÇA

- ABD-ALLA, R.
2007 “Devitrification Behaviour of Corroded Glass: Four Cases Study”, **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 7 (1), s. 39-49.
- AKYOL, A.A., A.E. ERTEN
2016 “Archaeometrical Studies of Ancient Window Glass Finds From Olba (Silifke, Mersin) Excavation in Turkey”, Ed. Blazej Stanislawski, Hakan Öniz, **SOMA 2014, British Archaeological Reports, Archaeopress**, s. 31-39.
- AKYOL, A.A., Ç. GENÇLER
GÜRAY, Y.K. KADIOĞLU, Ş.
DEMİRCİ
2009 “Elaiussa-Sebaste Cam Örnekleri Arkeometrik Çalışmaları”, **24. Arkeometri Sonuçları Toplantısı (Ankara, 26-30 Mayıs 2008)**, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s.13-28.
- AKYOL, A.A., M. AYDIN
2016 “Olba Kazısı Seramik Buluntuları Arkeometrik Analizleri”, **Selevcia Ad Calycadnym, Olba Kazısı Yayınları**, Sayı VI, s. 413-431.
- AKYOL, A.A., Ş. DEMİRCİ, Y.K.
KADIOĞLU, Ü. ÖZGÜMÜŞ
2012 “İstanbul Yeni Cami Hünkar Kasrı Camları Üzerine Arkeometrik Çalışmalar”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştay-Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar Bildiri Kitabı (6-8 Ekim 2011)**, Ankara, s. 159-171.

- AKYOL, A.A., Y.K. KADIOĞLU
2016 “Tekfur Sarayı Cam Buluntuları Arkeometrik Çalışmaları”, **Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi- TÜBA-KED** 2015, Sayı 13, s. 27-36.
- AKYOL, A.A., Y.K. KADIOĞLU, Ş. DEMİRCİ
2013 “Arkeometrik Çalışmaların Işığında Elaiussa Sebaste Kazısı Camlarının (2002-2011) Karakterizasyonu”, **Kaunos/Kbid Toplantıları 2: Anadolu Antik Cam Araştırmaları Sempozyumu (17-20 Haziran 2010)**, Bilgin Kültür Sanat Yayınları, s. 197-212.
- AKYOL, A.A., Y.K. KADIOĞLU, Ü. ÖZGÜMÜŞ, S. KAYNAK
2014 “İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi Camları Arkeometrik Analizleri”, **Journal of Turkish Studies**, 9 (10), s. 5-17.
- AKYÜZ, S, T. AKYÜZ, N.M. MUKHAMEDSHINA, A.A. MIRSAGATOVA, S. BAŞARAN, B. ÇAKAN
2012 “Characterization of Ancient Glass Excavated in Enez (Ancient Ainos) Turkey by Combined Instrumental Neutron Activation Analysis and Fourier Transform Infrared Spectrometry Techniques”, **Spectrochimica Acta Part B**, 71-72, s. 75-79.
- AKYÜZ, T., S. AKYÜZ, S. BAŞARAN, B. ÇAKAN
2013 “ED-XRF and FTIR Analysis of Some Glass Fragments Belong to Ottoman Period, Excavated in Ancient Ainos (Enez) Turkey”, **Asian Journal of Chemistry**, 25 (18), s. 10397-10400.

- ATAMAN, O. Y.
2012 “Arkeometride Spektrometri Yöntemleri”, Türkiye’de Arkeometrinin Ulu Çınarları, Prof. Dr. Ay Melek Özer ve Prof. Dr. Şahinde Demirci’ye Armağan, Homer Kitabevi, İstanbul, s. 87-96.
- BARALDI, P., A. TINTI
2008 “Raman Spectroscopy in Art and a-Archaeology”, **Journal of Raman Spectroscopy**, 39 (8), s. 963-965.
- BAŞARAN, S.
1996 “Ainos Kazıları (1971-1974)”, **Anadolu Araştırmaları XIV**, s. 105-141.
- 1997 “Enez (Ainos) 1995 Yılı Kazı ve Onarım Çalışmaları”, **18. Kazı Sonuçları Toplantısı (Ankara, 27-31 Mayıs 1996)**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 489-513.
- 1998a “Enez (Ainos) 1996 Yılı Kazı ve Onarım Çalışmaları”, **19. Kazı Sonuçları Toplantısı**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 593-639.
- 1998b “Ortaçağ’da Enez (Ainos)”, **Sanat Tarihi Dergisi IX**, s. 1-12.
- 2000a “Enez (Ainos) 1998 Yılı Kazı ve Onarım Çalışmaları”, **21. Kazı Sonuçları Toplantısı (Ankara, 24-28 Mayıs 1999)**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 405-416.

- 2000b “Enez (Ainos) Kazıları”, **Türkiye Arkeolojisi ve İstanbul Üniversitesi (1932-1999)**, Ed. Oktay Belli, İstanbul, s. 251-260.
- 2000c **Pismiş Toprak ve Cam Eserlerin Konservasyon/Restorasyonu**, Graphis Yayınları, İstanbul.
- 2008 “Enez (Ainos) 2006 Yılı Kazısı ve Onarım-Koruma Çalışmaları”, **29. Kazı Sonuçları Toplantısı (Çorum, 28 Mayıs-1 Haziran 2007)**, 3. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 185-210.
- 2013a “Enez, Ainos, Enoz”, **Enez: Doğal, Kültürel ve Turistik Güzellikleri**, Ed. A. Yeşil, A. Uzun, G.A. Aksu, İstanbul, s. 11-90.
- 2013b “Antik Ainos Kenti. Enez’in Konumu, Coğrafi Özellikleri ve Tarihi”, **Edirne Taşınmaz Kültür Varlıkları Envanteri II**, Trakya Kalkınma Ajansı, s. 228-244.
- BAŞARAN, S., F. B. ÇAKAN, G. EMRE, G. KURAP, S. KARWIESE, R. YILMAZ
2010 “Enez (Ainos) 2008 Yılı Kazısı, Onarım-Koruma Çalışmaları”, **31. Kazı Sonuçları Toplantısı (Denizli, 25-29 Mayıs 2009)**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 117-144.

- BAŞARAN, S., G. KURAP
2013 “Enez (Ainos) 2011 Yılı Arkeoloji Kazısı”, **34. Kazı Sonuçları Toplantısı (Çorum, 28 Mayıs-1 Haziran 2012)**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 375-378.
- 2014 “Enez (Ainos) 2012 Yılı Kazı Çalışmaları ile İlgili Rapor”, **35. Kazı Sonuçları Toplantısı (Muğla, 27-31 Mayıs 2013)**, 3. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 249-261.
- 2016 “Enez (Ainos) 2014 Çalışmaları”, **37. Kazı Sonuçları Toplantısı (Erzurum, 11-15 Mayıs 2015)**, 2. Cilt, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 441-462.
- BAŞARAN, S., G. KURAP, A.B. MERGEN
2017 “Enez (Ainos) 2015 Yılı Çalışmaları”, **38. Kazı Sonuçları Toplantısı (Edirne, 23-27 Mayıs 2016)**, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları 3. Cilt, s. 415-434.
- BAŞARAN, S., S. KARWIESE, H. BRÜCKNER, G. KURAP, B. MERGEN, A. DAN-CRISTINA
2018 “Ainos 2016 Yılı Çalışmaları”, **39. Kazı Sonuçları Toplantısı (Bursa, 22-26 Mayıs 2017)**, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları 3. Cilt, s. 31- 52.
- BAYAZİT, M., A. A. AKYOL, H.Ö. ERSAN ERUŞ, G. TAŞKIRAN
2016 “Seramik Arkeometrisinde Spektroskopik Yöntemler (Ftir, Raman)”, **10. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu**, s. 658- 669.

- BAYKAN, C.
2014 **Toprak Altı Cam Buluntuların Koruma ve Onarımı**, Homer Kitabevi, İstanbul.
- BAYKAN, C., D. BAYKAN
2012 **Eskiçağ'da Cam**, Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü Yayınları, İstanbul.
- BELLOT-GURLET, L., S. PAGÈS-CAMAGNA, C. COUPRY
2006 "Raman Spectroscopy in Art and Archaeology", **Journal of Raman Spectroscopy**, 37, s. 962-965.
- BEŞER, E.
2009 "Archaeometrical Investigation of Some Medieval Glass Samples From Alanya Region", **Doctoral Dissertation**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- BEŞER, E., A. UZUN, Ş. DEMİRCİ, A.A. AKYOL, Y.K. KADIOĞLU
2011 "Alanya Bölgesi Kazılarında Elde Edilen Bazı 13. Yüzyıl Cam Örneklerinin Arkeometrik Yönden İncelenmesi", **26. Arkeometri Sonuçları Toplantısı (İstanbul, 24-28 Mayıs 2010)**, Ankara, Kültür Bakanlığı Yayınları, s. 291-306.
- BEŞER, E., Ş. DEMİRCİ
2012 "Arkeometrik Çalışmalar Işığında Renkli ve Renksiz Cam Üretimi", **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştay. Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar**, ODTÜ Yayınları, Ankara, s. 47-56.
- BIEK, L., J. BAYLEY
1979 "Glass and Other Vitreous Materials", **World Archaeology**, 11 (1), s. 1-25.

- BRILL, R.H.
1988 “Scientific Investigations of the Jalame Glass and Related Finds”, **Excavations at Jalame: Site of a Glass Factory in Late Roman Palestine**, s. 257-294.
- 1999 **Chemical Analyses of Early Glasses**, Vol. I, Corning Museum of Glass, New York.
- CANAV ÖZGÜMÜŞ, Ü.
2013 **Çağlar Boyu Cam Tasarımı**, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- CANAV ÖZGÜMÜŞ, Ü., S. KAYNAK
2015 “Glass from Enez (Ancient Ainos)”, **20th Congress of the International Association for the History of Glass**, 20, Fribourg, Switzerland, s. 399-402.
- CAGNO, S., M. MENDERA, T. JEFFRIENS, K. JANSSENS
2010 “Raw Materials for Medieval to Post-Medieval Tuscan glassmaking: New Insight from LA-ICP-MS Analyses”, **Journal of Archaeological Science**, 37 (12), s. 3030-3036.
- CANER-SALTIK, E.N.
2012 “Arkeometrik Çalışmalar Işığında Belirlenen Cam Bozulmaları”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştay. Türkiye Arkeolojisi’nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar**, ODTÜ Yayınları, Ankara, s. 57-66.

- CARMONA, N., M. OUJJA, E. REBOLLAR, H. RÖMICH, M. CASTILLEJO
2005 “Analysis of Corroded Glasses By Laser Induced Breakdown Spectroscopy”, **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, 60 (7-8), s. 1155-1162.
- CARTER, C. B., M. G. NORTON
2007 **Ceramic Materials: Science and Engineering**, New York, Springer.
- ÇELİK, S., T. AKYÜZ, S. AKYÜZ, A.E. ÖZEL, S. KECER-GÜNDÜZ, S. BAŞARAN
2018 “Investigations of Archaeological Glass Bracelets and Perfume Bottles Excavated in Ancient Ainos (Enez) By Multiple Analytical Techniques” **Journal of Applied Spectroscopy**, 85 (1), s. 178- 183.
- DAL BIANCO, B., R. BERTONCELLO, L. MILANESE, S. BARISON
2004 “Glasses on the Seabed: Surface Study of chemical Corrosion in Sunken Roman Glasses”, **Journal of Non-Crystalline Solids** 343, s. 91-100.
- DAL BIANCO, B., R. BERTONCELLO, L. MILANESE, S. BARISON
2005 “Surface Study of Water Influence on Chemical Corrosion of Roman Glass”, **Surface Engineering**, 21 (5-6), s. 393-396.
- DAVISON, S.
2006 **Conservation and Restoration of Glass**, London: Butterworths.
- DEMİRCİ, Ş.
2012 “Şimdiye Kadar Yapılan Arkeometrik Çalışmalarda Cam Ham Maddeleri, Üretimi ve Çeşitliliği Üzerine Elde Edilen Bilgiler”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı. Türkiye Arkeolojisi’nde Cam: Arkeolojik ve**

Arkeometrik Çalışmalar, ODTÜ Yayınları, Ankara, s. 14-33.

- DOMÉNECH-CARBÓ, M. T., A. DOMÉNECH-CARBÓ, L. OSETE-CORTINA, M. C. SAURÍ-PERIS
2006 “A study on Corrosion Processes of Archaeological Glass from the Valencian Region (Spain) and Its Consolidation Treatment”, **Microchimica Acta**, 154 (1-2), s. 123-142.
- ER, E.
2010 “Konfakal Raman Yöntemleri”, Trakya Üniversitesi, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- ERZEN, A.
1974 Enez (Ainos) 1972 Kazıları”, **Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Dergisi**, 2-3, s. 217-238.
- 1992 “Enez (Ainos) Kazısı, 1990 Yılı Çalışmaları”, **13. Kazı Sonuçları Toplantısı (Çanakkale, 27-31 Mayıs 1991)**, 2. Cilt, Ankara, Türk Tarih Kurumu Basımevi, s. 53-67.
- 1994 “Enez Kazıları”, **XI. Türk Tarih Kongresi’nden Ayrıbasım**, Ankara, TTK Basımevi, s. 301-307.
- FOSTER, H.E., C. M. JACKSON
2009 “The Composition of ‘Naturally Coloured’ Late Roman Vessel Glass From Britain and the Implications for Models of Glass Production and Supply”, **Journal of Archaeological Science**, 36, s. 189–204.

- FREESTONE, I.C., K.A. LESLIE, M. THIRLWALL, Y. GORIN-ROSEN
2003 “Strontium Isotopes in the Investigation of Early Glass Production: Byzantine and Early Islamic Glass from the Near East”, **Archaeometry**, 45 (1), s. 13-32.
- FREESTONE, I.C., M. PONTING, M.J. HUGHES
2002 “The Origin of Byzantine Glass from Maroni Petrera, Cyprus”, **Archaeometry**, 44 (2), s. 257-272.
- FREESTONE, I.C., S. WOLF, M. THIRLWALL
2005 “The Production of HIMT Glass: Elemental and Isotopic Evidence”, **Annales du 16^e Congrès de l’Association Internationale pour l’Histoire du Verre 2003**, London, s. 153-157.
- FREESTONE, I.C., Y. GORIN-ROSEN, M. J. HUGHES
2000 “Primary Glass from Israel and the Production of Glass in Late Antiquity and the Early Islamic Period”, **Nenna, Marie-Dominique (ed.), La route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.C. au Moyen Âge**, Lyon, s. 65–84.
- FRIEDRICH, K.T., P. DEGRYSE
2019 “Soil vs. Glass: An Integrated Approach Towards the Characterization of Soil as a Burial Environment for the Glassware of Cucagna Castle (Friuli, Italy)”, **STAR: Science & Technology of Archaeological Research**, s. 1-19.

- GENÇ, D.
2019
“Archaeometric Investigations of Glass from the Early Byzantine Workshop in Side, Antalya”, **Yüksek Lisans Tezi**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- GOFFER, Z.
2007
Archaeological Chemistry, 2. Baskı, John Wiley & Sons, New Jersey, s. 111-134.
- GOLDSTEIN, J.I., D.E. NEWBURY, J.R. MICHAEL, N.W.M. RITCHIE, J.H.J. SCOTT, D.C. JOY
2018
Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, 4. Baskı, Springer.
- GUEBBOUB, LAKHDAR SALİM
2020
“Means of Conservation and Restoration of Archaeological Glasses (Case of Palace Ahmed Bey Glasses-Constantine)”, **Revue Algérienne de la Recherche et des Études**, 10, s. 13-22.
- GUELI A.M., S. PASQUALE, D. TANASI, S. HASSAM, Q. LEMASSON, B. MOIGNARD, C. PACHECO, L. PICHON, G. STELLA, G. POLITI
2020
“Weathering and Deterioration of Archeological Glasses from Late Roman Sicily”, **International Journal of Applied Glass Science**, 11, s. 215–225.
- HAMAD, R.T.
2019
“The Deterioration Resulting from Burial Environment on Archaeological Glass: Comparative Study”, **Shedet**, 6 (6), s. 225-237.

- HASDEMİR, İ.
2016 “Arkeolojik Camların Kimyasına Göre Üretim Yerinin Tespitinde En Son Yöntem; Nadir Element Analizi Yöntemi”, **12-14 Ekim 2016 Cam Çalıştayı**, Sualtı Arkeoloji Enstitüsü, Muğla.
- HENDERSON, J.
2013 **Ancient Glass: An Interdisciplinary Exploration**, Cambridge University Press, New York.
- HUISMAN, D.J., S. POLS, I. JOOSTEN, B.J.H. VAN OS, A. SMIT
2008 “Degradation Processes in Colourless Roman Glass: Cases from the Bocholtz Burial”, **Journal of Archaeological Science**, 35 (2), s. 398-411.
- JACKSON, C.M.
2005 “Making Colourless Glass in the Roman Period”, **Archaeometry**, 47 (4), s. 763-780.
- JANSSENS, K.H.A.
2013 **Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass**, Chichester: Wiley.
- KADİKOVA, I, F., E.A. MOROZOVA, T.V. YURYEVA, I.A. GRİGORİEVA
2017 “Study of Deteriorating Turquoise Lead-Potassium Glass Beads at Different Stages of Corrosion Using Micro-FTIR Spectroscopy”, **Submitted to Materials Today: Proceedings**; arXiv: 1705.09394, s. 1-7.

KIRMIZI, B., P. COLOMBAN
2012

“15.-19. Yüzyıllar Arası Çin Cloisonné Emayeleri Üzerine Raman Spektrometrisi ile Yapılan İncelemeler”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştay- Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar Bildiri Kitabı (6-8 Ekim 2011)**, Ankara, s. 149- 158.

KOCABAĞ, D.
2002

Cam: Kimyası, Özellikleri, Uygulaması, Birsen Yayınları, İstanbul.

KOCABAŞ, U.
1998

Arkeolojik Sualtı Kalıntılarının Konservasyonu, İstanbul.

KOOB, S.P.
2006

Conservation and Care of Glass Objects, Archetype Yayınları, New York.

KRAMAR, U.
1999

“X-Ray Fluorescence Spectrometers”, **Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry**, Elsevier, s. 2467- 2477.

LAMPROPOULOS, V., A.
LEAKOU, A. KARAMPOTSOS
2004

“Study and Comparisons Between Ploughing and Other Forms of Corrosion of Greek Archaeological Glass”, **Mediterranean Archaeology and Archaeometry 4-1**, s. 35-45.

LIPTAK, B.G.
2003

“Elemental Monitors”, **Instrument Engineers' Handbook, Process Measurement and Analysis**, Volume 1,

- London, New York, Washington, s. 1344-1346.
- MÄDER, M., D. GRAMBOLE, F. HERRMANN, C. NEELMEIJER, M. SCHREINER, G. WOISETSCHLÄGER
1998 “Non-destructive Evaluation of Glass Corrosion States”, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, 136, s. 863-868.
- MANTLER, M., M. SCHREINER
2000 “X-Ray Fluorescence Spectrometry in Art and Archaeology”, **X-Ray Spectrometry**, 29 (1), s. 3-17.
- MANTLER, M., M. SCHREINER
2001 “X-Ray Analysis of Objects of Art and Archaeology”, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 207 (3), s. 635-644.
- MARCHESI, V., B. MESSIGA, M.P. RICCARDI
2005 “Window Panes of the Certosa di Pavia: Chemical Composition, Microstructure and Alteration”, **Surface Engineering**, 21 (5-6), s. 397-400.
- MOOREY, P.R.S.
1994 **Ancient Mesopotamian Materials and Industries: The Archaeological Evidence**, Oxford University Press, New York.
- MUKHAMEDSHİNA, N., T. AKYÜZ, S. BAŞARAN, A.A.
“Instrumental Neutron Activation Analysis of Ancient Glass Excavated in Enez (Ancient Ainos Turkey)”, **The Fifth**

- MİRSAGATOVA, S. AKYÜZ, I. KOCABAŞ
2008
Eurasian Conference Nuclear Science and its Application, 14-17 October 2008, Ankara, s. 171-172.
- OHNO, Y.
2007
“Spectral Colour Measurement”, **Colorimetry: Understanding the CIE System**, Ed. J. Schanda, Bölüm 5., New York, Wiley Publication, s. 101-132.
- Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkez Laboratuvarı (MERLAB) Tanıtım Kitapçığı
- ÖZER, A. M., Ö. BAKIRER
2012
“Anadolu’da Cam Buluntular Üzerinde Bugüne Kadar Yapılan Arkeometrik Çalışmalardan elde edilen Bilgiler”, **II. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı. Türkiye Arkeolojisi’nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar**, ODTÜ Yayınları, Ankara, 2012, s. 34- 46.
- POLLARD, A.M., C. HERON
2008
Archaeological Chemistry, RSC Publishing, Cambridge, 2. baskı, s. 66-68.
- PALOMAR, T.
2018
“Characterization of the Alteration Processes of Historical Glasses on the Seabed”, **Materials Chemistry and Physics**, 214, s. 391-401.
- PALOMAR, T., J. MOSA, M. APARICIO
2020
“Hydrolytic Resistance of K₂O-PbO-SiO₂ Glasses in Aqueous and High-Humidity Environments”, **Journal of the American Ceramic Society**, s. 1-28.

- RODRIGUES, A., S. FEARN, T. PALOMAR, M. VILARIGUES
2018 “Early Stages of Surface Alteration of Soda-Rich-Silicate Glasses in the Museum Environment”, **Corrosion Science**, 143, s. 362-375.
- ROMICH, H.
2006 “Glass and Ceramics”, **Conservation Science: Heritage Materials**, Ed. E. May, M. Jones, Royal Society of Chemistry, Cambridge, s. 160- 184.
- SANDERS, D.M., L.L. HENCH
1973 “Mechanisms of Glass Corrosion”, **Journal of the American Ceramic Society**, 56 (7), s. 373-377.
- SAYRE, E.V., R.V. SMITH
1961 “Compositional Categories of Ancient Glass”, **Science**, 133 (3467), s. 1824–1826.
- SCHIBILLE, N., A. STERRETT-KRAUSE, I.C. FREESTONE
2017 “Glass Groups, Glass Supply and Recycling in Late Roman Carthage”, **Archaeological and Anthropological Sciences**, 9 (6), s. 1223-1241.
- SCHREINER, M.
1988 “Deterioration of Medieval Stained Glass by Atmospheric Attack. 1: Scanning Electron Microscopic Investigations of the Weathering Phenomena”, **Glastechnische Berichte**, 61 (7), s. 197-204.
- SCOTT, R.B., P. DEGRYSE
2014 “The Archaeology and Archaeometry of Natron Glass Making”, **Glass Making in**

- the Greco-Roman World: Results of the ARCHGLASS Project**, s. 15-26.
- SHELBY, J. E.
2005
Introduction to Glass Science and Technology. Royal Society of Chemistry, 2. Baskı, Cambridge.
- SILVESTRI, A.
2008(a)
“The Coloured Glass of Iulia Felix”, **Journal of Archaeological Science**, 35, s. 1489-1501.
- 2008(b)
“The Colourless Glass of Iulia Felix”, **Journal of Archaeological Science**, 35, s. 331-341.
- SILVESTRI, A., M. GIANMARIO,
G. SALVIULO
2005
“Archaeological Glass Alteration Products in Marine and Land-Based Environments: Morphological, Chemical and Microtextural Characterization”, **Journal of Non-Crystalline Solids**, 351, s. 1338-1349.
- SMITH, E., G. DENT
2005
Modern Raman Spectroscopy—A Practical Approach, John Wiley & Sons, Chichester.
- SMITH, K.C.A., C.W. OATLEY
1955
“The Scanning Electron Microscope and Its Fields of Application”, **British Journal of Applied Physics**, 6 (11), s. 391- 399.

- STEPHENS, W.E., A. CALDER
2004 “Analysis of Non-Organic Elements in Plant Foliage Using Polarised X-Ray Fluorescence Spectrometry”, **Analitica Chimica Acta** 527, s. 89-96.
- VAN GIFFEN, N.A.R., S.P. KOOB
2018 “Deterioration of Vitreous Materials”, **The Encyclopedia of Archaeological Sciences**, s. 1-4.
- VANDENABEELE, P.
2004 “Raman Spectroscopy in Art and Archaeology”, **Journal of Raman Spectroscopy**, 35 (8-9), s. 607- 609.
- VANDENABEELE, P., L. MOENS
2004 “Raman Spectroscopy in Art and Archaeology”, **2005 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe**, 2005, s. 671.
- VERNEY-CARRON, A., L.
SESSEGOLO, M. SAHEB, N.
VALLE, P. AUSSET, R. LOSNO, C.
LOÏSEL
2017 “Understanding the Mechanisms of Si–K–Ca Glass Alteration Using Silicon Isotopes”, **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 203, s. 404-421.
- WAGNER, B., A. NOWAK, E.
BULSKA, J. KUNICKI-
GOLDFINGER, O., SCHALM, K.
JANSSENS
2008 “Complementary Analysis of Historical Glass by Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry”, **Microchimica Acta**, 162 (3-4), s. 415-424.

- WATKINSON, D., L. WEBER, K. ANHEUSER
2005 “Staining of Archaeological Glass from Manganese-Rich Environments”, **Archaeometry**, 47 (1), s. 69-82.
- WEDEPOHL, K.H., A. BAUMANN
2000 “The Use of Marine Molluskan Shells for Roman Glass and Local Raw Glass Production in the Eifel Area (Western Germany), **Naturwissenschaften**, 87 (3), s. 129–132.
- WON-IN, K., S. SATITKUNE, N. MONARUMIT, N. NIMSUWAN
2017 “Ancient Glass Bead from U-Thong Ancient City Site, Central Thailand”, In **Key Engineering Materials**, 737, s. 590-594.

EKLER



T.C.
EDİRNE VALİLİĞİ
İL KÜLTÜR VE TURİZM MÜDÜRLÜĞÜ
Müze Müdürlüğü

Sayı : 41855088-155.01[155.01]-E.729709
Konu : Didem ÇOLAK (Bilimsel Araştırma İzni)

10.09.2018

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MÜDÜRLÜĞÜNE
Besim Ömerpaşa Caddesi Devlet Arşivleri binası A Blok NO.39 FATİH / İSTANBUL

İlgi : a) 22.12.2011 tarih ve 260635 sayılı Bakan Onayı ile uygun görülen Kültür ve Tabiat Varlıklarıyla İlgili Olarak yapılacak araştırma, sondaj ve kazılar hakkında yönetmelik.
b) 26.01.1984 tarih ve 18293 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Müzelerle Müzelerle bağlı birimlerde ve ören yerlerinde Kültür Varlıklarının film ve fotoğraflarının çekilmesi, mülaj ve kopyalarının çıkarılması hakkında yönetmelik.
c) Bakanlığımız Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün 27.03.2001 tarih ve 2487 sayılı yazısı.
ç) Bakanlığımız Döner Sermaye İşletmesi Merkez Müdürlüğü'nün 20.04.2009 tarih ve 75250 sayılı yazısı.
d) Bakanlığımız Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün 06.05.2010 tarih ve 95218 sayılı yazısı eki Bakanlık Makamının 06.05.2010 tarih ve 95217 sayılı yazısı.
e) 04.09.2018 tarih ve 235535 sayılı yazınız.

İlgi (e) yazınızla Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı öğrenciniz Didem ÇOLAK'ın "Enez Cam Eserlerinde Görülen Bozulmaların Analiz Yöntemleriyle İncelenmesi" adlı Yüksek Lisans Programı tez çalışmasıyla ilgili olarak, Edirne ili, Enez ilçesinde Prof. Dr. Sait BAŞARAN tarafından yürütülmekte olan Enez Kazısına ait 43 adet cam parçasının Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü laboratuvarında incelenmesi talep edilmektedir. Bu hususta;

-Çalışmanın ilgi (a), (b), (c), (ç), ve (d), kayıtlı yazı, genelge ve yönetmelikler kapsamında gerçekleştirilmesi,
-Çalışılacak eserler için kazı başkanından yazılı izin alınması ve müzeye ibraz edilmesi,
-Müze Müdürlüğü'nün belirleyeceği şartlara uyulması ve gerekli güvenlik önlemlerine riayet edilmesi,

Not: 5070 sayılı Elektronik İmza kanunu gereği bu belge elektronik imza ile imzalanmıştır.
Evrak Doğrulama Kodu : 0PFFV7TOYUUGITOPDNK Evrak Takip Adresi : <http://belgedogrulama.kultur.gov.tr/>
Meydan Mahallesi, Kadirpaşa Mektep Sokak No.7 Merkez/EDİRNE

Bilgi için:Hamdi GÜNDOĞDU
4/B(Sözleşmeli) Sanat Tarihçi



1/2

Ek 1: Edirne Müze Müdürlüğü'nden alınan izin yazısı

-Çalışmaya konu eserlerin oluşturulacak Komisyonla teslim edilip, teslim alınması ve Teslim Tesellüm Tutanaklarının ıslak imzalı birer nüshalarının Müze Müdürlüğü'ne teslim edilmesi koşullarıyla 2018 yılında adı geçen Laboratuarda cam parçalarının incelenmesi Müdürlüğümüzce uygun görülmektedir.

Çalışmanın tamamlanmasının ardından hazırlanacak araştırma metni, çizim, fotoğraf vb. belgeyi içeren, mümkünse CD ortamına aktarılmış çalışma raporu ile ileride yayımlanması halinde kitap ve ayrı basımlarının Müze Müdürlüğüne gönderilmesi gerekmektedir.

Söz konusu çalışmanın tamamlanamaması ve 2019 yılında araştırmaya devam edilmesinin istenmesi halinde, öngörülen çalışmanın tarihinden 3 ay önce olmak üzere, 31 Aralık 2018 tarihine kadar araştırmacının mensubu bulunduğu bilimsel kurum ve kuruluş vasıtasıyla talepte bulunması gerekmektedir.

Çalışmalarınızda başarılar dilerim.



e-imzalıdır

Deniz ŞAMİLOĞLU
Müze Müdürü V.

Bu evrakın 5070 sayılı Kanun ile
e-imza ile imzalandığı tespit edilmiştir.
10.09.2018
Mustafa LAZOGİ
Bilgi

Not: 5070 sayılı Elektronik İmza kanunu gereği bu belge elektronik imza ile imzalanmıştır.

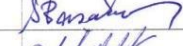
Evrak Doğrulama Kodu : OPEVVTOYUUGTPTDNE Evrak Takip Adresi: <http://belgedogrulama.kultur.gov.tr/>
Meydan Mahallesi, Kadirpaşa Mektep Sokak No.7 Merkez/EDİRNE

Bilgi için:Hamdi GÜNDOĞDU
4/B(Sözleşmeli) Sanat Tarihçi

Türkiye

Ek 1: Edirne Müze Müdürlüğü'nden alınan izin yazısı (devam)

EK-5

MÜZE KOMİSYON RAPORU FORMU			
Kazı/Araştırma Adı	Ainos (Enez) Kazısı		
Kazı/Araştırma Başkanı	Prof.Dr. Sait BAŞARAN		
Kazı/Araştırma Başkan Vekili-Yardımcısı	Dr. Öğretim Görevlisi Atiye Bahar MERGEN		
Kazı/Araştırma İli/İlçesi/Köyü/Mahallesi	Edirne/Enez/Gaziömerbey Mahallesi		
Rapor Tarihi	14.09.2018		
İlgili Müze Müdürlüğü	Edirne Müzesi Müdürlüğü		
Örneklerin Götürüleceği Yer (Üniversite/Laboratuvar vb.)	İstanbul Üniversitesi Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Laboratuvarı		
Cinsi	Cam	Miktarı	43 adet
İade Edileceği Tarih	Eylül 2019		
Müze Komisyon Üyesi	Görev Yeri	Unvanı	İmzası
Hüseyin ÇETİNKAYA	Edirne Müzesi	Bakanlık Temsilcisi	
Prof.Dr. Sait BAŞARAN	Ainos Kazısı	Kazı Başkanı	
Hamdi GÜNDOĞDU	Edirne Müzesi	Müze Uzmanı	

Ek 2: Edirne Müze Müdürlüğü ve Kazı Başkanı Prof. Dr. Sait Başaran'dan alınan izin yazısı

14.09.2018

TESLİM TESELLÜM TUTANAĞI

İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım bölümünde 2501170883 numaralı tezli yüksek lisans öğrencisi Didem Çolak'ın "Enez (Ainos) Cam Eserlerinde Görülen Bozulmaların Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinde çalışmak üzere Enez kazı evi deposunda korunmakta olan ekte listesi ve fotoğrafları bulunan 43 adet cam parçası Didem ÇOLAK'a teslim edilmiştir.

İş bu tutanak tarafımızca imza altına alınmıştır. 14.09.2018

TESLİM EDEN

TESLİM ALAN


Sait BAŞARAN
Kazı Başkanı


Hüseyin ÇETİNKAYA
Bakanlık Temsilcisi


Didem ÇOLAK
Y. L. Öğrencisi


Hamdi GÜNDOĞDU
Edirne Müzesi Uzmanı

Not: Çalışmanın bitiminde alınan cam parçalar sonuçlarıyla birlikte Enez Kazı evine teslim edilecektir.

Ek.1. Talep Edilen Parçaların Listesi

Ek. 2. Talep Edilen Parçaların Fotoğrafları

Ek 2: Edirne Müze Müdürlüğü ve Kazı Başkanı Prof. Dr. Sait Başaran'dan alınan izin yazısı (devam)