



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ARKEOMETRİ ANABİLİM DALI

HASANKEYF BÜYÜK SARAY KAZILARINDA
(2017) ELE GEÇEN CAM BULUNTULARIN
ARKEOMETRİK KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YONCA YALÇIN

Danışman
Doç. Dr. Murat BAYAZİT

Haziran-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Yonca YALÇIN tarafından hazırlanan “Hasankeyf Büyük Saray Kazılarında (2017) Ele Geçen Cam Buluntuların Arkeometrik Karakterizasyonu” adlı tez çalışması 13/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Arkeometri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan/Danışman

Doç. Dr. Murat BAYAZİT

.....

Üye

Doç. Dr. Mahmut AYDIN

.....

Üye

Doç. Dr. Ali Akın AKYOL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
LEE Müdür V.

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından BTÜBAP-2021-YL-05 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Yonca YALÇIN
Tarih: 13.06.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

Hasankeyf Büyük Saray Kazılarında (2017) Ele Geçen Cam Buluntuların Arkeometrik Karakterizasyonu

Yonca YALÇIN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Arkeometri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat BAYAZİT

2022, 82 sayfa

Jüri

Doç. Dr. Murat BAYAZİT

Doç. Dr. Mahmut AYDIN

Doç. Dr. Ali Akın AKYOL

Arkeolojik kazılarda ele geçen buluntuların kimyasal, mineralojik, fiziksel ve mikroskobik incelemelerini içeren arkeometri geçmiş uygarlıkların malzeme üretim teknolojilerine ilişkin önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu tür çalışmalar aynı ya da benzer döneme ait birçok buluntunun üretim özellikleri ile ilgili olarak literatüre önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu çerçevede, arkeometrinin camlar üzerinde de geniş inceleme ve araştırma olanağı sunduğu bilinmektedir. Buradan yola çıkarak, mevcut tez çalışmasında 2017 yılında Hasankeyf Büyük Saray’da yapılan arkeolojik kazılarda ele geçen ve İslami döneme ait olduğu düşünülen amorf cam buluntuların arkeometrik olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, cam örnekler için portatif X-ışını floresans (p-XRF), polarize enerji saçınımlı X-ışını floresans (PED-XRF) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM)/enerji saçınımlı X-ışınları spektrometresi (EDX) yöntemleri tercih edilmiştir. Portatif XRF ve PED-XRF ile majör, minör ve eser elementlerin belirlenmesi, SEM-EDX ile mikro yapısal ve mikro kimyasal özelliklerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Elde edilen verilere göre camların başlıca Na_2O , K_2O , CaO , MgO , SiO_2 ve Al_2O_3 içerikli hammaddelerden üretildiği belirlenmiştir. Oksit içerikleri dikkate alınarak yapılan hiyerarşik kümeleme analizinde camların iki ana gruba ayrıldığı ve her birinde alt grupların yer aldığı belirlenmiştir. HC-9b ve HC-10b numunelerinin gerek hiyerarşik kümeleme analizi gerek üçlü diyagram analizinde diğerlerinden tamamen ayrıştığı görülmüş, dolayısıyla bu örneklerin yerel üretime ait olmadığı veya üretimlerinde farklı hammadde kaynaklarından faydalanılmış olabileceği öngörülmüştür. Camlardaki eser elementlere bakıldığında özellikle Cu, Co, Mn, Fe ve Pb elementlerinin renk oluşumlarında etken olduğu saptanmıştır. Camların kimyasal kompozisyonları, hammadde bakımından en az iki alternatifin olduğuna ve örneklerin soda-kireç-silis camı olduğuna işaret etmiştir. Numunelerdeki Sr ve Zr içerikleri dikkate alınarak camların çoğunlukla denizel+karasal veya denizel kökenli hammaddelerden üretildiği, daha az sayıdaki bazı camların ise sadece karasal hammadde içerdiği tespit edilmiştir. Birkaç örnekteki görece yüksek potasyum içeriği bu tip camlarda potas kaynağı olarak bitkisel ilaveler olabileceğini göstermiştir (bitki külleri vb.). PED-XRF verilerinde ortalama SiO_2 oranının yüksek olması (% 63,48) ve ortalama K_2O oranının düşük olması (%2,36) örnek setindeki çoğu camın atmosferik korozyon direncinin, kimyasal kararlılığının ve dolayısıyla cam kalitesinin genel itibarıyla yüksek olduğuna işaret etmiştir. Kurşun, bakır ve antimon içeriklerine bakıldığında bazı örneklerde geri dönüşüm camlarının kullanıldığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cam analizi, Cam karakterizasyonu, Hasankeyf, SEM-EDX, XRF.

ABSTRACT

Archaeometric Characterization of Glass Finds Recovered From Hasankeyf Büyük Saray Excavations (2017)

Yonca YALÇIN

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ARCHAEOMETRY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat BAYAZİT

2022, 82 pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Murat BAYAZİT

Assoc. Prof. Dr. Mahmut AYDIN

Assoc. Prof. Dr. Ali Akın AKYOL

Archaeometry, which includes chemical, mineralogical, physical and microscopic examinations of the finds found in archaeological excavations, provides important information regarding the material production technologies of the past civilizations. Such studies make important contributions to the literature regarding the production characteristics of many finds belonging to the same or similar period. In this context, it is known that archaeometry offers a wide range of examination and research opportunities on glass. From this point of view, in the present thesis, an archaeometric examination has been carried out for the amorphous glass finds (thought to belong to the Islamic period) unearthed in Hasankeyf Büyük Saray (Grand Palace) archaeological excavations (2017). For this purpose, portable X-ray fluorescence (p-XRF), polarized energy dispersive X-ray fluorescence (PED-XRF) and scanning electron microscopy (SEM)/energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) methods were preferred for the glass samples. It is aimed to determine the major, minor and trace elements with portable XRF and PED-XRF, and to reveal the micro structural and micro chemical properties with SEM-EDX.

According to the data obtained, it was determined that the glasses were mainly produced from raw materials containing Na_2O , K_2O , CaO , MgO , SiO_2 and Al_2O_3 . In the hierarchical clustering analysis made by considering the oxide contents, it is determined that the glasses are divided into two main groups and each of them has subgroups. It was observed that the samples of HC-9b and HC-10b were completely differentiated from the others in both the hierarchical clustering analysis and the triple diagram analysis, therefore, it was anticipated that these samples would not belong to local production, or different raw material sources may have been used in their production. When the trace elements in the glasses were examined, it was determined that especially Cu, Co, Mn, Fe and Pb elements would have been effective in the formation of the colors. The chemical composition distributions of the glasses indicated that there were at least two alternatives in terms of the raw materials and the samples were mostly soda-lime-silica glass. Considering the Sr and Zr contents in the samples, it has been determined that the glasses are mostly produced from marine+terrestrial or marine origin raw materials, and some glasses in fewer numbers contain only terrestrial raw materials. The relatively high potassium content in few samples indicated that such samples may contain vegetal supplements as a source of potash (plant ashes etc.). The high mean values of SiO_2 ratio (63.48 % wt.) and low mean of K_2O ratio (2.36% wt.) seen in PED-XRF data indicated that most of the glasses in the sample set had high atmospheric corrosion resistance, high chemical stability, and therefore high glass quality in general. Considering the lead, copper and antimony contents, it can be assumed that recycling glasses may have been used in some samples.

Keywords: Glass analysis, Glass characterization, Hasankeyf, SEM-EDX, XRF.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, 2017 yılı Hasankeyf arkeolojik kazı çalışmalarında ele geçen amorf cam örnekleri portatif XRF, PED-XRF, SEM-EDX analiz yöntemleri ile incelenmiş ve arkeometrik bir veri tabanı oluşturulması amaçlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında akademik anlamda verdiği destek, öneri ve katkıları için danışman hocam Doç. Dr. Murat BAYAZİT'e çok teşekkür ediyorum.

Tez çalışmasında kullanılan cam örneklerinin temini ve analiz edilmeleri için gerekli olan izinleri veren Batman Müze Müdürlüğü'ne, Batman Müze Müdürü Şehmus GENÇ'e ve 2017 yılı Hasankeyf kazı başkanı olan Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt ELİÜŞÜK'e çalışmanın gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı Başkanı ve Arkeoloji Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Mahmut Aydın'a, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Ali Akın AKYOL'a analizlerin gerçekleştirilmesindeki katkıları için teşekkür ederim. Analizlerin uygulandığı Batman Üniversitesi Arkeometri Anabilim Dalı Başkanlığı, Ankara Üniversitesi YEBİM ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi çalışanları ve yetkililerine teşekkür ederim. Tez çalışmasındaki finansal katkısı ile çalışmanın gerçekleşmesindeki önemli desteği için Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü ve yetkililerine teşekkür ederim (Proje No: BTÜBAP-2021-YL-05).

Son olarak, yüksek lisans tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ailem ve en büyük destekçim yol arkadaşım Ramazan YALÇIN'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç-Kapsam	1
1.2. Arkeometri.....	2
2. HASANKEYF	4
3. CAM	8
3.1. Camın Tarihi Süreci	8
3.2. Cam Hammaddeleri.....	13
3.3. Cam Üretim Aşamaları.....	17
3.4. Cam Şekillendirme Teknikleri	19
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	22
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
5.1. Çalışma Kapsamında İncelenen Cam Örnekler.....	25
5.2. Yöntem	30
5.2.1. PED-XRF (Polarize Enerji Saçınımlı X-ışını Floresans) Analizi.....	30
5.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Saçınımlı X-ışını Spektrometresi (EDX)	31
5.2.3. Portatif X-ışını Floresans (p-XRF) Analizi	31
6. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA	32
6.1. PED-XRF Sonuçları	32
6.2. SEM-EDX Sonuçları	56
6.3. Portatif XRF Sonuçları	69
7. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	80
KAYNAKLAR	83
EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ	143

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Hasankeyf kuşbakışı görünüm (Hasankeyf kazı arşivi, 2015).	6
Şekil 3. 1. Elementlerin cama verdiği renkler (Eker, 2014)	17
Şekil 5. 1. Büyük saray kazı alanı (Hasankeyf Kazı Arşivi, 2017).	26
Şekil 5. 2. Cam numuneler (HC-1 / HC-4b).	27
Şekil 5. 3. Cam numuneler (HC-5a / HC-9b).	27
Şekil 5. 4. Cam numuneler (HC-10a / HC-13a).	28
Şekil 5. 5. Cam numuneler (HC-13b / HC-15d).	28
Şekil 5. 6. Cam numuneler (HC-15e / HC-19a).	29
Şekil 5. 7. Cam numuneler (HC-19b / HC-21c).	29
Şekil 6. 1. Hiyerarşik kümeleme analizi dendrogramı.	42
Şekil 6. 2. Hiyerarşik kümeleme analizi dendrogramı (alkali, toprak alkali, SiO ₂ , Al ₂ O ₃).	43
Şekil 6. 3. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camların üçlü diyagramdaki dağılımları.	44
Şekil 6. 4. Camlardaki ana oksit içeriklerinin dağılımı.	45
Şekil 6. 5. Camlardaki tüm eser elementlerin numunelerdeki dağılımı.	46
Şekil 6. 6. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camlardaki Fe ₂ O ₃ - SiO ₂ içeriklerinin dağılım grafiği.	48
Şekil 6. 7. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camlardaki Fe ₂ O ₃ – MnO dağılım grafiği.	49
Şekil 6. 8. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camlardaki SiO ₂ – MnO/Fe ₂ O ₃ dağılım grafiği.	49
Şekil 6. 9. Cam örneklerde tespit edilen antimon (Sb) miktarları (ppm).	50
Şekil 6. 10. Camlardaki Cu, Pb, Sb elementlerinin dağılım grafiği.	51
Şekil 6. 11. Co, Cu ve Pb elementlerinin numunelerdeki dağılımı.	53
Şekil 6. 12. Sr ve Zr elementlerinin numunelerdeki dağılımı.	54
Şekil 6. 13. Camlarda (a) Fe ₂ O ₃ - Al ₂ O ₃ ve (b) TiO ₂ - Al ₂ O ₃ dağılım grafiği.	55
Şekil 6. 14. Camlarda Al ₂ O ₃ – CaO dağılım grafiği.	56
Şekil 6. 15. HC-11c SEM görüntüsü.	59
Şekil 6. 16. HC-11c kodlu camda 707 ve 708 numaralı alanların SEM-EDX sonuçları.	60
Şekil 6. 17. HC-6 cam örneği SEM görüntüsü.	61
Şekil 6. 18. HC-9a cam örneği SEM görüntüsü.	62
Şekil 6. 19. HC-20a cam örneği SEM görüntüsü.	62
Şekil 6. 20. HC-21b cam örneği SEM görüntüsü.	63
Şekil 6. 21. HC-21c cam örneği SEM görüntüsü.	63
Şekil 6. 22. HC-5a cam örneği SEM görüntüsü.	65
Şekil 6. 23. HC-10b cam örneği SEM görüntüsü.	65
Şekil 6. 24. HC-11c cam örneği SEM görüntüsü.	66
Şekil 6. 25. HC-15e cam örneği SEM görüntüsü.	66

Şekil 6. 26. HC-8 SEM görüntüsü.	67
Şekil 6. 27. HC-16a SEM görüntüsü.	68
Şekil 6. 28. HC-17 SEM görüntüsü.	68
Şekil 6. 29. Alloy Plus modu p-XRF analizinde taranma alanına göre bazı elementlerin dağılımı.	78
Şekil 6. 30. Geochem modu p-XRF analizinde taranma alanına göre bazı elementlerin dağılımı.	79



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Camın tarihsel kronolojisi (Demir, 2013).....	12
Çizelge 6. 1. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-1/HC-5a).	32
Çizelge 6. 2. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-5b/HC-10a).	32
Çizelge 6. 3. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-10b/HC-13b).	33
Çizelge 6. 4. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-13c/HC-15e).....	33
Çizelge 6. 5. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-16a/HC-19b).	34
Çizelge 6. 6. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-20a/HC-21c).....	34
Çizelge 6. 7. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-1/HC-5a).	35
Çizelge 6. 8. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-5b/HC-10a).....	36
Çizelge 6. 9. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-10b/HC-13b).....	37
Çizelge 6. 10. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-13c/HC-15e).	38
Çizelge 6. 11. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları. (ppm) (HC-16a/HC-19b).	39
Çizelge 6. 12. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-20a/HC-21c).	40
Çizelge 6. 13. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-1/HC-5c).	57
Çizelge 6. 14. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-5c/HC-10b).	57
Çizelge 6. 15. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-11a/HC-13c).	58
Çizelge 6. 16. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-14a/HC-16a).	58
Çizelge 6. 17. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-16b/HC-20a).	58
Çizelge 6. 18. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-20b/HC-21c).	59
Çizelge 6. 19. Camların p-XRF analiz sonuçları (alloy plus modu) (HC-1/ HC-5b).	69
Çizelge 6. 20. Camların p-XRF analiz sonuçları (alloy plus modu) (HC-5c/HC-10b). .	70
Çizelge 6. 21. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-11a/ HC-13c).	70
Çizelge 6. 22. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-14a/ HC-16a).	71
Çizelge 6. 23. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-16b /HC-20a).....	71
Çizelge 6. 24. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-20b/ HC21b).....	72
Çizelge 6. 25. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-1/ HC-5b).....	72
Çizelge 6. 26. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-5c/HC-10b).	73
Çizelge 6. 27. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-11a/ HC-13c).	74
Çizelge 6. 28. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-14a/HC-16a).	75
Çizelge 6. 29. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-16b/ HC-20a).	76
Çizelge 6. 30. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-20b/HC-21b).....	77

1. GİRİŞ

1.1. Amaç-Kapsam

Tarihi cam eserler insanlık için sadece müzelik malzeme olmanın ötesinde değerli kültürel miras öğelerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Camlar üretildikleri dönemin özellikle teknolojik bileşenlerinin gün yüzüne çıkarılmasına büyük katkı sağlayabilmektedir. İnsanlık tarihi için önemli bir keşif olan cam eserler, son yıllarda yapılan kazı ve yüzey çalışmaları sonucunda bilimsel olarak literatüre önemli katkılar sunmaktadır. Yapılan araştırmalar camın M.Ö. 3. bin sonlarında ortaya çıktığını ve camın ilk olarak süsleme amaçlı kakma* olarak kullanıldığını göstermektedir (*eski dönemde objeler üzerine çeşitli biçimlerde açılan yuvalar içerisine sedef veya cam parçalarının yerleştirilmesiyle yapılan süsleme biçimi). Cam üretimine ilk olarak Mısır'da ele geçirilen cam fırınları işaret etmektedir (Başaran, 2000).

Dicle ve Fırat nehirleri arasında binlerce yıl boyunca birçok kültüre ev sahipliği yapmış olan Mezopotamya bir medeniyetler beşiği olarak tanımlanabilir. Bereketli topraklara ve elverişli iklim koşullarına sahip olan bu bölge asırlar boyunca insanoğlu tarafından uygun bir yerleşim ve gelişim alanı olarak benimsenmiştir. Tarihi zenginlikleriyle öne çıkan Mezopotamya'nın birçok farklı alanında arkeolojik kazılar yapılmaktadır. Bu kazı çalışmalarında bulunan cam malzemeler arkeometrik çalışmalara da konu olmuş ve farklı analitik analiz yöntemleri ile cam buluntular incelenmeye başlanmıştır. Arkeometri cam hammaddelerinin tanımlanması, kullanılan renklendiricilerin ve bozunma durumlarının belirlenmesi gibi birçok alanda yol gösterici veriler sağlamaktadır. Cam buluntular üretildikleri dönemin özellikle de teknolojik bileşenlerinin gün yüzüne çıkarılmasına büyük katkı sunabilmektedir. İnsanlık tarihi için önemli bir keşif olan cam, son yıllarda yapılan kazı ve yüzey çalışmaları sonucunda doğru tarihlemeyle cam yapım teknolojisi adına bilimsel olarak birçok araştırmaya konu olmuştur (Beşer, 2009).

Hasankeyf Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Batman iline bağlı bir ilçedir. Yapılan araştırmalar Hasankeyf'in kültürel, sosyal ve ekonomik olarak tarihte önemli bir rol oynadığına işaret etmiştir. Şehir merkezinin birçok kez yıkılıp tekrar inşa edilmesi nedeniyle, yapılan arkeolojik kazı araştırmalarını bir sonuca bağlamak zorlaşsa da, Hasankeyf Höyük'ün M.Ö. 9-10. bin yıllarına kadar uzanan bir tarihi olduğu ve Neolitik dönem yerleşkesine işaret ettiği anlaşılmıştır. Hasankeyf Kalesi'nin ise Roma

döneminde inşa edildiği bilinmektedir. Daha sonralarda Eyübbiler ve Artuklular tarafından şehir tamamen şekillenmiştir. Cami, mescit, türbe vb. gibi yapılar inşa edilmiştir (İsen, 2014).

Cam buluntuların arkeometrik yöntemlerle incelenmesi camın üretim yeri, kullanım amacı, üretim teknolojisi, şekillendirme yöntemi ve tarihlendirilmesi hususlarında yol gösterici bilgiler sağlamaktadır (Genç, 2010). Buradan yola çıkarak mevcut çalışmaya konu olan cam buluntuların arkeometrik analizi için p-XRF, PED-XRF ve SEM-EDX yöntemleri kullanılmıştır.

1.2. Arkeometri

Arkeometri arkeolojik ve tarihi açıdan değerli eserlerin fen bilim dallarındaki ölçüm ve analiz yöntemlerinin uygulanması ile gerçekleştirilen çalışmaları içeren ve gelişmekte olan bilim dalıdır. Bu yönüyle arkeometri insanoğlunun uygarlık tarihi ve gelişimini açıklamaya çalışan, arkeolojinin elde ettiği bulguların ispatlanmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Arkeometriye dair ilk çalışmaların 18. yüzyılda İtalya’da uzman Alchorn tarafından Bronz Çağı’ndan kalma İrlanda kılıçlarını analiz etmesiyle başladığı bilinmektedir. 1798’de kimyager Martin Klaproth Berlin Bilim Akademisi’nde Roma Dönemi aynalarının kimyasal analiz sonuçları hakkında bilgi vermiştir. 1878’de Baron De Geer, İsveç’te göl ve bataklık kültürlerindeki kalıntıları inceleyerek balçık katmanlarının sayımına dayanan bir mutlak tarihlendirme yöntemi geliştirmiştir. 1901’de bulunan, ancak arkeolojide 1929’da ilk olarak uygulanan bir diğer yöntem ise ‘dendrokronoloji’dir. 1916’da İsveçli botanik uzmanı Lennar Von Post’un ilk olarak geliştirdiği ‘polinoloji’ sayesinde çiçek tozlarının analizi ile dönemlerin bitki örtüsü ve iklim değişimleri hakkında bilgilere ulaşılmıştır (Esin, 1985; Henderson, 2000).

20. yüzyılın ortalarında arkeolojik buluntuların değerlendirilmesinde kimyasal ve fiziksel yöntemlere başvurulduğu ve bu amaç doğrultusunda birçok yöntemin geliştirildiği görülmektedir. Ancak bu çalışmaların arkeometri ismi altında toplanması 1950-1960 yılları arasında görülmektedir. 1955’de Libby ve arkadaşları organik maddelerin radyoaktif C^{14} testi ile bilime yeni bir tarihlendirme metodu kazandırmalarıyla arkeometri gerçek manada hayata geçirilmiş ve bu durum arkeometrinin başlangıcı olarak kabul edilmiştir (Esin, 1985).

Günümüzde arkeolojik çalışmalar geçmiş uygarlıklarla ilgili tüm verileri ve analizleri mümkün olduğunca doğru biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu sebeple eski uygarlıkların yeteri kadar anlaşılması ve tanımlanması farklı kültürlerle ait olan biyolojik ortamların, ekonomilerin, teknolojilerin, iklim ve bitki örtülerinin, ayrıca insanların sanatsal anlayışları ve üretim tekniklerinin/teknolojilerinin aydınlatılması konusunda önem arz etmektedir. Arkeometri ise uygarlıkları oluşturan insan topluluklarının içinde yaşadıkları dönemin tarihlendirilmesi ya da çağdaş bir uygarlıkla olan ilişki ve etkileşimlerinin bütünüyle açıklığa kavuşturmaya çalışmaktadır (Esin, 1985; Işık, 2018).

Türkiye’de arkeometri 1960’larda Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde bu alanda bireysel çalışmalar yürüten bilim insanları ve arkeologların iş birliği yapmasıyla kendini göstermeye başlamıştır. 1980 yılında TUBİTAK işbirliğiyle ODTÜ’de arkeometri ünitesi açılmıştır. Arkeometri 1980’li yıllardan itibaren bu alandaki çalışmaların değerlendirilip arkeolojik kazı sonuçları ile birlikte paylaşıldığı toplantılar dâhilinde sunulmaya başlanmıştır (Esin, 1985).

2. HASANKEYF

Hasankeyf, Dicle Nehri'nin doğu kıyısında ve Batman il merkezinden yaklaşık 35 km uzaklıkta yer almaktadır. Hasankeyf'in jeopolitik açıdan Ortaçağ'da önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Özellikle şehrin sağlam bir kaleye sahip olması ve Dicle Nehri'nin yapmış olduğu kıvrımlar burası için coğrafi avantajlardır (Şekil 2.1) (Hasankeyf kazı arşivi, 2015; Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018; İsen, 2014).

Dicle Nehri'nin kolay geçit verdiği bir noktada kurulan Hasankeyf yerleşim alanı erken dönemlerden itibaren kaynaklarda adını duyurmaktadır. Hasankeyf kent adının kökeni Süryani (doğu Aram) dilinde “Kaya” anlamındaki Kefa (kepha)'dır. Romalılar burayı adlandırırken bu Asurca kelimeyi muhafaza etmiş “Castrum Kepa” (veya Kefa) yani “*Kaya Kalesi*” demişlerdir. VII. yüzyılda bölgenin Müslümanlarca fethedilmeye başlanması ile Araplar bu topraklara yerleşmeye başlamıştır. Ortaçağ İslâm kaynaklarında ise burası için yaygın olarak “*Hısn Keyfa*” adının kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla “*HısnKeyfa*” ismi Türkçe “*kaya kale*” anlamını taşımaktadır (Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018; Miynat, 2008).

Güncel kaynaklara göre yaygın toplum bilminde kültür tarihi 12.000 yıl öncelerine kadar giden Hasankeyf'in mimarlık tarihi bu kadar erkene inememektedir. Gunfe Vadisi'ndeki mağara resimleri bölgenin eski çağlarda şekillendirildiğine işaret etse de şehrin kimler tarafından ve ne zaman kurulduğu kesin olarak bilinmemektedir. Şehirde tahmini olarak 4-5 bin mağaranın bulunduğu düşünülmektedir. Bu mağaraların farklı dönemlerde kullanıldığı ve her dönemde ihtiyaçlara göre şekillendiği yapılan incelemelerde anlaşılmıştır (Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018; İsen, 2014).

Yukarı Mezopotamya sınırları içerisinde yer alan Hasankeyf Dicle Nehri'nin varlığı ve uygun coğrafyası ile özel bir konuma sahiptir. Hasankeyf Höyük'te elde edilen bulgular ışığında Hasankeyf'in bir Neolitik Dönem yerleşim birimi olduğu anlaşılmıştır. Kazılar sonucu elde edilen bulgular höyükteki yerleşimin yaklaşık M.Ö. 9-10 bin civarında olduğuna işaret etmiştir. Ancak Hasankeyf şehrinin fiziki yapısında bu kadar erken dönemlere ait herhangi bir veri bulunmamaktadır (Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018; İsen, 2014).

Hasankeyf'i de içine alan Yukarı Mezopotamya'nın ilk sakinlerinin Subarulardan sayılan Hurriler olduğu bilinmektedir. Daha sonra bölgenin Naram-Sin

(M.Ö. 2254-2218) tarafından Akkad Krallığı topraklarına katıldığı bilinmektedir. Kısa süren Akkad hâkimiyetinin ardından bölgenin tekrar Hurrilerin eline geçtiği ve bir süre daha buradaki siyasi üstünlüğün Hurrilerde olduğu görülmektedir. Bölge Urartularla Asur arasında el değiştirmiş eski çağın büyük güçlerinden Med'ler ve hızla kaybolan Kimmerlerin egemenliğine daha sonrasında ise sırasıyla İskit (M.Ö. 653-625), Pers (M.Ö. 550-331) hâkimiyetine girmiştir. Pers hâkimiyetinin ardından M.Ö. 331 yılında Makedonyalı İskender'in eline geçen bölge M.Ö. 140'tan itibaren Parth (Arsakid) hâkimiyetine girmiştir. Bu Parth işgali on beş yıl kadar sürmüş, nihayetinde Romalılar bölgeyi tekrar ele geçirmişlerdir. Roma İmparatorluğu için bir ileri karakol özelliği taşıyan Hasankeyf, MS 2. ve 3. yüzyıllarda Romalılarla Sasaniler arasında el değiştirmiştir, MS 4. yüzyılda Hasankeyf'e sağlam bir kale yapan Romalılar, bu tarihten sonra kenti ellerinde tutmayı başarmışlardır. MS 4. yüzyıl sonu itibariyle Doğu Roma (Bizans) hâkimiyeti Arapların burayı ele geçirdiği 7. yüzyılın başlarına kadar sürmüştür (Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018; İsen, 2014).

Hasankeyf Anadolu'da Müslümanlar tarafından ilk fethedilen yerleşim yerlerinden biridir. Halid Bin Velid önderliğinde Bizans hakimiyetine son verilmiştir. Müslümanlar kenti ikinci halife olan Hz. Ömer döneminde (640 yılında) fethetmiştir. Halifeler döneminin ardından sırası ile Emeviler, Abbasiler, Hamdaniler ve Mervaniler'in yönetimine geçen kent 1100- 1232 tarihleri arasında Artukoğulları'nın başkenti olmuştur. Hasankeyf'in tarihi önemini kazanması ve anıtsal yapılarla süslenmeye başlaması Artuklular'ın 1100 dolaylarında buraya hakim olması ile mümkün olmuştur. Bu tarihten itibaren o günkü ismi ile "HısnKeyfa" Ortaçağ'ın önemli şehirlerinden biri haline gelmiştir. Hasankeyf'i Artuklular'dan 1232 yılında alan Eyyubiler henüz bölgeye tam hakim olamadan Moğol istilasına karşılaşmıştır. Söz konusu istila döneminde bölgedeki pek çok yerleşim yeri gibi Hasankeyf de tahrip edilmiştir. İstiladan sonra bölge beylikleri arasında sürekli el değiştiren Hasankeyf, istilanın şokunu atlatan Eyyubilerce yeniden ele geçirildikten sonra 14. yüzyılın başlarından itibaren yeniden imar edilmiştir. 1462-1482 yılları arasında Hasankeyf'e Akkoyunlular hâkim olmuştur. Bu kısa süreçten kalan tek yapı Zeynel Bey Türbesi'dir. Eyyubiler 1482'den 1515'e kadar tekrar şehre sahip olmuşlardır. 1516 yılında Osmanlı İmparatorluğu'na katılan Hasankeyf 17. yüzyıl itibariyle ticaret yolunun değişmesiyle gözden düşmüş ve küçülmeye başlamıştır. 20. yüzyılda 1. Dünya Savaşı sırasında terk edilerek harabeye dönüşmüştür. 1926'da Gercüş ilçesine bağlanan Hasankeyf

Batman'ın 1990'da il yapılmasıyla ilçe olarak Batman'a bağlanmıştır (Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018; Kılıcı, 1987).

Sonuç olarak Hasankeyf birçok medeniyete ev sahipliği yapmış ve tarihi bir kent olarak farklı medeniyetlerin izlerini taşıyan, kültürel açıdan özgün değerlere sahip bir karakter taşımaktadır. Bunlara ek olarak, jeolojik-jeomorfolojik faktörlerin fazlalığı yerleşim yerinin sürekliliğinin devam etmesinde önemli rol oynamıştır. Bu süreklilikle kayakent eşsiz bir doğal ve kültürel miras ögesi olmuştur (Sinanoğlu ve ark., 2017).

1985'te Prof. Dr. Oluş Arık başkanlığıyla Hasankeyf kazıları başlamıştır. 2004 yılında kazı başkanlığını Prof. Dr. Abdüsselam Uluçam devralmıştır. Günümüzde bu görev Batman Müze Müdürlüğü'ne aittir. Gerçekleştirilen kazılarla toprak altındaki zengin birikim gün yüzüne çıkarılmıştır. Hasankeyf kazılarında bütün veya kırık parçalar halinde renkli ve renksiz olmak üzere çok sayıda cam buluntusu ortaya çıkarılmıştır. Renkli örnekler yeşil, türkuaz, kobalt mavisi, hardal, sarı, kahverengi ve beyaz rengindedir (Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018; Yılmaz, 2016).



Şekil 2. 1. Hasankeyf kuşbakışı görünüm (Hasankeyf kazı arşivi, 2015).

Şekil 2.1'de sayılar ile ifade edilen alanlar aşağıdaki gibidir;

1. Zeynel Bey Türbesi ve Külliyesi
2. Artuklu Hamamı
3. İmam Abdullah Zaviyesi
4. Artuklu Köprüsü
5. Er- Rızk Camii
6. Şab Camii Yapılar Grubu
7. İç Kale Kapıları
8. Büyük Saray
9. Ulu Cami
10. Küçük Saray
11. Koç Camii-Sultan Süleyman Camii ve Külliyesi
12. Yamaç Külliyesi
13. Seramik Fırınları
14. Artuklu Köşkü
15. Mardinike Külliyesi
16. Höyük

3. CAM

Cam, uygun hammaddelerin bir araya getirilerek karıştırılıp yüksek sıcaklıkta şekillendirilmesiyle meydana gelmektedir. Ancak bazen camlar volkanik kökenli olarak doğada kendiliğinden oluşabilmektedir. Obsidyen ve dağ kristali bunlara örnektir. Camların şekilleri oda sıcaklığında değişmemekte, hammadde içeriğine göre ise erime sıcaklığı değişebilmektedir. Camların fiziksel özellikleri katı cisimlerle benzerken, yeterli sıcaklıkta akışkan hale gelebilmektedir. Katı cisimlerin izotropik özelliklerini taşımaktadırlar. Camın diğer katı cisimlerden farkı yumuşama noktasının olmasıdır. Bu yüzden camlar ne katı ne de sıvıdır. Cam karışımı tamamen homojen ise saydam, sadece bir madde homojen dağılmış ise yarı saydam ve opak olmaktadır (Başaran, 2000; Memiş, 2005).

3.1. Camın Tarihi Süreci

Var olan çalışmalardan camın ilk olarak nerede, ne amaçla ve kim tarafından üretildiği tam olarak bilinmemektedir. Ancak yapılan arkeolojik kazılar sonucunda ele geçen malzemelerden ilk camın Mısır ve Mezopotamya’da üretildiği düşünülmektedir (Kocabağ, 2019).

Doğada saf olarak yer alan camların M.Ö. 4. binin sonlarında insanlar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Doğada kendiliğinden var olan bu cam kütleleri kırılıp kesilmiş, var olan amaçlara göre yontulup kullanılmıştır. Doğal camdan üretilen camların kullanım amacı ihtiyaca göre farklılık göstermiştir. Ancak, çoğunlukla kesme, şekil verme ve süsleme gibi amaçlar için kullanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda, doğal camlardan en sık kullanılanın obsidyen olduğu bilinmektedir (Bayraktar, 2011; Karpuz, 2014).

Obsidyen Paleolitik, Neolitik ve Erken Bronz dönemlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Adı geçen dönemlerde obsidyen günlük kullanımdaki eşya ve aletlerin, heykellerin yapımında esas hammadde olarak kullanılmıştır. Buna bağlı olarak da değerli bir materyal olarak kabul edilmiş ve nihayetinde ticari bir malzeme olarak kabul görmeye başlamıştır. Doğada kendiliğinden oluşmuş başka bir cam türü de fulgurittir (Başaran, 2000; Dardeniz, 2013; Birinci, 2019).

Arkeolojik kazılar ile ulaşılan buluntular ışığında cam üretim prosesinin yaklaşık olarak M.Ö. 3. binlerin sonlarında Mezopotamya’da başladığı öngörülmektedir. Yürütülen araştırmalardan cam hamurunun içerisine bakır oksit eklenerek mavi renkli cam kaplar ve fayanslar üretildiği anlaşılmıştır. Mezopotamya’da ele geçen ve M.Ö. 2. bin yılının ortalarına tarihlenen kil tabletler üzerinde cam üretimine dair ipuçları tespit edilmiştir. Mısır’da ise M.Ö. 1350 yılına ait olduğu bilinen bir cam atölyesi tespit edilmiştir. Atölyenin bulunması cam üretiminde seri üretime geçildiğine işaret etmiştir (Başaran, 2000; Dardeniz, 2013).

9. yüzyıla ait olduğu düşünülen Suriye el yazmalarında cam fırınının üç katlı olması gerektiği belirtilmiş ve en altta ateş, onun üstünde cam ergitme odası ve en üstte de camın tavlandığı bir kısımdan bahsedilmiştir. Bu özelliklere sahip 11. yüzyıla tarihlenen başka bir fırın da Korint’te bulunmuştur (Karpuz, 2014).

Antik dönem ve sonrasında cam üretiminde kullanılan aletler (makas, kepçe, üfleme boruları vb.) genel olarak ufak değişiklikler göstermiş ve çoğunlukla aynı veya benzer nitelikte olmuştur. Günümüzde ise geleneksel üretim dışında, yüksek teknoloji malzemesi olarak üretilen camlarda endüstriyel üretim teknolojileri ve yöntemleri kullanılmaktadır (Özgümüş, 2000; Eker, 2014).

M.Ö. 1. yüzyıl ile M.S. 1. yüzyıl arasında Helenistik kültürü üzerine biçimlenmiş Roma dönemi camları ortaya çıkmıştır. Bu camlar genel olarak Fransa, İngiltere, İspanya, Balkan ülkeleri, Belçika ve ayrıca Roma İmparatorluğu topraklarında üretilmiştir. Cam üretimindeki dönüm noktası üfleme tekniği kabul edilebilir. Bu teknik M.Ö. 1. yüzyılda Suriye’de ortaya çıkmış ve sonrasında cam şekillendirme sürecinde sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. Roma’nın cam üreten merkezler ile olan ilişkilerinin artması ve Suriye’yi işgal etmesiyle birlikte Roma’daki cam üretiminin hızla arttığı görülmüştür. Buna durumlara bağlı olarak ayna ve pencere camları da ilk olarak Romalılar tarafından üretilmiştir. Roma’daki bu ivmeli cam üretimi süreci kavimler göçü ile hız kaybetmeye başlamış olsa da, daha sonrasında kurulan Bizans İmparatorluğu ile cam üretimi eski canlılığına kavuşmuştur (Çakmaklı, 2007; Öztürk, 2010; Tek, 2005; Atik, 2004; Demir, 2013).

Arkeolojik araştırmalar neticesinde özellikle Filistin ve Suriye bölgelerinin cam üretiminde önemli bir yere sahip olduğu kazılarda tespit edilen cam fırını, cam kalıntıları gibi buluntular ile anlaşılmıştır. Sasanilerin cam üretiminde özellikle sanatsal

açıdan belirgin yetilere sahip olduğu geometrik bezemeli kesme camlardan anlaşılmaktadır. M.S. 7-8. yüzyıllarda Araplarca ele geçirilen Afrika ve Yakın Doğu İslam etkisine girmiş ve bu dönemdeki cam üretiminde/sanatında Sasanilerin izleri görülmüştür (Özgümüş, 2000; Demir, 2013).

Sonrasında, yani M.S. 8-13. yüzyıllar arasındaki Abbasiler döneminde, İslam coğrafyasındaki cam sanatı da benzer karakteristik özellikler göstermiş ve Bağdat, Şam, Halep gibi bölgeler Orta Doğu'nun cam üretim merkezi haline gelmiştir. M.S. 10.-12. yüzyıllara gelindiğinde Fatimilerin de kesme cam tekniğini kullandığı ve yeşil-kahve tonlarında, üstü kabartmalı “Hedwig Glass” bardaklarını ürettiği bilinmektedir. Bu bardaklar o dönemde ön plana çıkan ve ün kazanan cam ürünleri olmuştur. Fatimilerin kesme cam tekniği dışında üfleme tekniğini de kullandıkları Serçe Limanı Batığı'nda ortaya çıkan ve yaklaşık M.S. 1025 olarak tarihlendirilen cam örneklerinden anlaşılmaktadır. Cam üretimindeki yenilik ve gelişmeler İslam dünyasında farklı şekillerde ortaya çıkmıştır. Bunların en önemlilerinde biri de Eyyubi ve Fatımi döneminde “*sence*” olarak isimlendirilen cam paralardır (Yazar ve Aslan, 2013; Özgümüş, 2000; Demir, 2013).

Cam üretimi ile ilgili bilgilerin yer aldığı “Mappae Clavicula” isimli kitapta M.S. 8-9. yüzyıldaki cam imalatına değinilmektedir. Buradaki anlatıma göre, cam hammaddeleri ısıya maruz bırakılarak bir ön ergitmeye tabi tutulmakta ve ardından kırılarak parçalar halinde tekrar eritilmektedir. Cam imalatındaki önemli adımların başında gelen ergitme işleminde takip edilen aşamalar ile ilgili bazı bilgilere sırasıyla M.S. 10. ve 12. yüzyıllarda ortaya çıkan “The Third and Prosaic Book of Eraclius” ve “De Diversis Artibus” isimli kitaplarda rastlanmıştır. Cam üretiminde Bizans İmparatorluğu'nun önemli bir yere sahip olduğu arkeolojik kazı ve araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Örneğin, Korinth'te yapılan kazılarda Bizans'a ait 11-13. yüzyıllara ait cam fırınlarına ulaşılmıştır. Bizans camları arasında kullanım amacı olarak günlük eşya şeklinde ele geçen buluntuların yanı sıra saray için üretildiği düşünülen yüksek kaliteli veya lüks denilebilecek emaye ve altın yaldız teknikleri kullanılmış bazı cam eşyalara da rastlanmıştır. Bu tip lüks camlar 12-13. yüzyıllarda Mısır ve Suriye bölgelerinde de görülmüştür (Öztürk, 2010; Çakmakçı, 2012; Charleston, 1978; Demir, 2013).

Yaldızlı cam üretiminde Memluklerin (1250-1517) öne çıktığı bilinmektedir. Camlar diğer ürünlerde olduğu gibi üretim yerlerinin dışına çıkmaya başlamış ve ticari yollarla yayılım göstermiştir. Memluklerin ürettiği göz alıcı camlar o dönemin dikkat çekici ürünleri olmayı başarmış ve bu tip camların batıya doğru yolculuğu başlamıştır. Özellikle cam ustalarının o dönemdeki istila ve savaşlar neticesinde yaşadıkları alanları terk etmesi ile birlikte Suriye'deki cam üretimi gerilemeye başlamıştır. Bununla birlikte, Venedik cam imalatında ön plana çıkmış ve bilhassa 13. yüzyılda önemli bir cam üretim noktasına dönüşmüştür (Onur, 2007; Demir, 2013).

Anadolu'ya bakıldığında, yine 13. yüzyılda Artuklular ve Selçuklular tarafından dikkat çekici cam örnekleri ortaya konmuştur. O dönemin güzel örneklerinden bazıları çinileri ile de kendisinden söz ettiren Kubadabat Sarayı'ndaki renkli cam kalıntılarıdır. Sarayda ayrıca kitabeli bir cam tabak da yer almaktadır. Osmanlı İmparatorluğu'nun İstanbul'u alması ile birlikte şehir önemli bir cam merkezi haline gelmiştir (Balıkcı, 2007; Demir, 2013) .

Demir (2013) tarafından yapılan camın tarihsel kronolojisinden bazı kesitler Çizelge 3.1'de verilmiştir (tamamı için bkz. Demir, 2013, s. 22-25);

Çizelge 3. 1. Camın tarihsel kronolojisi (Demir, 2013).

M.Ö. 1. yüzyıl	Roma cam üretiminin öne çıkması.
M.Ö. 50	Cam üfleme tekniğinin ortaya çıkması (Suriye).
M.Ö. 30	Romalılar tarafından Avrupa'ya Suriye-Mısır'dan cam ustalarının getirilmesi ve İtalya'da atölyelerin kurulması. Cam üfleme sanatının geliştirilmesi.
M.S. 5. yüzyıl	Roma'daki cam üretiminin gerilemesi, Bizans'ta cam üretiminin sürdürülmesi.
M.S. 7-8. yüzyıl	Cam üretiminde Sasani etkisinin görülmeye başlanması.
M.S. 9-14.yüzyıl	Cam üretim merkezleri Orta Doğu'da Halep, Musul, Rakka ve Şam olmuştur.
M.S. 10-12.yüzyıl	Cam kesme tekniğinin Fatımiler tarafından necef üstünde uygulanması.
M.S. 13-15.yüzyıl	Yaldızlı ve mineli cam örneklerinin yakın doğuda görülmesi (Memlûklüler).
M.S. 13. yüzyıl	Avrupa'da Venedik'in önemli bir cam üretim merkezi haline gelmesi. Anadolu'daki cam üretiminde Artuklu ve Selçuklu etkilerinin hissedilmesi.
M.S. 1615	Cam ergitme prosesi için odun yerine kömürün kullanılmaya başlanması.
M.S. 17. yüzyıl	Cam üretimine dair bilgilerin yer aldığı ve "cam sanatı" anlamına gelen "L'Arte Vetraria" isimli kitap Antonino Neri tarafından yayımlanmıştır. Kitap farklı dillerde de basılmıştır.
M.S. 1676	Avrupa'da İngilizler tarafından camda kurşun kullanımı başlamış ve böylelikle Londra cam üretiminde öne çıkmıştır.
M.S. 17. yüzyıl	Bohemya'da potas camı üretilmiştir.
M. S. 18. yüzyıl	Avrupa'da cam fabrikaları kurulmaya başlanmıştır. Baccarat ve Lorraine Fransa'da kurulan fabrikalardır.
M.S. 19. yüzyıl	Anadolu'da cam üretimine ilgi artmıştır. Cam üretim atölyeleri kurulmuştur (Beykoz, İstanbul).
M. S. 19. yüzyıl	Camın optik özelliklerinin keşfedilmesi ile birlikte cam üretimindeki çeşitlilik artmaya başlamıştır.
1934, 1935	Türkiye'de ilk cam üretim tesisi için adımlar atılmıştır.

3.2. Cam Hammaddeleri

Camın başlıca içeriklerinden biri silistir. Silisyumun oksijenli bileşeni olan silisyum oksit kuvars mineralini oluşturmaktadır. Silis kokusuz, tatsız, renksiz ve suda veya alkaliler içerisinde çözünemeyen bir maddedir. Silis yüksek sıcaklıkta eriyebilen bir madde olduğundan dolayı cam eriyiğinin oluşumu için reçeteye sodyum karbonat ve potasyum karbonat kaynakları eklenmektedir. Ergitici özellikteki bu ilavelerde yer alan sodyum ve potasyum camın suya karşı dayanımını düşürdüğü için hamura ayrıca kireç katılmaktadır. Genel itibariyle, normal bir camın yapısında yaklaşık olarak %72 silis, %15 soda/potas, %13 kireç yer almaktadır. Kristal cam ise yaklaşık %48 silis, %24 soda/potas, %28 kurşun oksitten oluşmaktadır. Türlerine göre camlara renklendirici ve/veya opaklaştırıcılar da ilave edilebilmektedir. Cam reçetesinde her ne kadar cam oluşturucu, cam ergitici hammaddeler temeli oluştursa da, cam hamurunda yer alan bazı eser elementlerin oran ve dağılımları başta renk olmak üzere camın bazı özelliklerini belirleyici nitelikte olabilmektedir (Goffer, 2007; Genç, 2019; Bayraktar, 2011).

Camlaştıracı hammaddeler

Antik cam üretiminde en yaygın kullanılan cam oluşturucular silika esaslı hammaddeler olmuştur (kum, kumtaşı, kuvars vb.). Antik dönem camlarının ardından geç dönemlerde ve ilerleyen modern çağda silikaya alternatif veya ek olarak bor, kurşun, arsenik, germanyum ve fosfor da camlaştıracı olarak kullanılmıştır. Dört-yüzlü (tetrahedral) bir moleküler yapıya sahip olan kristal silikada merkezde yer alan silisyum atomunun etrafında dört oksijen atomu yer almaktadır. Bu yapının hızlı ısıtma ve soğutmaya maruz kalması neticesinde silika kristal yapısını koruyamamakta ve amorf bir yapı oluşturmaktadır. Silika oranı arttıkça camın kimyasal dayanımı artmakta ve genleşme katsayısı azalmaktadır. Yüksek kaliteli cam yüksek saflıktaki silika ile sağlanmaktadır (Başaran, 2000; Genç, 2019).

Camda kullanılacak silika kaynağının hazırlanmasında kum ve/veya çakıl taşlarının öğütülüp elenmesi ve böylelikle belirli bir tane boyutuna indirgenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, kumun tercih edilmesi hazırlanış prosesi açısından kolaylık sağlayabilir. 14. yüzyıl ile 17. yüzyıl arasında Venedikli cam üreticilerinin silika kaynağı olarak çörtten faydalandığı bilinmektedir. Silika kaynağı olarak kullanılacak malzeme ne olursa olsun buradaki en önemli husus safsızlık miktarıdır.

Hammaddelerdeki olası safsızlıklar/kirlilikler camın fiziksel veya kimyasal özelliklerini etkileyebilmektedir (Zecchin, 1987; Henderson, 2013; Shortland, 2012; Genç, 2019).

Silika dışında cam oluşturuıcı olarak karşımıza çıkan bir diğier en önemli hammadde ise bor içerikli olanlardır. Bor kaynağı olarak borik oksit içeren bitkilerden faydalandığı bilinmektedir. Bu tip bitkilerin külleri ile cama eklenen bor, cam karakterizasyonunda özellikle cam bileşimlerinin ayırt edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Örneğın, bazı Bizans dönemi camlarının antik dönem örneklerine göre daha yüksek oranda (%0.25) bor içerdiği görülmektedir. Batı Anadolu'da kolemanit (hidratlı kalsiyum borat) kaynaklarının yüksek olmasının bunda etkili olduğu düşünülebilir (Davison, 2003; Genç, 2019).

Ergitici hammaddeler

Silika normal şartlarda yaklaşık olarak 1700°C'de erimektedir. Düşük sıcaklıkta kolay eriyemeyen bir mineral olduğundan dolayı silikanın ergime noktasını düşürmek amacıyla cam reçetesi içerisine Na₂O ve K₂O gibi alkali metal oksitler ilave edilmektedir. Bunlarla birlikte cam hamurunda CaO ve MgO gibi toprak alkaliler de dengeleyici olarak kullanılabilir. Camın oluşturulmasında kum ile birlikte soda (Na₂CO₃) ve/veya potas (potasyumlu bileşen içeren veya potasyum içerikli malzemeler, çoğunlukla K₂CO₃) kullanımı üretim için yeterli olabilmektedir, zira cam oluşturuıcı silikanın eriyik bir şekilde cam oluşturmada bu alkaliler erime sıcaklığını aşağıya çeken esas eritici konumundadırlar. Böylelikle, soda ve potas camın işlenmesini kolaylaştırarak farklı biçimlendirme yöntemlerine olanak sağlayacak kıvamda cam üretimine izin vermektedir. Cam oluşumu esnasında ergime sıcaklığının soda ve/veya potas ilavesi ile 1000°C veya daha da altına düşmesinin antik dönem çağlarının mevcut şartları bağlamında cam ergitme işlemini kolaylaştırdığı ve böylelikle ergitme prosesine büyük oranda katkı sağladığı söylenebilir. Özellikle antik dönem fırınları göz önüne alındığında, normalde çok çok yüksek sıcaklıklarda oluşması beklenen camın 1000°C'nin altında oluşması bir bakıma cam üretimini mümkün kılan en önemli parametredir (Başaran, 2000; Memiş, 2005; Genç, 2019; Davison, 2003).

Ergitici özellikteki içeriklerin mineral veya bitki kaynaklı olduğu bilinmektedir. Literatürde reçetesine göre antik camlar dört grupta toplanabilir; bitki külu esaslı camlar, ağaç külu esaslı camlar, kurşun/kurşun-baryum esaslı camlar ve mineral/sodyum karbonatlı camlar (Rehren ve Freestone, 2015).

Dicle ve Fırat nehirlerinin sınırını belirlediği Mezopotamya bölgesinde yaklaşık olarak M.Ö. 9. yüzyıla kadar ve sonrasında da belirli aralıklarla Romalılar ve Sasaniler tarafından yüksek tuz içerikli toprak veya suda yetişebilen, dolayısıyla tuza dayanıklı halofit türü bitkiler cam üretiminde kullanılmıştır. Yüksek miktarlarda sodyum karbonat içerikleri ile cam üretiminde ergitici olarak tercih edilen bu tür bitkiler silika ile reaksiyona girebilecek diğer ihtivaları da içerebilmektedir; hidroksitler, bikarbonatlar, sülfürler gibi (Henderson, 2013).

Ergitici olarak potasça zengin veya soda-potas içeren bitkilerin kullanımı dışında, mineral katkıları da ergitmeyi kolaylaştırmak için tercih edilmiştir. Karbonat ve/veya klorür içeren, yüksek soda içerikli evaporitik minerallerin antik dönem cam üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Sodyum karbonat içerikli natron ve trona camlarda sıklıkla tercih edilen minerallerin başında gelmiştir (Genç, 2019).

Sabitleştirici hammaddeler

Sadece silikattan oluşan camlar dayanıksız olacağından dolayı cam içeriğinde dengeyi sağlayan ve “sabitleştirici” olarak da bilinen katkılar kullanılan bir diğer hammadde grubunu oluşturmaktadır. Bu grup içerisinde alüminyum, magnezyum ve kalsiyum içerikli ilaveler cam hamurunda dengeyi sağlamaktadır. Toprak alkaliler içerisinde yer alan ve çift pozitif yüklü magnezyum ve kalsiyuma ait katyonlar tek pozitif yüklü olanların aksine oksijen atomlarına sıkıca bağlanmakta ve böylelikle camı daha dayanıklı hale getirmektedir. Alümina ilavesi ise cam üretiminde özellikle şekillendirme aşaması sırasında camın çalışma aralığını optimize etmektedir. Bunlara ek olarak, baryum da cam reçetesinde yer alabilmektedir (Memiş, 2005; Goffer, 2007; Genç, 2019).

Ara hammaddeler

Cam üretiminde cam oluşturunucular, ergiticiler ve dengeleyiciler dışında ara hammaddeler de hamurda yer almaktadır. Bu bağlamda, özellikle eriyik camın işlenmesi veya şekillendirilmesi esnasında, ısıtma ve soğutma aşamalarında cam içerisinde gaz çıkışı ve/veya hava akımı sonucunda oluşabilecek porozite veya benzeri hataların minimize edilmesine katkı sunan potasyum nitrat, arsenik oksit, sodyum sülfat gibi maddeler reçetede yer alabilmektedir (Memiş, 2005).

Bunlar dışında, camın renklendirilmesi için de farklı ilaveler yapılmaktadır. Antik dönemde değerli taşları taklit etmek amacıyla camların renklendirildiği bilinmektedir. İlerleyen dönemlerde camlar bilinçli olarak renklendirilmeye başlanmıştır. Camlardaki renk oluşumunu etkileyen en önemli faktörler pigment türleri ve ergitme prosesindeki değişkenlerdir. Cam hamurunda rengi değiştirebilecek iz elementler de bulunabilir (ppm seviyesinde). Rengi oluşturan ve/veya etkileyen başlıca elementler demir (Fe), manganez (Mn), kobalt (Co), bakır (Cu), kurşun (Pb), kalay (Sn), antimon (Sb) olarak sayılabilir. Renk oluşumunda etken parametrelerin başında ergitme sıcaklığı ve atmosferi gelmektedir. Yükseltgen bir ortamda demir cama yeşil-mavi tonlarını verirken, indirgen ortamda siyah-kahve renklerini oluşturabilmektedir. Renklendirmeye ek olarak camın opaklaştırılması da istenirse, bu amaçla camın amorf yapısının aksine soğuma esnasında kristalleşen safsızlıklar kullanılmaktadır. Bu katkılar dışında, cam bünyesindeki porlar (baloncuklar) da eski dönem cam üretiminde opaklaşmaya neden olmuştur (Memiş, 2005; Genç, 2019; Shortland, 2012; Biek ve Bayley, 1979; Goffer, 2007; Davison, 2003; Bayraktar, 2011).

Bazı elementlerin camda sağladığı renkler Şekil 3.1’de verilmiştir (Eker, 2014);

Demir		Yeşil, sarı ve kahverengi
Kobalt		Koyu mavi, açık mavi, mor
Bakır		Yeşil, turkuaz ve kırmızı
Gümüş		Sarı
Mangan		Mor ve pembe
Kurşun		Saydam ve parlak
Altın		Pembe ve kırmızı
Çinko, Fosfat, Kalay		Beyaz ve opak
Antimon		Opak ve sarı
Krom		Sarımsı yeşil
Titanyum		Sarımsı kahve
Uranyum		Açık yeşil ve sarı
Selenyum		Pembe ve amber
Nikel		Pembe ve mor

Şekil 3. 1. Elementlerin cama verdiği renkler (Eker, 2014) .

3.3. Cam Üretim Aşamaları

Hammadde hazırlama

Cam üretiminin ilk aşaması üretilecek cam tipine göre belirlenen reçeteye uygun hammaddelerin istenilen oranlarda bir araya getirilmesidir. Bu amaçla, önceki bölümlerde bahsedilen cam oluşturmalar, ergiticiler, sabitleştiriciler ve isteğe bağlı olarak renk vericiler reçeteye göre tespit edilen miktarlarda hazırlanır. Cam hamurunun hazırlık aşamasında kullanılan hammaddelerin tane boyut, şekil ve dağılımları, ayrıca saflık ve homojenizasyonu bu safhadaki önemli parametrelerdir (Artel, 1969; Dardeniz, 2013).

Eritme

Hammaddelerin belirlenen oranlarda bir araya getirilmesinin ardından uygun bir ortamda eriyik oluşturacak şekilde ısıtılma tabi tutulması cam üretiminde ikinci adımı oluşturmaktadır. Bu amaçla kullanılan cam ergitme fırınlarının tunc eldesinde kullanılan ergitme fırınlarından yola çıkılarak tasarlandığı düşünülmektedir. Bu tip fırınların

önceleri topraktan yapıldığı ve maksimum sıcaklığa üfleç yardımıyla çıkıldığı bilinmektedir. Toprak esaslı fırınların bir sonraki evresinde toprak-tuğla kullanılarak tasarlanan fırınlar tercih edilmeye başlanmıştır. Bu tipteki fırınların ızgara benzeri iç bölümleri ve örtülü dış cepheleri bulunmaktadır (düz örtü veya kubbe şeklinde). Fırınlar genel itibarıyla ocak, cam çalışma ve cam tavlama meydanına gelmektedir. Ergitme fırınlarında camın nihai özelliklerini belirleyen başlıca etkenlerin maksimum sıcaklık, ısıtma oranı ve ergitme atmosferi olduğu düşünülebilir (Küçükerman, 1998).

Cam üretiminde ergitme sırasında oluşan belli başlı reaksiyonlar aşağıdaki gibidir (Geçkinli,1992; Memiş, 2005);

- 100°C Cam karışımı içindeki fiziksel suyun bünyeden uzaklaşması.
- 100-400°C Minerallerde bulunan kimyasal suyun uzaklaşması.
- 300-800°C Katı-katı reaksiyonlarının oluşması
- 750-900°C Karbonatlı hammaddelerin bozunması ve ardından diğer mineraller ile reaksiyona girerek bileşikler oluşturması.

Arıtma

Ergitme sonrasında oluşan cam içerisinde meydana gelebilecek hataları ortadan kaldırmak amacıyla yapılan bir işlemdir. Ergimiş camda karşılaşılabilecek kusurlardan en önemlisi hava boşlukları ve gazlardır. Şekillendirme tekniğine bağlı olarak bu tip boşluklar nihai cam üründe bazı deformasyonlara sebebiyet verebilmektedir. Dolayısıyla, arıtma işlemi ile camda oluşabilecek bozulmaları minimize etmek mümkündür. Yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen arıtma işleminde cam hamuru içerisindeki boşluklar yok edilebilmektedir. Aksi durumlarda ise ekstra katkıları kullanılarak ve karıştırma yolu ile hava ve gaz boşlukları giderilebilmektedir (Memiş, 2005).

Soğutma

Camın ergitilmesi kadar soğutulması da hassasiyet gerektiren bir süreçtir. Bu aşamada, ergitilerek oluşturulan sıcak cam kütesinin soğutulurken bulunduğu ortam şartları camın nihai özelliklerini belirleyecektir. Dolayısıyla soğutma işlemi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Sıcak cam hamurunun soğutulma hızı optimum bir değerde ayarlanmalı ve ani sıcaklık değişimlerinden kaçınılmalıdır. Soğutma hızının gerekenden yüksek olması neticesinde cam eriyiği üstünde kabuklaşma meydana gelebilmektedir.

Böyle bir durumda, camın dışı hızla soğurken iç kısmı daha sıcak kalmakta ve bünye içerisinde gerilimler söz konusu olabilmektedir. Oluşan gerilimler camda deformasyon, kırılma veya parçalanma ile sonuçlanabilmektedir. Bu tip hataları bertaraf etmek iyi bir tavlama ile mümkündür. Dikkatli bir şekilde yapılacak soğutma ve tavlama işlemleri camın bütünlüğünü koruyacaktır (Artel, 1969; Memiş, 2005).

3.4. Cam Şekillendirme Teknikleri

Cam üretimi diğer tüm malzemelerde olduğu gibi bir gelişim ve değişim sürecine tanıklık etmiştir. İlk etapta basit camlar üretilirken, ilerleyen dönemlerde cam için farklı hammadde kaynakları, farklı üretim teknikleri ve sanatsal açıdan farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bunlara bağlı olarak, cam ustaları sürekli değişik şekillendirme metotları, süsleme ve renklendirmeler üzerine yoğunlaşmıştır. İlk cam ürünlerinin boyutsal olarak daha küçük ve kalın olduğu bilinmektedir, sonrasında ise zamanla daha ince, büyük ve zarif camlar üretilenmiştir (Başaran, 2000).

Bu bölümde cam şekillendirme aşamasında özellikle eski çağlarda kullanılan ve zamanla gelişerek farklı tiplerde de karşımıza çıkan kalıp kullanımına değinilecektir. Bu çerçevede; camda iç kalıp, kalıba döküm ve üfleme teknikleri kısaca ele alınmıştır.

İç Kalıp

Kronolojik anlamda özellikle ilk üretim dönemlerinde, camın ergitilmesi için gerekli olan optimum yüksek sıcaklıklara çıkılamamasından dolayı camın işlenmesinde yaşanan zorlukların aşılması noktasında bir kalıp üzerinde ergimiş camın veya sıcak cam tozlarının şekillendirilmesi iyi bir çözüm olmuştur. “İç kalıp” olarak isimlendirilen bu metotta camın şeklini alacağı kalıp çoğunlukla topraktan hazırlanmıştır (çekirdek kalıp). Çamur halindeki toprak ile üretilen ve camı taşıyacak olan iç kalıbın üzerine eriyik cam veya sıcak tozlar beslenerek kalıp üzerinde manuel olarak biçimlendirilebilmekte ve ürüne süsleme, parça ekleme gibi ek işlemler yapılabilmektedir. Bunlar tamamen cam ustasının maharetine ve sanatına bağlı olarak gelişmektedir. İç kalıp için kullanılan çamurun içerisine kalıbın sağlamlığını arttırmak için bitkisel/hayvansal katkılar eklenebilmektedir (bitki lifleri veya hayvan tüyü vs.). İç kalıp tekniği ile üretilmiş cam kalıntılarına Mısır, Anadolu ve Mezopotamya’da yapılan

kazılarda rastlanılmıştır (Newton ve Davison, 1996; Küçükerman, 1985; Özgümüş, 2000; Bayraktar, 2011).

Kalıba Döküm

Antik dönemde özellikle metal kaplardan yola çıkılarak kullanılan kalıplar zamanla cam için de tercih edilmiştir. Kalıba döküm tekniğinde adından da anlaşılacağı üzere hedeflenen şeklin oluşmasını sağlayacak forma sahip bir kalıp içerisine cam parçacıkları (toz halinde) veya hammaddeleri (eriyik halde) dökülmektedir. Kalıp içerisinde kullanılan camlar farklı renklerde olabilmektedir. Bu sayede mozaik renk görünümlü sanatsal ürünler elde edilebilmektedir. Dökümle şekillendirmede kalıbın hammaddesi genellikle topraktır. Pişmiş toprak (terra cotta) esaslı kalıpların içerisine eklenen cam toz veya eriyiği artan sıcaklıkla birlikte (800-1000°C) şekil almaya başlamakta ve ürünün biçimine bağlı olarak kalıbı tamamen doldurana veya sarana kadar ısıtma işlemi devam etmektedir. Şekil alma işlemi tamamlandığında soğumaya bırakılan ürün dikkatli bir şekilde kalıptan alınmaktadır (Bayraktar, 2011; Memiş, 2005).

Üfleme

Cam üretiminde bir dönüm noktası olarak kabul edilebilecek üfleme tekniği kendisinden önce kullanılan iç kalıp ve döküm metotlarını unutturacak kadar önemli bir alternatif olarak M.Ö. 1. yüzyıl ortalarında Suriye’de ortaya çıkmıştır. Genel olarak serbest üfleme ve kalıba üfleme şeklinde uygulanan teknik ile daha önceki metotlara kıyasla daha ince cidarlı ve dolayısıyla daha şeffaf camlar üretilmeye başlanmıştır. Üfleme tekniği ile cam ustası daha hassas çalışabilmekte ve istenilen değişiklik veya eklemeleri camı yumuşatarak eş zamanlı olarak yapabilmektedir (uygun üretim koşulları altında). Bu yönüyle, üfleme tekniği günümüzde de özellikle sanatsal cam eserlerde tercih edilmektedir (Küçükerman, 1978; Özgümüş, 2013).

Üfleme tekniği eritilmiş cama hava üflenerek yapılan biçimlendirme olarak basit bir tanımla ifade edilebilir. Serbest üfleme tekniğinde, içerisine hava üflenmesine olanak sağlayan üfleme pipolarının uç kısmına eriyik cam konulmakta ve viskozitesi görece düşük olan sıcak camın akmasını önlemek için pipo döndürülmektedir. Çalışma tablası veya masası üzerinde yuvarlatılan cama pipodan hava üflenerek biçimlendirmeye başlanmaktadır. Üfleme esnasında soğuma ile birlikte katılaşmaya

başlayan camı eski kıvamına getirmek için belirli aralıklarda ısıtma yapılmaktadır. Kalıba üfleme tekniğinde ise, üretilecek ürünün formuna sahip pişmiş toprak kalıp içerisine pipo ucuna alınan eriyik cam yerleştirilerek içerisine hava üflenmektedir. Biçimlendirilen cama varsa kulp vb. ek parçaları eklenerek işlem tamamlanmaktadır. Serbest üflemeden farkı üfleme işleminin bir kalıp içerisine doğru yapılmasıdır. Cam üretiminde yeni bir sayfa açan cam üfleme tekniği Suriye’de ortaya çıkmasının ardından zamanla Avrupa’ya taşınmış ve Roma’da üfleme cam üretimi başlamıştır (Başaran, 2000; Çakmaklı, 2007; Bayraktar, 2011; Grossmann, 2002).



4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, mevcut literatürde cam arkeometrisi çerçevesinde daha önce yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Cam buluntular için ne tip analizlerin kullanıldığı ve elde edilen verilerin nasıl yorumlandığı her çalışma için kısaca verilmiştir.

— “Archaeometrical investigation of some medieval glass samples from Alanya region”, Elif Beşer, 2009.

Bu çalışmada örneklerin içerikleri XRF ile saptanmıştır. Analiz sonuçları camların tipik soda, kireç, silis camı olduğunu göstermiştir. Alkali eritici hakkında bilgi veren potasyum ve magnezyum oksit bileşimlerine göre gruplara ayrılmıştır. Camlar bal sarısı, kahverengi-sarı, lacivert, mavi, turkuaz, mor ve yeşil renklerden oluşmaktadır. Renk veren metallerin demir, bakır, kobalt ve manganez olduğu belirlenmiştir.

— “Archaeometrical investigation of some glass samples from Mersin Olba archaeological ”, Cem Doğan, 2014.

Çalışmada camlar PED-XRF ve Raman Spektroskopisi teknikleri ile incelenmiştir. Olba cam buluntularının kimyasal yapıları benzerlik göstermektedir. Analiz verilerine göre buluntuların soda-kireç-silis camı olduğu tespit edilmiştir. Olba camlarında eritici olarak soda ve sağlamlaştırıcı olarak da kireç kullanıldığı belirtilmiştir.

— “X-ışınları floresans tekniği ile Raman spektroskopisi’nin arkeolojide kullanımı ve Gökçeada Uğurlu-Zeytinlik yerleşmesindeki malzemeler üzerinde uygulamaları”, Erkan Gürçal, Edirne, 2015.

Bu çalışmada Raman spektroskopisi ve XRF yöntemleri kullanılmıştır. Uğurlu-Zeytinlik yerleşimindeki kazı çalışmalarında ele geçen buluntular bu iki arkeometrik yöntem ve EDX kullanılarak analiz edilmiştir. İncelemeye alınan örneklerin hammaddeleri ve elde edildiği kaynaklar belirlenerek sonuçlar yorumlanmıştır.

— “Enez (Ainos) kazısı su terazisi ve kral kızı bölgelerinde ele geçen camların bozulmaları üzerine arkeometrik çalışmalar”, Didem Çolak Büyüksoy, İstanbul, 2020.

Bu çalışmada cam örneklerin element ve mineral içeriklerini belirlemek amacıyla Polarize Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans (PED-XRF), taramalı elektron mikroskobu- enerji dağılımlı spektrometresi (SEM-EDS) ve Raman (Konfokal) spektroskopi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre içerikleri değerlendirildiğinde camların tipik soda-kireç-silis camı olduğu görülmektedir. Stronsiyum (Sr) ve zirkonyum (Zr) içerikleri, camlarda silis kaynağı olarak deniz kumuna işaret etmiştir. Örneklerin renk ölçümü ile görünen renkleri belirlenmiştir. Cama renk verici elementler demir (Fe), bakır (Cu), kobalt (Co) ve kurşun (Pb) olarak tespit edilmiştir. Buluntuların Mikro XRF, PED-XRF ve SEM-EDS analizleri sonucunda siyah kabuklanma türü bozulma ürünlerinde mangan ve demir görülmüştür.

— “Archaeometric analysis on the selected samples of glass artifacts recovered in the excavations at Alanya Castle”, Uğur Bülent Aksoy, 2006.

Bu çalışmada, cam örneklerin bileşenleri XRF ve Plazma Emisyon Spektrometrisi (ICPOES) ile belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda camların soda, kireç ve silis camı olduğun tespit edilmiştir. Camlardaki yeşil, mavi ve mor renklerin Fe, Mn, Cu ve Co ile sağlandığı belirlenmiştir.

— “Archaeometric investigations of glass from the early Byzantine workshop in Side, Antalya”, Deniz Genç, 2019.

Çalışmada cam buluntuların karakterizasyonunda polarize enerji saçınımlı X-ışını floresans (PED-XRF) tekniği kullanılmıştır. Bu metot ile tespit edilen elementler ışığında Side cam setinin doğal sodyum karbonat ile ergitilmiş soda-kireç-silis içerikli malzemeler olduğu anlaşılmıştır. Camların renklendirmesinde bakır, vanadyum, demir, kobalt, mangan ve kurşun kullanıldığı belirlenmiştir.

— “Characterization of medieval glass from Cizre Castle excavation by SEM-EDS and p-EDXRF analyses”, Mahmut Aydın, Akarcan Güngör, 2020.

Bu çalışmada, Cizre Kalesi cam buluntuları enerji dağılımlı X-ışınları floresans (P-EDXRF) spektroskopisi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM)/enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM-EDS) yöntemleri ile incelenmiştir. Cam örneklerinde soda, potasyum, kireç saptanmıştır. Cam örneklerin üretiminde genel olarak bitki külü kullanılmadığı belirtilmiştir. Sr ve Zr elementlerinin tespit edilmediği veya düşük

oranlarda saptandığı camlarda karasal hammadde kullanıldığı öngörülmüştür. Camlarda renk veren elementler Fe, Co, Mn ve Cu olarak belirlenmiştir.

___ “Ancient glass: an interdisciplinary exploration”, Henderson, 2013.

Bu kitap arkeometrik çalışmalarla yapılan cam analizi sonucunda camın fiziksel ve kimyasal yapısı, ayrıca cam hammaddeleri, üretim yeri ve üretim teknolojileri hakkında bilgi vermektedir.

___ “Tekfur Sarayı Cam Buluntuları Arkeometrik Çalışmaları.” Ali Akın Akyol, Yusuf Kağan Kadioğlu, 2015.

Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar cam örneklerin soda-kireç içerikli olduğunu göstermektedir. Renk veren elementler Fe, Mn, Co, Cu, Sb, As, Sn ve Pb olarak tespit edilmiştir. Sr ve Zr miktarlarına bakılarak denizel ve karasal kumun birlikte kullanıldığı görülmüştür. Al_2O_3 miktarına bakılarak örneklerin farklı hammadde kaynaklarından üretildiği düşünülmektedir.

___ “İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi Camları Arkeometrik Analizleri.” Akyol Ali Akın, Yusuf Kağan Kadioğlu, Üzlifat Özgümüş, Serra Kanyak, 2014.

Arkeometrik analizler neticesinde camlar alçı içerikli ve soda-kireç cam yapısındadır. Ca ve Si oranının düşük olması camların bozulmaya uğradığını işaret etmektedir. Düşük SiO_2 oranı düşük pişirim sıcaklığını göstermektedir. Al_2O_3 oranları en fazla iki hammadde kaynağına işaret etmektedir. Renk verici olarak Fe, Cu, Co, Mn, Cr, Pb, Sn, Sb, As kullanılmıştır. Ayrıca, camların K_2O içeriklerine göre bitki külü kullanımı hakkında değerlendirme yapılmıştır.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Çalışma Kapsamında İncelenen Cam Örnekler

Hasankeyf 2017 yılı arkeolojik kazıları esnasında Büyük Saray’da bulunan ve İslami Dönem’e ait olduğu düşünülen cam örnekleri çalışmanın malzeme grubunu oluşturmaktadır. Cam numunelerin ele geçtiği Büyük Saray bölümünün kuşbakışı görüntüsü Şekil 5.1’de verilmiştir.

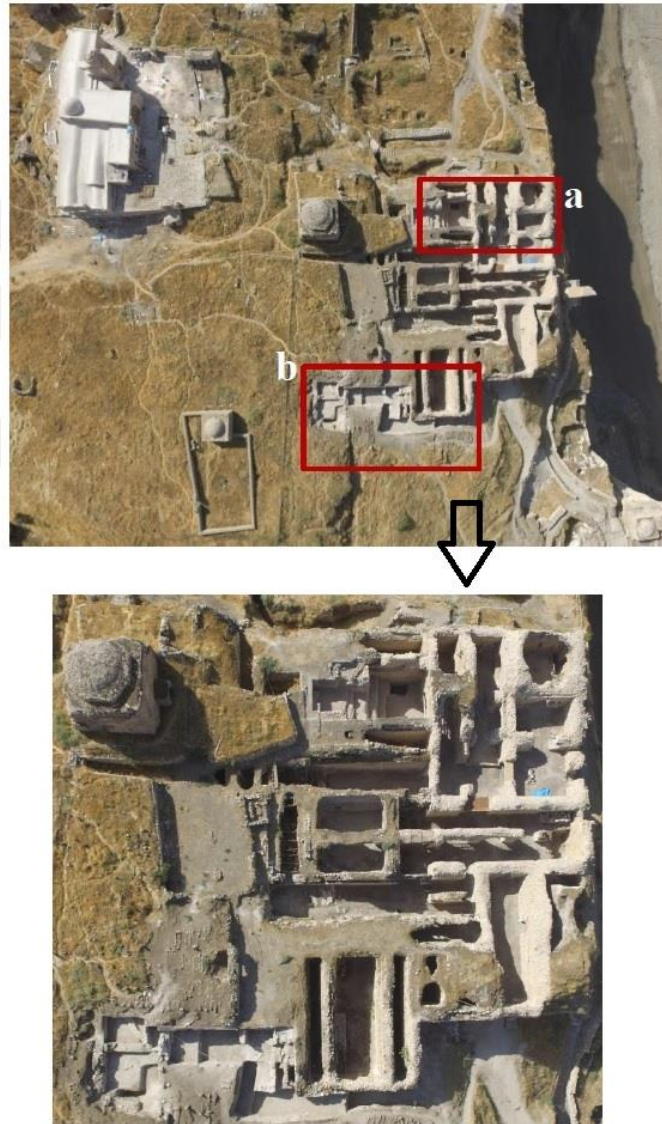
Çalışmaya konu olan cam buluntular arasından öncelikle temsili numuneler belirlenmiştir. Bu amaçla, Batman Müze Müdürlüğü yetkilileri tarafından cam buluntular makro ölçekte incelenmiş ve renk, doku, biçim vb. özelliklerine göre kategorize edilerek analizlerde kullanılacak temsili örnekler seçilmiştir (Şekil 5.2-5.7). Buluntular genel olarak mavi, yeşil ve sarı renktedir. Bu aşamada toplam 46 örnek belirlenmiştir. Cam buluntuların her birine numune kodu verilerek kilitli poşetlerde muhafaza edilmiştir. Numune kodları “HC” ile başlamaktadır. Aynı sayı ile ifade edilen örnekler aynı açmadan çıkarılmış farklı camları ifade etmektedir (örneğin: HC-2a, HC-2b). Analizlere başlamadan önce cam numunelerin ölçekli fotoğrafları çekilerek kayıt altına alınmıştır.

Cam numuneler bilezik parçası, ağız parçası, dip ve gövde olduğu düşünülen parçalardan oluşmaktadır. Ağız parçası: HC-2a, HC-5b, HC-10a, HC-11c, HC-14b, HC-15b, HC-15e, HC-19b, HC-20a. Dip parçası: HC-8. Bilezik parçası: HC-6, HC-10b, HC-12b, HC-13b, HC-13c, HC-18c, HC-20b, HC-20c, HC-21a, HC-21b, HC-21c. Kalan diğer numunelerin ise gövde olduğu düşünülmektedir.

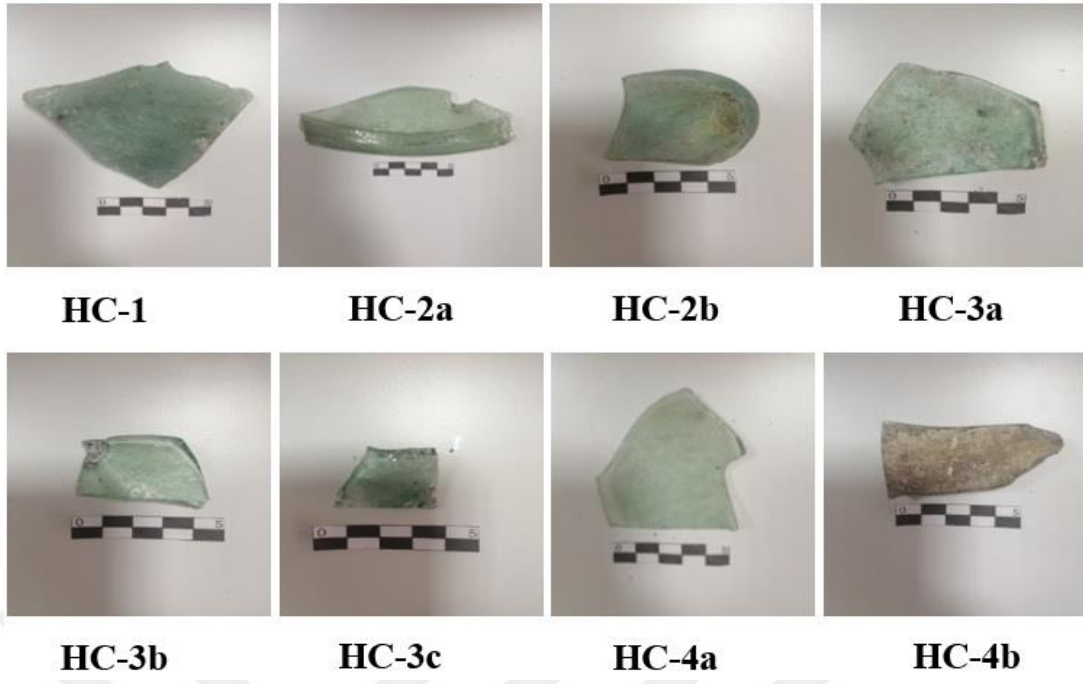
Belgeleme işlemleri tamamlanan camların yalnızca analiz yapılacak birer yüzeyi saf su ile temizlenmiş, diğer yüzeyleri olduğu gibi bırakılmıştır. Temizlik işlemi büyük bir hassasiyet ile gerçekleştirilmiştir. SEM-EDX ve PED-XRF analizlerinde kullanılan sırasıyla bulk ve toz örnekler camların temiz kalan kısımlarından hazırlanmıştır. Toz hazırlama sürecinde porselen havan kullanılmış ve 63 mikron elek altı boyutunda tozlar elde edilmiştir. Portatif XRF analizi her numunenin hem temiz hem de orijinal yüzeyi için uygulanmıştır. Yüzey temizliği işlemi ile safsızlıkların uzaklaştırılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. Olduğu gibi bırakılan yüzeylerde ise bozulma sebepleri, saklama koşulları vb. durumların belirlenmesi için arkeometrik bir alt yapı oluşturulması hedeflenmiştir.

Numune hazırlama aşaması öncesinde tüm camlar için renk analizi gerçekleştirilmiştir. Renk analiz verileri EK-1’de sunulmuştur (L: 0/100 Beyaz/Siyah, a: 0/-60 Yeşil, a: 0/60: Kırmızı, b: 0/-60 Mavi, b: 0/60 Sarı, R: kırmızı, G: yeşil, B: mavi).

2017 yılında iki bölüm şeklinde yürütülen Hasankeyf kazı çalışmalarında, birinci bölümde sarayın iç kısmındaki Z07 ve Z01 mekânlarının temizliği, Z34 mekânında ise çökme sonucu oluşan moloz birikintisinin kot seviyesine kadar temizliği işlemleri yer almıştır. İkinci bölümde ise Z31, yani Büyük Saray’ın dış tarafındaki açmada kazı çalışmaları yürütülmüştür (Hasankeyf Kazı Arşivi, 2017).



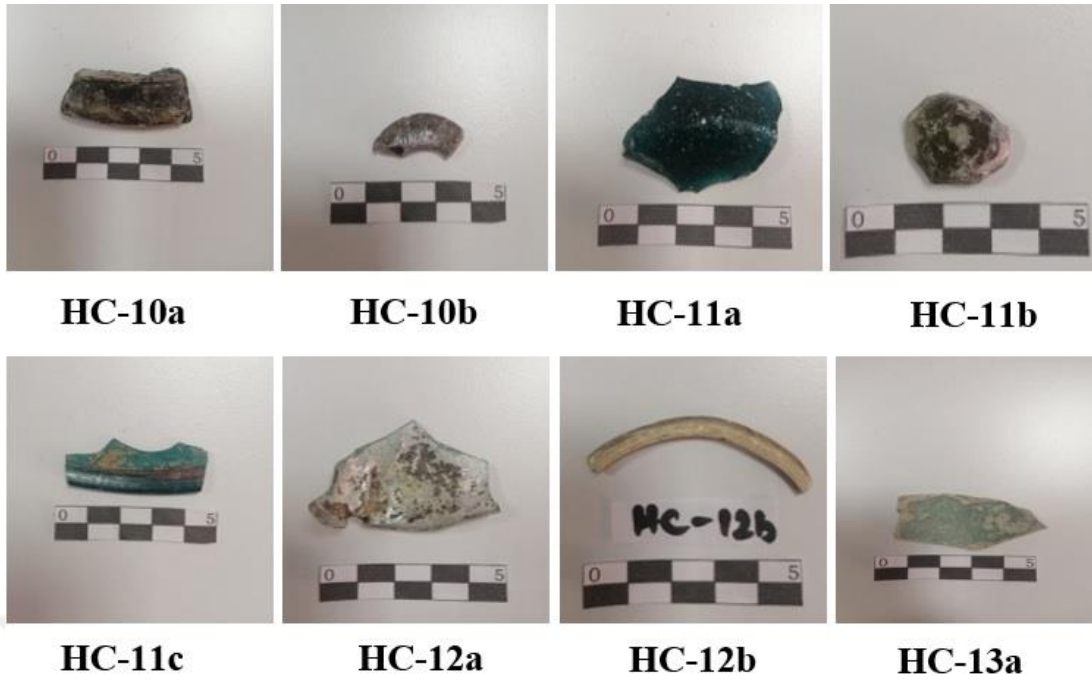
Şekil 5. 1. Büyük saray kazı alanı (Hasankeyf Kazı Arşivi, 2017).



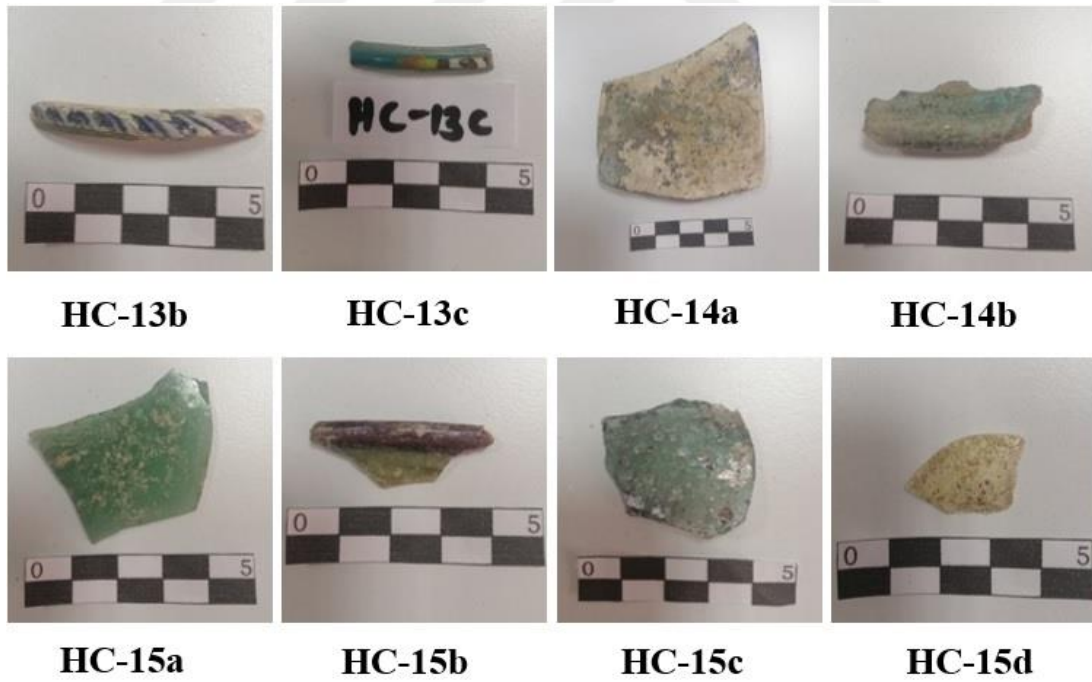
Şekil 5. 2. Cam numuneler (HC-1 / HC-4b).



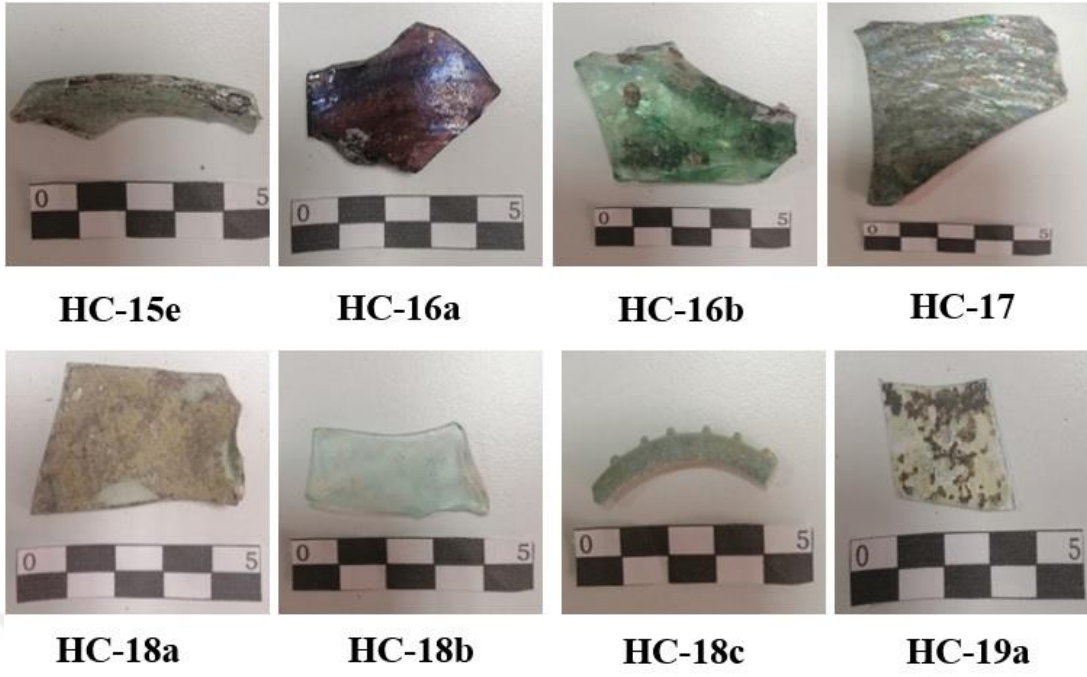
Şekil 5. 3. Cam numuneler (HC-5a / HC-9b).



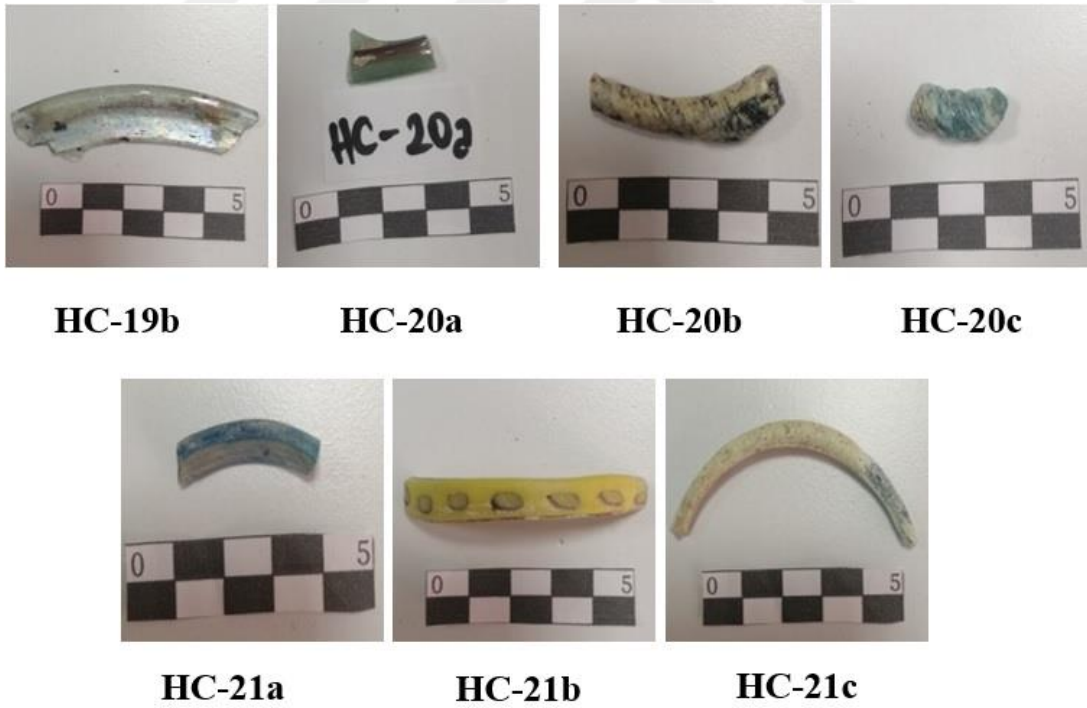
Şekil 5. 4. Cam numuneler (HC-10a / HC-13a).



Şekil 5. 5. Cam numuneler (HC-13b / HC-15d).



Şekil 5. 6. Cam numuneler (HC-15e / HC-19a).



Şekil 5. 7. Cam numuneler (HC-19b / HC-21c).

5.2. Yöntem

Cam numunelerin bir yüzeyi saf su ile temizlenmiş, diğer yüzü bulunduğu haliyle muhafaza edilmiştir (toz hazırlama aşamasında camlardan alınan parçaların tamamı saf su ile temizlenmiştir). Temizlik işlemi büyük bir hassasiyet ile gerçekleştirilmiştir. Kırılgan cam numuneler dikkatli bir şekilde safsızlıklarından arındırılmaya çalışılmıştır. Cam numunelerden toz ve bulk örnekler hazırlanmıştır. Bu amaçla, toz hazırlama sürecinde porselen havan kullanılmış ve 63 mikron elek altı boyutunda tozlar elde edilmiştir. Toz numuneler PED-XRF analizinde, bulk numuneler ise SEM-EDX ve p-XRF analizlerinde kullanılmıştır.

Cam örneklerin kimyasal kompozisyon bileşimlerini belirlemek amacıyla üç farklı yöntem kullanılmıştır (PED-XRF, p-XRF ve SEM-EDX). Bu üç yöntemin çalışma koşulları dikkate alındığında her birinde elde edilen sonuçların farklı bir bakış açısı sunduğu önceki çalışmalardan anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, yerinde (in-situ) analiz kabiliyetine sahip olan p-XRF alternatif ve/veya tamamlayıcı bir teknik olarak düşünülebilir. Camların toz haline getirilerek detaylı bir şekilde karakterize edildiği PED-XRF tekniğinde elde edilecek sonuçların camlar için belirleyici olacağı öngörülürken, portatif XRF ile farklı modlarda uygulanacak analizlerin elementel içerik hakkında yol gösterici bilgiler sunacağı düşünülmektedir. SEM-EDX tekniği ise camların mikro kimyasal ve mikro yapısal özelliklerini incelemek amacıyla tercih edilmiştir.

5.2.1. PED-XRF (Polarize Enerji Saçınımlı X-ışını Floresans) Analizi

Çalışmada 46 adet cam numune için X-LAB 2000 model PED-XRF spektrometresi kullanılmıştır. Analizler Ankara Üniversitesi, Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (YEBİM) Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadioğlu'nun katkıları ile gerçekleştirilmiştir. Bu spektrometre atom numarası 11 (Na) ile 92 (U) arasındaki elementleri saptayabilmektedir. Kullanılan XRF cihazında ağır elementler için 0,5 ppm ve hafif elementler için 10 ppm seviyesinde duyarlık sınırı bulunmaktadır. Analiz esnasında 950°C'deki ağırlık kaybı (LOI) sebebiyle bor, lityum, ve flor tespit edilememektedir. İncelenen malzeme içerisindeki temel ve az elementler yüzde (%) olarak belirlenirken, iz elementler milyonda bir (ppm) seviyesinde sunulmuştur. Analiz kapsamında USGS (Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma) standartları kullanılmıştır (GEOL, GBW-7109, GBW-7309).

5.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Saçınımlı X-ışını Spektrometresi (EDX)

Camlara ait bulk örneklerin mikro yapı özellikleri ve mikro kimyasal bileşenleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Carl Zeiss/Supra 40VP marka/model SEM-EDX ile belirlenmiştir. Analizler yeterli büyüklüğe sahip 45 adet cam numune için gerçekleştirilmiştir. Yalıtkan cam örneklerin iletken hale getirilerek SEM görüntülerinin net olabilmesi için numunelere bir Qourum, Q150R ES cihazında altın/paladyum kaplama işlemi uygulanmıştır. Camlar için farklı büyütme ölçeklerine sahip SEM görüntüleri çekilmiştir. Genel kimyasal kompozisyonun belirlenmesinde en düşük büyütme ölçeğinde her numune için EDX taraması yapılmıştır. Ayrıca, SEM görüntülerindeki bazı mikro alanlar için de EDX taraması yapılarak mikro kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. EDX taramalarında elde edilen elementler sonrasında oksit formuna dönüştürülmüştür.

5.2.3. Portatif X-ışını Floresans (p-XRF) Analizi

Çalışmada analize imkân verecek şekilde yeterli büyüklüğe sahip 44 cam örneğe ait bulk numune kimyasal kompozisyonun belirlenmesi amacıyla bir Olympusx marka ve Innovx model taşınabilir X-ışını spektrometresi ile karakterize edilmiştir. Çalışmada tamamlayıcı bir teknik olarak tercih edilen p-XRF analizleri cihazın “Geochem” ve “Alloy Plus” modlarında gerçekleştirilmiştir. Geochem modu ile daha çok toprak elementlerinin, Alloy Plus modu ile de özellikle renklendirici metallerin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Cihazın Geochem modunda yapılan analizlerdeki birinci saçınımda (40 kV) taranabilen elementler Zn, Pt, W, Au, Br, Pb, Bi, Rb, Hg, As, V, Cr, Fe, Mn Co, Ni, Cd, Sn, Sb, Ti Cu, Se, U, Sr, Y, Zr, Th, Nb, Mo, Ag şeklindedir. Aynı moddaki ikinci saçınımda (10 kV) tarama limiti içerisindeki elementler Ca, Si, Mg, Al, P, Mn, K, S, Ti şeklindedir. Cihazın Alloy Plus modunda yapılan analizlerdeki birinci saçınımda (40 kV) taranabilen elementler Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Cu, Zn, Nb, Ta, W, Re, V, Cr, Ti, Fe, Co, Ni, Mn, Hf, Au, Hg, Pb, Bi, Zr, Pt, Mo şeklindedir. Alloy Plus modundaki ikinci saçınımda (13 kV) taranabilen elementler Co, Ni, Mg, P, Fe, S, Mo, Cu, Zn, Sn, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn ve üçüncü saçınımda (8 kV) taranabilen elementler Mg, P, Fe, S, Mo, Sn, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn şeklindedir.

6. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. PED-XRF Sonuçları

Camların PED-XRF analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 6.1-6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6. 1. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-1/HC-5a).

SPSS sıra no	1	2	3	4	5	6	7	8
Element	HC-1	HC-2a	HC-2b	HC-3a	HC-3b	HC-4a	HC-4b	HC-5a
Na ₂ O	7,58	8,59	8,42	9,25	8,58	7,31	7,58	10,12
MgO	3,07	1,93	1,89	2,25	1,85	1,44	1,60	3,07
Al ₂ O ₃	4,17	1,41	1,47	1,47	1,21	0,957	1,36	2,53
SiO ₂	63,30	63,57	63,33	69,85	58,95	56,45	58,36	62,34
P ₂ O ₅	0,138	0,179	0,179	0,182	0,154	0,107	0,154	0,147
SO ₃	0,315	0,185	0,212	0,205	0,175	0,157	0,182	0,159
Cl	0,346	0,595	0,604	0,607	0,540	0,521	0,535	0,560
K ₂ O	3,67	2,16	2,21	2,40	2,00	2,03	1,96	3,95
CaO	4,35	7,32	7,44	8,40	6,66	6,97	7,34	4,65
TiO ₂	0,468	0,086	0,083	0,085	0,077	0,071	0,079	0,223
V ₂ O ₅	0,012	0,006	0,001	0,007	0,007	0,001	0,005	0,008
Cr ₂ O ₃	0,008	0,007	0,008	0,007	0,009	0,003	0,006	0,005
MnO	0,047	0,754	0,761	0,925	0,578	0,749	0,745	0,239
Fe ₂ O ₃	0,651	0,431	0,419	0,446	0,422	0,403	0,396	0,512
LOI	11,39	12,47	12,34	3,65	18,93	22,88	19,63	11,84
Toplam	99,52	99,69	99,37	99,73	100,14	100,05	99,94	100,36

Çizelge 6. 2. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-5b/HC-10a).

SPSS sıra no	9	10	11	12	13	14	15	16
Element	HC-5b	HC-5c	HC-6	HC-7	HC-8	HC-9a	HC-9b	HC-10a
Na ₂ O	4,20	7,64	8,52	11,59	8,69	2,83	2,70	7,80
MgO	1,18	3,73	1,78	2,60	2,25	1,70	0,824	2,28
Al ₂ O ₃	1,05	2,50	4,80	4,97	1,23	1,64	1,39	1,64
SiO ₂	59,80	52,99	55,54	53,58	61,34	63,84	52,95	61,89
P ₂ O ₅	0,056	0,026	0,015	0,056	0,160	0,194	0,127	0,176
SO ₃	0,147	0,193	0,530	0,368	0,311	0,490	0,309	0,805
Cl	0,361	0,433	0,479	0,446	0,582	0,188	0,137	0,554
K ₂ O	1,52	3,15	1,74	2,48	2,87	1,61	1,91	2,92
CaO	5,03	3,65	4,13	4,45	8,57	8,54	11,86	8,59
TiO ₂	0,067	0,203	0,326	0,311	0,129	0,117	0,109	0,084
V ₂ O ₅	0,001	0,010	0,010	0,010	0,007	0,006	0,008	0,006
Cr ₂ O ₃	0,003	0,004	0,010	0,007	0,003	0,004	0,006	0,005
MnO	0,552	0,100	0,042	0,031	0,530	0,050	0,297	1,49
Fe ₂ O ₃	0,394	0,490	2,48	1,28	0,393	0,699	0,708	0,398
LOI	26,46	24,95	19,73	17,64	12,97	18,63	26,12	11,43
Toplam	100,82	100,06	100,13	99,81	100,02	100,53	99,46	100,07

Çizelge 6. 3. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-10b/HC-13b).

SPSS sıra no	17	18	19	20	21	22	23	24
Element	HC-10b	HC-11a	HC-11b	HC-11c	HC-12a	HC-12b	HC-13a	HC-13b
Na ₂ O	3,90	13,79	10,74	11,28	5,10	4,45	6,65	5,64
MgO	0,530	1,61	4,15	1,19	1,36	0,918	2,44	1,29
Al ₂ O ₃	3,08	6,46	4,64	5,88	1,52	3,16	2,60	2,62
SiO ₂	43,08	57,81	67,87	53,15	59,81	54,58	70,73	62,04
P ₂ O ₅	0,008	0,074	0,110	0,003	0,097	0,058	0,085	0,056
SO ₃	0,337	0,334	0,151	0,268	0,138	0,197	0,291	0,284
Cl	0,303	0,602	0,463	0,518	0,382	0,383	0,393	0,380
K ₂ O	1,07	2,45	5,62	2,53	1,83	1,10	2,79	2,40
CaO	4,47	3,31	3,84	3,29	6,14	5,21	4,56	6,32
TiO ₂	0,105	0,253	0,454	0,284	0,076	0,269	0,204	0,107
V ₂ O ₅	0,010	0,007	0,011	0,012	0,004	0,011	0,008	0,006
Cr ₂ O ₃	0,002	0,008	0,007	0,005	0,004	0,007	0,005	0,005
MnO	1,22	0,046	0,022	0,048	0,719	0,049	0,085	0,033
Fe ₂ O ₃	0,482	1,33	0,426	1,43	0,429	1,66	0,448	0,543
LOI	41,87	11,70	1,84	20,76	22,22	27,62	8,87	18,73
Toplam	100,46	99,78	100,34	100,65	99,83	99,67	100,15	100,45

Çizelge 6. 4. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-13c/HC-15e).

SPSS sıra no	25	26	27	28	29	30	31	32
Element	HC-13c	HC-14a	HC-14b	HC-15a	HC-15b	HC-15c	HC-15d	HC-15e
Na ₂ O	5,05	7,49	7,57	12,05	7,12	5,54	3,56	5,30
MgO	1,21	1,60	1,89	0,638	1,51	1,60	1,55	1,51
Al ₂ O ₃	2,34	2,12	2,21	6,50	4,42	2,36	4,18	2,19
SiO ₂	66,06	68,83	67,37	68,56	61,69	62,34	63,25	69,07
P ₂ O ₅	0,127	0,141	0,146	0,002	0,011	0,096	0,071	0,070
SO ₃	0,219	0,199	0,199	0,328	0,297	0,193	0,185	0,222
Cl	0,447	0,534	0,523	0,635	0,359	0,404	0,235	0,371
K ₂ O	2,56	2,03	2,27	1,73	2,26	2,30	1,91	2,27
CaO	7,42	6,99	7,27	1,65	3,61	6,46	3,74	6,26
TiO ₂	0,126	0,085	0,091	0,283	0,237	0,111	0,355	0,110
V ₂ O ₅	0,006	0,006	0,006	0,007	0,010	0,006	0,006	0,001
Cr ₂ O ₃	0,009	0,008	0,005	0,004	0,006	0,003	0,005	0,004
MnO	0,067	0,694	0,719	0,060	0,110	0,651	0,046	0,633
Fe ₂ O ₃	0,745	0,395	0,432	1,49	1,31	0,464	0,529	0,516
LOI	14,32	8,34	9,63	6,53	17,53	17,99	20,24	11,65
Toplam	100,71	99,47	100,33	100,47	100,48	100,52	99,86	100,17

Çizelge 6. 5. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-16a/HC-19b).

SPSS sıra no	33	34	35	36	37	38	39	40
Element	HC-16a	HC-16b	HC-17	HC-18a	HC-18b	HC-18c	HC-19a	HC-19b
Na ₂ O	6,62	8,19	4,11	6,68	5,42	6,25	5,23	5,66
MgO	1,48	1,99	0,94	1,60	1,14	1,41	1,25	1,45
Al ₂ O ₃	1,74	1,62	1,65	2,12	2,31	1,37	2,70	1,96
SiO ₂	62,88	75,32	72,77	65,91	75,81	76,66	63,31	70,09
P ₂ O ₅	0,122	0,162	0,064	0,124	0,069	0,102	0,040	0,088
SO ₃	0,153	0,194	0,133	0,162	0,005	0,344	0,007	0,179
Cl	0,460	0,545	0,355	0,485	0,297	0,371	0,422	0,434
K ₂ O	1,84	2,31	1,60	1,99	2,01	2,81	2,26	1,82
CaO	6,04	7,79	6,34	6,83	5,63	2,86	6,98	5,70
TiO ₂	0,087	0,082	0,087	0,106	0,124	0,084	0,127	0,078
V ₂ O ₅	0,001	0,001	0,001	0,006	0,005	0,003	0,009	0,005
Cr ₂ O ₃	0,004	0,011	0,003	0,005	0,001	0,005	0,007	0,006
MnO	1,138	0,874	0,670	0,698	0,016	0,032	0,013	0,610
Fe ₂ O ₃	0,418	0,440	0,474	0,562	0,261	0,577	0,296	0,372
LOI	17,54	0,330	10,34	12,58	6,93	7,65	17,72	11,90
Toplam	100,52	99,86	99,54	99,85	100,03	100,52	100,36	100,35

Çizelge 6. 6. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (% tüm oksit içerikleri) (HC-20a/HC-21c).

SPSS sıra no	41	42	43	44	45	46
Element	HC-20a	HC-20b	HC-20c	HC-21a	HC-21b	HC-21c
Na ₂ O	7,43	11,00	4,40	6,96	5,68	6,20
MgO	0,536	3,40	0,852	0,994	1,14	3,06
Al ₂ O ₃	4,42	6,70	2,27	3,01	2,50	6,96
SiO ₂	73,62	65,21	65,02	69,81	66,73	62,42
P ₂ O ₅	0,048	0,141	0,001	0,041	0,122	0,128
SO ₃	0,412	0,434	0,340	0,152	0,006	0,342
Cl	0,418	0,493	0,332	0,525	0,360	0,269
K ₂ O	1,41	5,09	1,41	2,08	1,63	4,79
CaO	1,79	5,29	2,87	2,89	5,30	6,30
TiO ₂	0,250	0,297	0,347	0,291	0,118	0,526
V ₂ O ₅	0,006	0,006	0,012	0,012	0,006	0,013
Cr ₂ O ₃	0,006	0,008	0,002	0,004	0,007	0,010
MnO	0,041	0,054	0,177	0,021	0,166	0,043
Fe ₂ O ₃	1,57	1,33	0,671	0,813	0,546	1,07
LOI	8,63	0,340	21,48	12,57	15,53	7,73
Toplam	100,58	99,79	100,19	100,17	99,83	99,85

Çizelge 6. 7. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-1/HC-5a).

Element	HC-1	HC-2a	HC-2b	HC-3a	HC-3b	HC-4a	HC-4b	HC-5a
Co	20,3	20,3	9,5	20,6	13,1	14,9	19,1	15,8
Ni	15,6	14,4	15,8	20,2	12,8	15,3	14,4	26,4
Cu	127,3	46,2	36,6	71,9	40,4	44,1	44,5	430,1
Zn	41,3	38,9	35	34,2	34,7	33,2	29,1	17,7
Ga	4,5	0,7	0,4	1,2	0,8	1,1	1,3	3,3
Ge	0,3	0,5	0,8	0,4	0,3	0,6	0,3	0,5
As	18,4	5,5	2,9	6	1,9	5,7	5,3	22,5
Se	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Br	5,4	35,2	36,9	38,5	29,6	37,1	35,1	18
Rb	40,3	12,2	10,9	13,4	11,5	11,3	10,7	27,7
Sr	463,8	467,2	471,9	516	383,2	483,1	450,3	401,2
Y	14	2,9	3,2	3,6	2,7	3,7	3,3	6,4
Zr	630,5	54,1	58,1	61,7	59,4	50,4	49,4	333,5
Nb	11,2	5,8	5	4,9	2,7	2,7	3,7	6,5
Mo	3	2,9	4,3	3,1	2,7	2,8	2,8	7,5
Cd	1,9	0,8	0,8	1,5	0,7	0,9	0,4	1
In	0,9	2,3	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	1,9
Sn	17,4	12,8	15,3	22,6	11,5	12,3	11,5	42
Sb	0,9	7,1	6,2	27,1	0,9	8,1	6,9	1,2
Te	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	2,5	0,8	1,5
I	2,2	2	2,1	2,1	2	2,7	2,1	2,7
Cs	3,6	3	3,6	3,5	3,5	4,8	3,7	4,4
Ba	376,7	113,7	128,7	131,5	114,6	123,2	128,4	284,1
La	17,9	7,3	7,5	8,9	12,9	10	24,8	31,3
Ce	27,1	10	10	13,7	10	15	25,7	51,8
Hf	18,2	5,4	3,8	8,4	7,4	6,9	4,4	15,9
Ta	5,3	3,5	3,2	4,3	3,2	3,5	3,5	9,4
W	2	2	2,1	2,1	1,8	2,1	2	2,2
Hg	0,4	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Tl	0,4	0,9	0,6	1,4	0,9	0,8	0,9	0,8
Pb	46,7	201,2	150,5	655,8	272,2	208,2	198	65,8
Bi	19,3	1,5	0,9	3,6	0,6	2,2	1,6	5,2
Th	6,6	2,1	3	4,5	2,9	2,5	1,4	4,6
U	21,1	10,8	11,2	13,6	10,6	6,1	10,2	6,7

Çizelge 6. 8. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-5b/HC-10a).

Element	HC-5b	HC-5c	HC-6	HC-7	HC-8	HC-9a	HC-9b	HC-10a
Co	14,8	13	20,4	6,6	14,2	9,7	18,2	19,9
Ni	13,7	13,1	37,2	23,4	6	11,5	18,8	17,5
Cu	145,2	25,4	31,2	25,8	6,2	41,3	2511	15,5
Zn	27,4	26,1	37,8	27,2	32,5	29,9	1	34,8
Ga	2,1	4	10,4	7,7	2,4	2,4	1	1,6
Ge	0,3	0,3	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,9
As	11,3	2,3	7	6,5	0,7	625,6	63,7	5,3
Se	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
Br	26,5	11,4	38,9	20	24,7	10,3	9,2	37
Rb	10,1	18,9	38,8	31,4	11,6	9,7	11,7	11,2
Sr	351,4	440	737,6	597,1	578,5	395,3	274,3	503,3
Y	4,1	6,5	16	13,1	0,9	2,2	0,5	4,3
Zr	47,3	189,2	244	314,6	113,1	31	24,5	48,8
Nb	2,2	2,7	12	5,6	8,3	2,9	6,9	2,4
Mo	2,1	4	5,3	5,6	5,1	2,5	3	2,6
Cd	0,6	0,8	1,3	0,7	0,8	0,8	1,1	0,7
In	0,6	0,9	1,4	0,7	0,8	0,9	1,1	0,7
Sn	8,7	1	1,7	11,2	0,9	2,5	74,2	0,8
Sb	2,3	1,5	1,7	0,8	0,8	1	2	0,8
Te	1	2,1	2,3	1,1	1,1	1,4	1,7	1,1
I	1,7	2,5	4,1	2,2	3,1	2,3	3,5	2,9
Cs	2,9	4,7	7,1	3,7	3,5	7	13,1	3,7
Ba	73,9	170,5	474,6	369,5	139	49,6	64,9	185
La	6,2	10	36	19,2	14,5	19,3	27,9	10,8
Ce	8,5	34,8	45	24,3	10	13	17	24,8
Hf	5,4	4,9	7,6	6,3	4,8	6,7	36	3,6
Ta	5,2	2,9	3,4	2,7	2	3,2	22	2,1
W	2	2	2,6	1,9	2	1,8	3,2	2,1
Hg	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6
Tl	0,8	0,6	0,7	0,6	0,5	1,7	1,1	0,6
Pb	87,3	22,3	80,2	29,6	6,6	116,2	357,9	2,7
Bi	3,1	0,5	0,7	0,5	0,5	1,5	1,1	0,5
Th	0,6	2,7	6,6	5,5	0,7	1,9	3,7	1,4
U	5,4	5,4	9,8	5,6	6,3	6,9	5,5	5,8

Çizelge 6. 9. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-10b/HC-13b).

Element	HC-10b	HC-11a	HC-11b	HC-11c	HC-12a	HC-12b	HC-13a	HC-13b
Co	36,3	16,1	28,7	19,6	10,6	8,1	11,1	101,6
Ni	31,6	13,6	12,1	12,7	13,2	27,9	10,5	49
Cu	38,6	12470	106,2	12800	72,8	477,9	18,6	35,7
Zn	38,1	1,8	26	2	28,4	19,6	22,2	42,5
Ga	3,8	8,9	4,3	9,6	1	2,3	4,2	1,5
Ge	0,3	0,4	0,3	1,3	0,3	0,6	0,4	0,5
As	49,3	40,8	1,4	37,4	18,9	101,3	11	105,6
Se	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,7	0,2	0,5
Br	12,1	11,2	11,1	12,1	29,5	43,3	11,2	20,3
Rb	14	31,4	46,8	35,3	11,3	24	17,7	17,8
Sr	501,1	299,2	360,2	321,4	419,1	517,9	429,4	433,3
Y	5,8	11,8	12,1	13,1	3,4	1,4	4,9	5
Zr	53,6	203,2	469,3	222,3	42,2	211,4	197,9	57,6
Nb	3,2	6,3	8,2	8,5	2,4	10,8	4,9	2
Mo	9,1	2,9	3,7	3,3	2,7	5,6	3,4	5,6
Cd	1,1	0,8	0,8	1,2	0,6	1,7	0,7	1,3
In	1,1	1,9	0,8	1,7	0,6	1,9	0,7	1,3
Sn	7,4	1531	8,8	1336	16,5	609,9	2,4	458,2
Sb	63,7	5,5	0,8	4,3	17,9	1,8	0,8	5,4
Te	1,8	1,4	1,2	1,8	1	2,3	1,1	1,7
I	3,3	5,7	2,1	6,9	1,4	6,9	2	4,7
Cs	6	3,6	3,6	5,3	2,9	7,3	4,3	5,2
Ba	289,4	428,3	360,2	380,5	100,9	260,2	177,4	83,3
La	13	16,3	21	22,6	6,2	21	19,4	12
Ce	19	21,4	21,5	33,2	15,5	23	10	16
Hf	6,8	40	15,6	43	5,3	41,6	7,3	7,2
Ta	3,4	50	4,7	55	3,9	11	2,4	3,5
W	2,3	5,2	1,8	5,9	1,2	2,9	1,8	2,7
Hg	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	1,2	0,5	0,8
Tl	0,9	1,3	0,6	1,3	1,2	3,1	0,6	2,1
Pb	39,9	429,7	14,3	396,9	546,3	2463	17,6	1064
Bi	0,7	2,5	0,5	2,4	3,9	2,5	0,7	56,8
Th	1,7	5,7	6,7	7,8	2,3	15,5	2,4	9,1
U	6,3	7,8	7,2	7,9	5,1	7,4	5,8	6,2

Çizelge 6. 10. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-13c/HC-15e).

Element	HC-13c	HC-14a	HC-14b	HC-15a	HC-15b	HC-15c	HC-15d	HC-15e
Co	6	17,6	28,6	11,9	22,8	20,3	25,5	19,1
Ni	19,4	13	19	17	18,6	38,7	13,1	36,6
Cu	1861	51,2	181,3	312	1935	674,4	25,8	582,6
Zn	171,1	34	30,3	16	0,3	7,7	25,1	11,4
Ga	3,4	0,7	0,8	8,2	4,7	2,1	6,1	2
Ge	0,8	0,3	0,8	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5
As	10	4,3	28,4	4,4	24,8	12,1	53,7	5,6
Se	1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,6	0,3	0,6
Br	18,4	34,8	31,6	10,1	10,7	38,3	4,3	37,6
Rb	18,9	11,9	12,7	33,4	31,5	15,7	25,1	17
Sr	374,2	455,3	475	125,5	311,1	426,1	379,5	436,8
Y	1,3	2,9	3,8	16,6	11,4	3,5	12,2	3,8
Zr	67	45,7	53,3	252,7	193,9	75,8	436	78,1
Nb	3,6	2,6	2,5	14,5	4,6	2,9	14,3	4,5
Mo	3,8	7,8	3,4	3	5,7	3,1	11,5	3,2
Cd	2,1	0,7	0,8	0,4	1,3	1,1	1,8	2
In	2,4	0,8	0,8	0,9	1,3	1	2,1	1,3
Sn	1338	34,6	34	38,7	217	260,7	2,5	225,2
Sb	1,9	7,5	8,8	1	5,3	71,4	2,3	68,5
Te	2,2	1,1	1,1	1,3	3,2	1,4	3,1	1,6
I	8,7	2,1	2,2	2,4	4,4	3,4	5,7	3,9
Cs	6,8	3,5	3,6	3,9	6,1	4,1	11	5,2
Ba	82,5	118,9	117	467,5	335,4	137,2	331	144,6
La	32,7	11,9	14,6	8,3	13	8,8	59	11
Ce	27	24,6	10	41,2	49	12	49	37
Hf	63	5,9	11,2	14,2	21	49	16,1	38,2
Ta	23	3,5	6,2	7,6	21	12	2,4	11
W	4,8	2	2	1,9	3,3	2,3	2,4	2,5
Hg	1,5	0,6	0,6	0,5	0,6	1	0,7	1
Tl	4,4	0,7	0,9	0,6	1,8	2,4	1,7	2,5
Pb	4735	213,7	256,1	74,2	226,3	2276	27,7	2073
Bi	3,5	2,9	21,3	0,7	1	2,1	0,8	1,9
Th	26,4	1,4	2,5	6,7	6,9	18,2	5,3	14,1
U	6,2	6	6,7	5,4	6,6	10,3	11	9,1

Çizelge 6. 11. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları. (ppm) (HC-16a/HC-19b).

Element	HC-16a	HC-16b	HC-17	HC-18a	HC-18b	HC-18c	HC-19a	HC-19b
Co	31,2	22,2	24,2	8,9	3,4	4,6	4,6	28,8
Ni	23,4	12,3	16,8	16,6	3,4	20	4,7	20,8
Cu	44,1	65,1	42,6	34,2	45,6	4154	50,1	27,6
Zn	34,7	30,5	33,8	32,9	27,9	0,9	39,3	30,8
Ga	1,3	1,1	2,8	1,2	4,5	2,8	7	0,9
Ge	0,3	0,4	0,4	0,4	1	0,6	1,6	0,3
As	48,8	4,2	9,8	1,5	73	8,6	383	31,9
Se	0,2	0,3	0,3	0,3	1,4	0,8	2,2	0,3
Br	30	36,7	30,9	32,3	16,5	21,7	23,6	29,2
Rb	11,3	12,4	12,6	12,9	20,8	16	24,6	11,5
Sr	402,2	491,6	424,8	443	346,7	283,5	569,5	383
Y	3,6	3,9	2,4	4	1,7	1	2,6	3,4
Zr	57,5	52,2	62,9	59,3	183,9	30,3	132,3	48
Nb	2,6	3,5	12	3,6	5	2,1	3,8	3
Mo	4,8	6	4	4,9	5,4	1,9	4,8	3,4
Cd	0,4	0,9	1,1	0,8	1	1,2	0,9	0,7
In	0,9	0,7	1,4	0,8	1,3	1,2	2,2	0,7
Sn	9,4	22,8	16	15,6	246,2	1116	183,3	10
Sb	3,9	23,1	5,9	11,3	215,8	2,7	592,5	10,8
Te	1,1	1,2	2,4	1,2	1,5	1	2,4	1,2
I	1,9	2,1	4,1	2,1	3,5	4,6	5,3	2,1
Cs	3,2	3,4	7,5	3,6	4,4	2,2	7,8	3,6
Ba	123,1	131,5	125,2	129	87,1	42,3	48,3	100,4
La	12,8	13,2	17	7,7	10,3	11,9	17	17,4
Ce	14,2	10	24	11	21	7,9	38	11
Hf	7,9	8,2	4,6	2,7	19,4	23	30,5	4,5
Ta	2,7	4,2	3,5	3	4,1	29	5,3	2,7
W	1,8	2	2,3	2	3,4	3,7	4,9	1,9
Hg	0,5	0,6	0,6	0,5	1,9	1,2	3,1	0,6
Tl	0,5	1,4	0,8	0,8	6,4	3,6	9,7	1,1
Pb	112,3	636	155,8	207,4	10440	4403	16670	429,7
Bi	31,5	4,5	0,6	0,8	4,6	3,1	7,4	8,7
Th	2,8	4,9	1,9	2,5	66	24	98,8	2,8
U	13,7	7,9	13,5	6	6,1	4,9	21,8	5,9

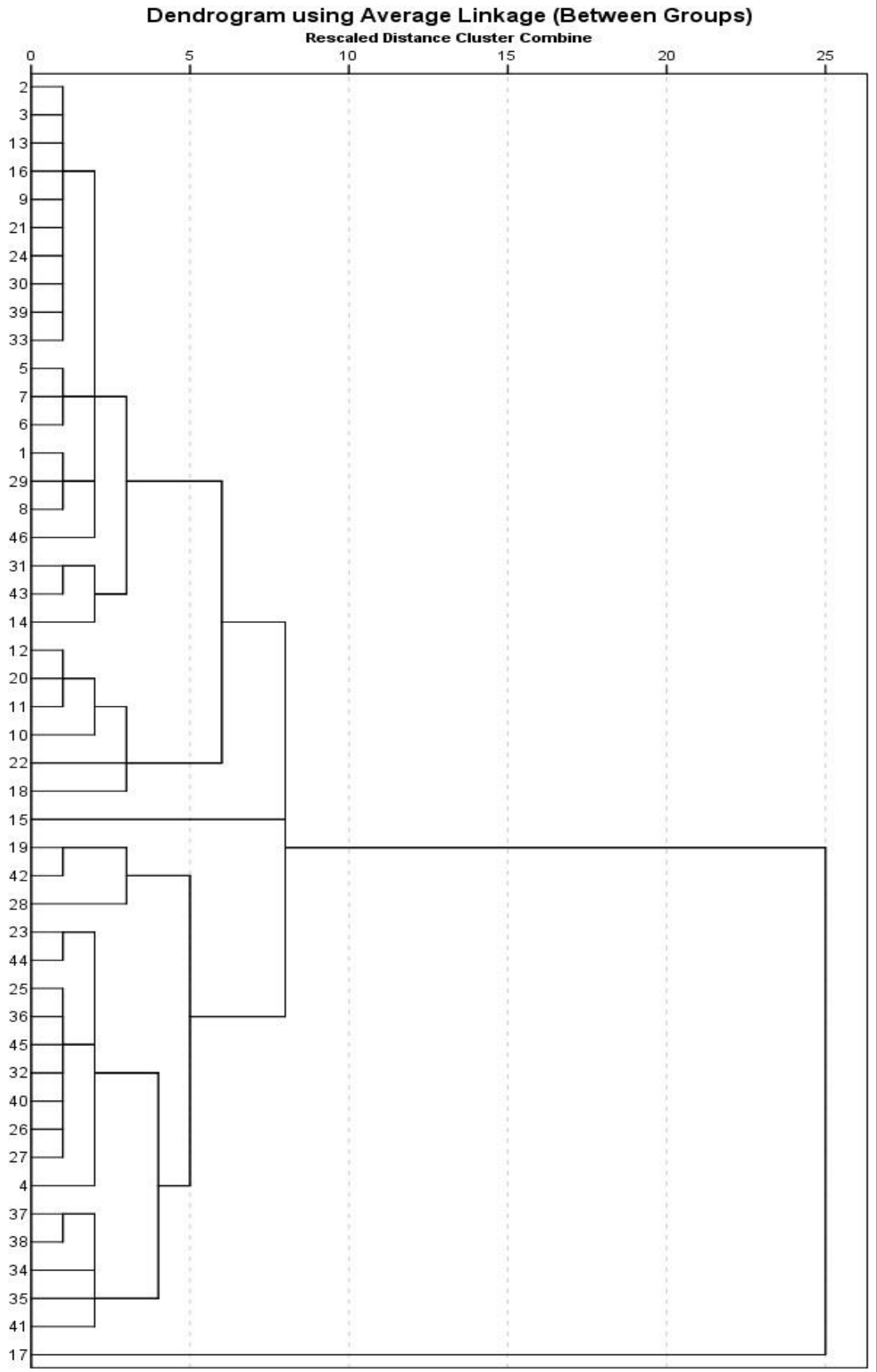
Çizelge 6. 12. Cam numunelerin PED-XRF sonuçları (ppm) (HC-20a/HC-21c).

Element	HC-20a	HC-20b	HC-20c	HC-21a	HC-21b	HC-21c
Co	20,8	20	13,4	20	5,8	29,6
Ni	17,1	14,9	3,9	15,3	16	17,4
Cu	436,2	23,2	9495	7480	201,6	10770
Zn	17	41	1,7	1,3	32,7	1,5
Ga	9,2	7,9	4,4	8,7	6,1	8,5
Ge	1,2	0,3	0,4	0,4	1,5	0,8
As	8,2	2,4	22,5	36	21	66,5
Se	0,3	0,2	0,4	0,3	2,1	0,4
Br	10,3	26,2	28,8	42,8	26	7,4
Rb	34,3	51,6	26,1	29,2	22,7	37,8
Sr	127,5	581,5	250,6	311,9	315,3	591,9
Y	14,3	12,9	8,5	7,7	2,5	13,2
Zr	215,7	269,7	369,8	298,2	77,5	469
Nb	10,4	10,4	7,9	3,5	3,1	15,9
Mo	4,4	2,8	3,8	6,9	3,2	10,2
Cd	1,7	0,8	1,4	1,3	2,4	0,7
In	1,8	0,8	1,8	1,4	2,4	1,5
Sn	45,2	1,9	715,6	70,5	3703	209,5
Sb	1,9	0,9	8,3	1,7	1,6	7,9
Te	2,7	1,2	1,9	2,2	1,8	2,6
I	4,9	2,2	5,9	4,3	11	4,8
Cs	8,9	3,8	5,7	7	4,3	6,9
Ba	468	414	293,9	287,6	91,4	345,2
La	49	20,1	27,1	30	28,5	30
Ce	53	48	42	30	20,3	37
Hf	12,7	8	36	31	54,7	42
Ta	9,5	2,7	47	40	8,1	55
W	2,5	1,9	5,2	4,8	3,8	6,3
Hg	0,6	0,6	0,8	0,6	2,9	0,9
Tl	1	0,6	1,4	0,7	12,9	1,6
Pb	61,2	20,2	566,7	61,9	18360	528,2
Bi	0,6	0,5	1,8	1,1	6,4	0,6
Th	7,3	6,7	6,8	5	96,9	8,7
U	9,6	6,4	7,1	6,4	8,4	7,4

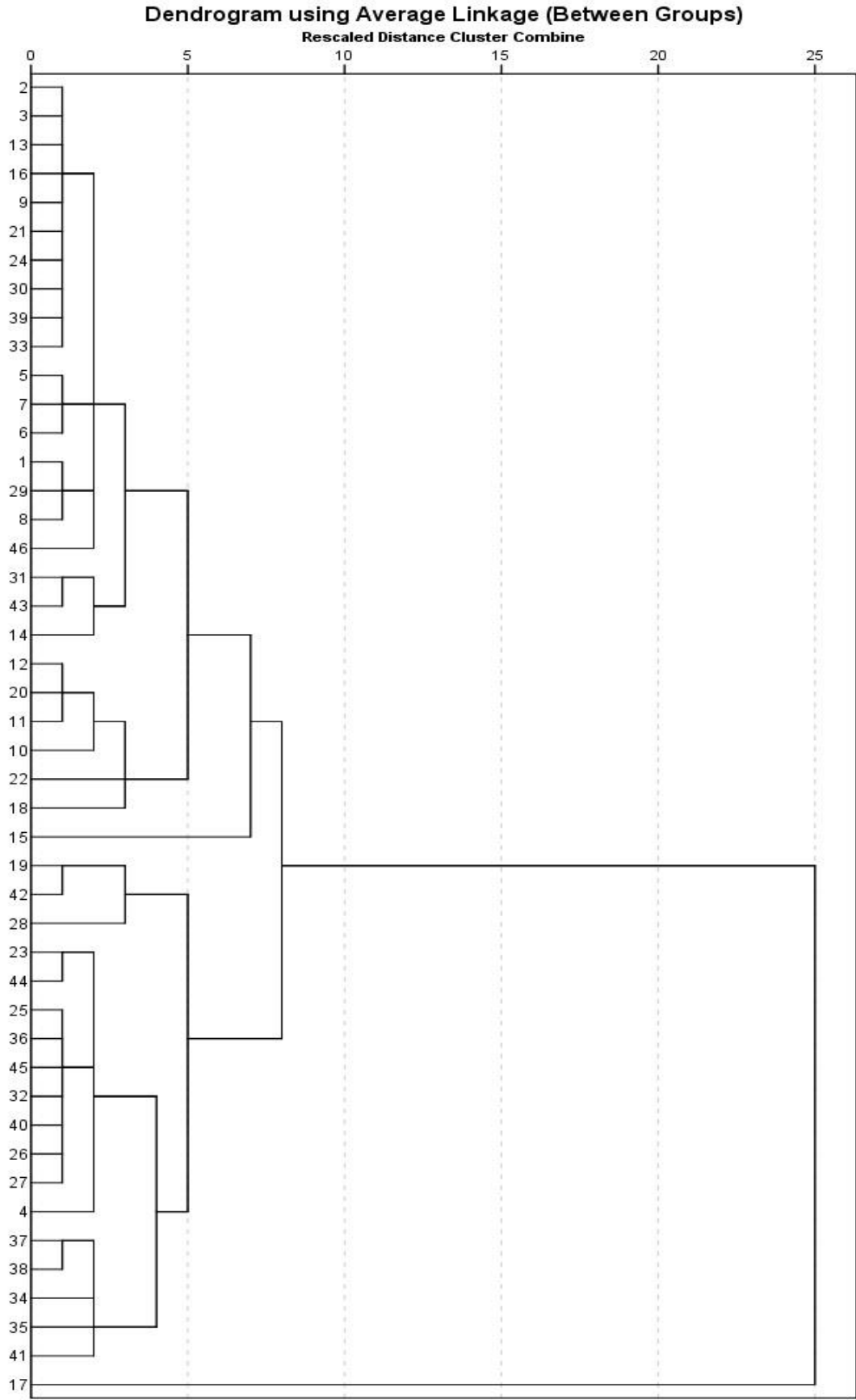
Numunelerdeki Na_2O , CaO ve SiO_2 miktarları örnek setinin soda-kireç-silis camlarından oluştuğuna işaret etmektedir. Camların % olarak tüm oksit içerikleri dikkate alınarak SPSS istatistik programı ile gruplandırma yapılmış ve bu amaçla hiyerarşik kümeleme (clustering) analizi uygulanmıştır. Elde edilen dendrogram Şekil 6.1’de verilmiştir (SPSS sıra numaraları için bakınız Çizelge 6.1-6.6). Buna göre, camların 2 ana gruba ayrıldığı ve her birinde alt grupların yer aldığı belirlenmiştir. Ayrıca, HC-9b ve HC-10b numunelerinin diğerlerinden tamamen ayrıştığı görülmüştür. Bu iki cam tüm örnek setindeki en düşük SiO_2 içeriklerine sahiptir (sırasıyla ağırlık % 52,95 ve 43,08). Tüm oksit içerikleri dışında, yalnızca alkali-toprak alkali oksitler ve SiO_2 , Al_2O_3 miktarları ile de hiyerarşik kümeleme analizi gerçekleştirilmiş ve bu analizde bir önceki gruptan farklı bir durum olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.2) (SPSS sıra numaraları için bakınız Çizelge 6.1-6.6). Böylelikle, camların başlıca Na_2O , K_2O ,

CaO, MgO, SiO₂ ve Al₂O₃ içerikli hammaddelerden üretildiği, PED-XRF ile belirlenen diğer oksit içeriklerinin çoğunlukla safsızlık olarak bünyede yer aldığı öngörülmüştür. PED-XRF sonuçlarına göre camların üçlü diyagram çizimleri Şekil 6.3'te, alkali, toprak alkali, SiO₂ ve Al₂O₃ içeriklerine göre hazırlanan bar grafiği Şekil 6.4'te, eser elementlerin camlardaki dağılımları Şekil 6.5'te verilmiştir. Üçlü diyagramlar incelendiğinde Şekil 6.3a'da HC-10b ve Şekil 6.3b'de HC-9b örneklerinin diğerlerinden ayrıştığı görülmüştür. Mevcut farklılaşmanın hiyerarşik kümeleme analizinde de belirgin bir biçimde oluşması (Şekil 6.1-6.2) bu iki camın tüm örnek setinden kimyasal kompozisyon bakımından ayrı durduğuna işaret etmiştir. Bu bağlamda, hammadde bakımından farklılık gösterdiği düşünülen HC-9b ve HC-10b örnekleri lokasyon olarak yerel üretime ait olmayabilir veya üretimde farklı hammadde kaynaklarından faydalanılmış olabilir.

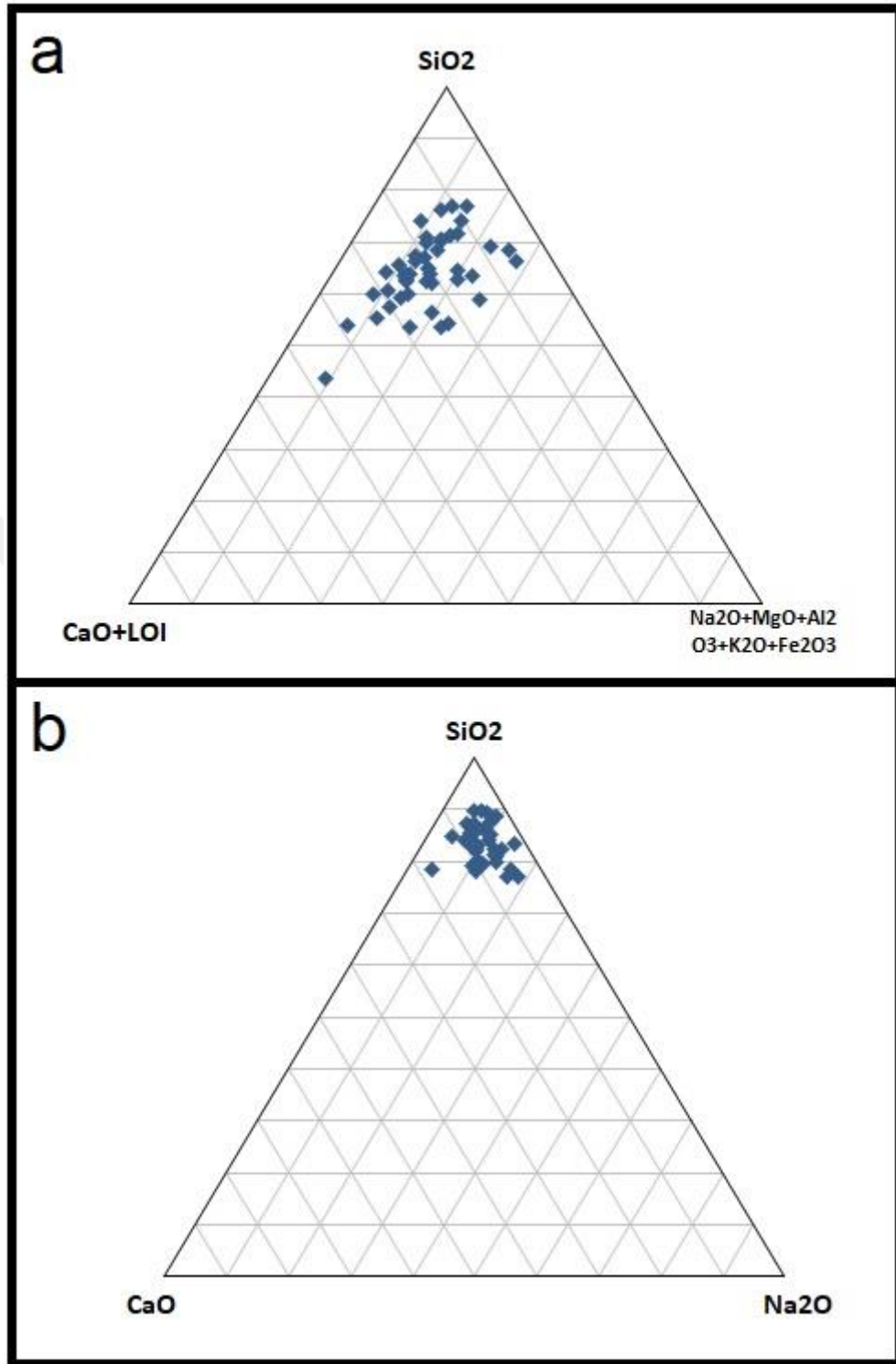
K₂O miktarının düşük olması (ortalama % 2,36) camlarda genel olarak bitki külü kullanılmadığına veya kullanımın sınırlı olduğuna işaret etmektedir. Ancak birkaç örnekte yüksek miktarda potasyum bulunduğundan bu tip az sayıdaki örnekte bitki külü kullanımı mümkün görünmektedir (HC-20b, HC-21c, HC-11b gibi) (Akyol ve ark., 2014).



Şekil 6. 1. Hiyerarşik kümeleme analizi dendrogramı.



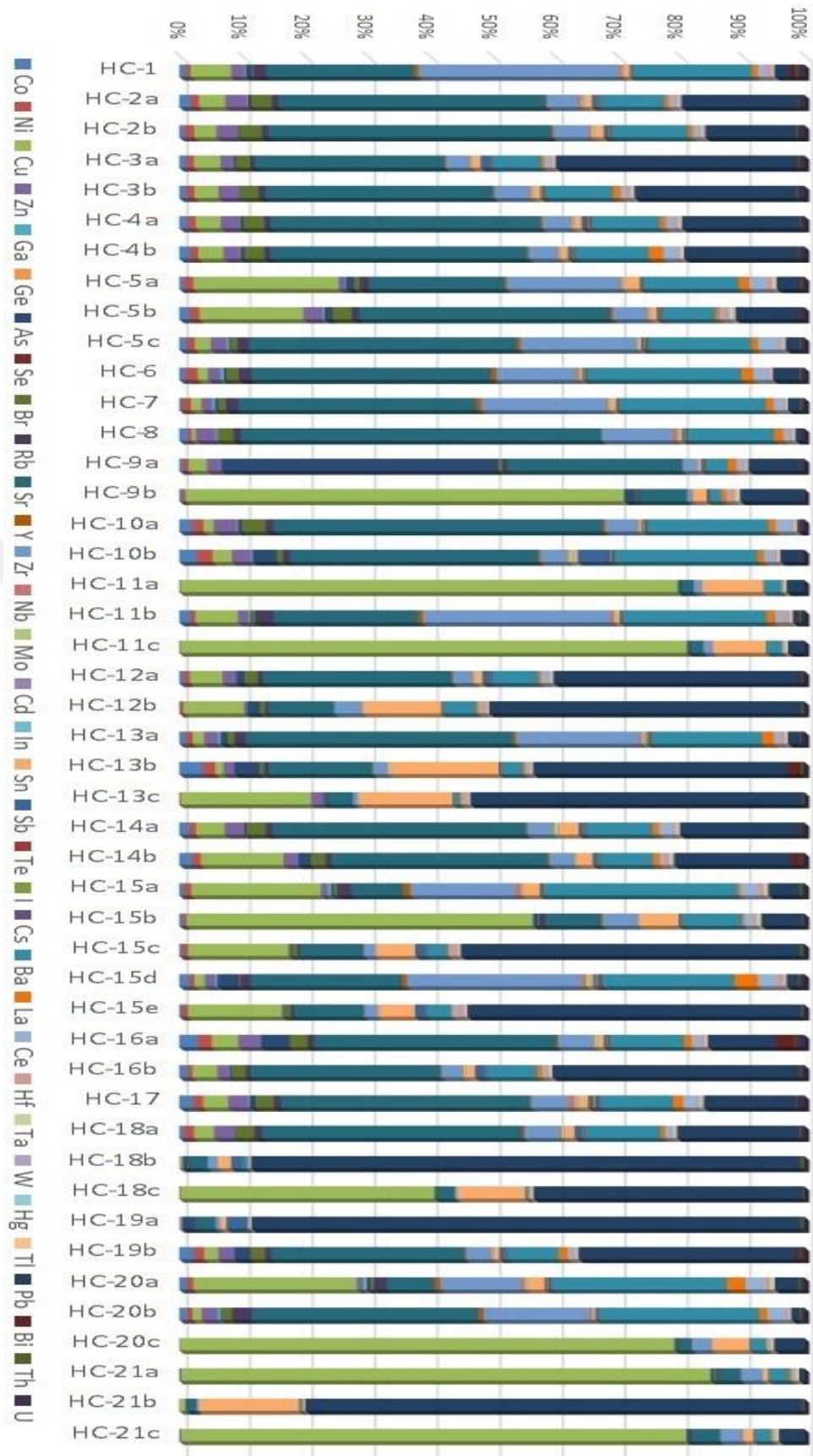
Şekil 6. 2. Hiyerarşik kümeleme analizi dendrogramı (alkali, toprak alkali, SiO_2 , Al_2O_3).



Şekil 6. 3. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camların üçlü diyagramdaki dağılımları.



Şekil 6. 4. Camlardaki ana oksit içeriklerinin dağılımı.



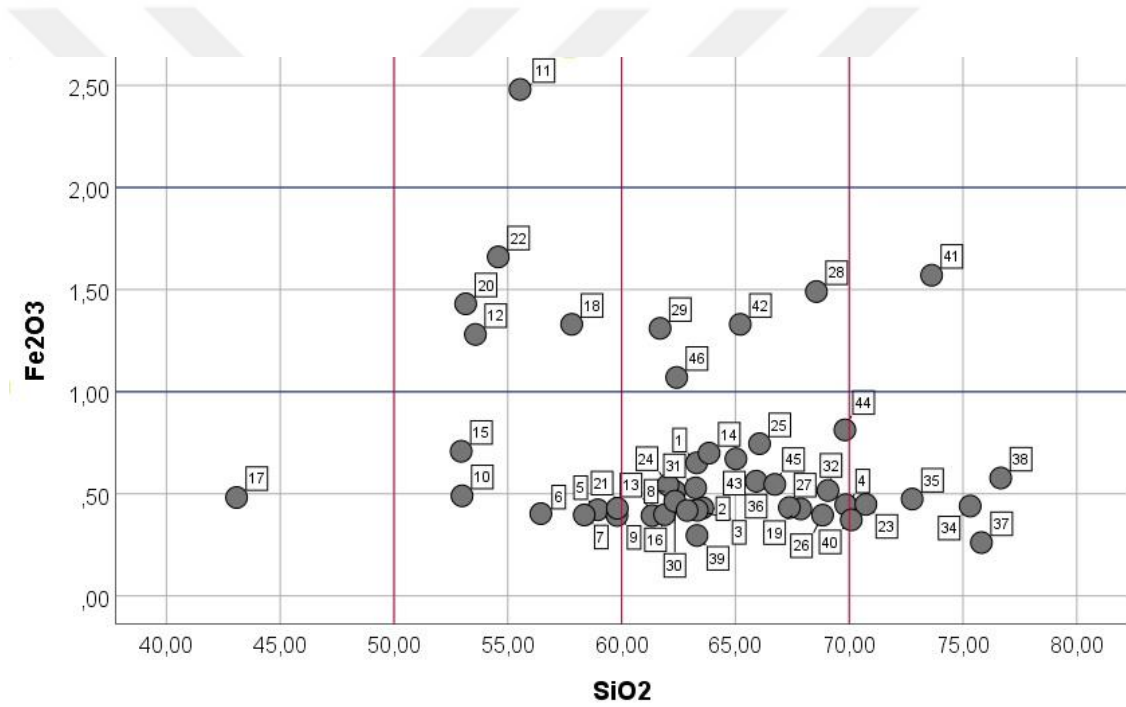
Şekil 6. 5. Camlardaki tüm eser elementlerin numunelerdeki dağılımı.

Demir Fe_2O_3 ve silika SiO_2 ile çizilen dağılım grafiğine göz atıldığında (Şekil 6.6) (SPSS sıra numaraları için bakınız Çizelge 6.1-6.6), çoğu camın düşük demir ($< \text{ağ. \% } 1,00$) ve yüksek silika ($\text{ağ. \% } 60-80$ aralığında) içerdiği, bir kısım camın düşük demir ($< \text{ağ. \% } 1,00$) ve görece düşük silika içerdiği ($\text{ağ. \% } 50-60$ aralığında), demir ihtivası nispeten yüksek (Fe_2O_3 miktarı $\text{ağ. \% } 1$ 'den $\text{\% } 2,5$ 'e kadar) olan örneklerin bir kısmının düşük ($\text{ağ. \% } 50-60$ aralığında) bir kısmının ise yüksek ($\text{ağ. \% } 60-75$ aralığında) silika içerdiği görülmüştür. İstisnai bir örnek olarak HC-10b kodlu cam hem düşük demir ($< \text{ağ. \% } 0,5$) hem de düşük silika ($< \text{ağ. \% } 45$) ihtiva etmektedir. Cam hamuru için başlangıçta kullanılan kum kaynağında olabilecek safsızlıklar (çok az miktarda olsalar dahi) camın kalitesini etkileyebilmektedir, örneğin demir içeren mineraller cam renginde yeşile yakın tonlara neden olabilir (Genç, 2019). Bu kapsamda bakıldığında, demir ile silika arasındaki ilişkide (Şekil 6.6) negatif korelasyona sahip çoğu numunede demirin bir safsızlık olarak bünyede yer aldığı ve daha az sayıdaki örnekte ise demirin doğal kaynaklı olduğu öngörülebilir.

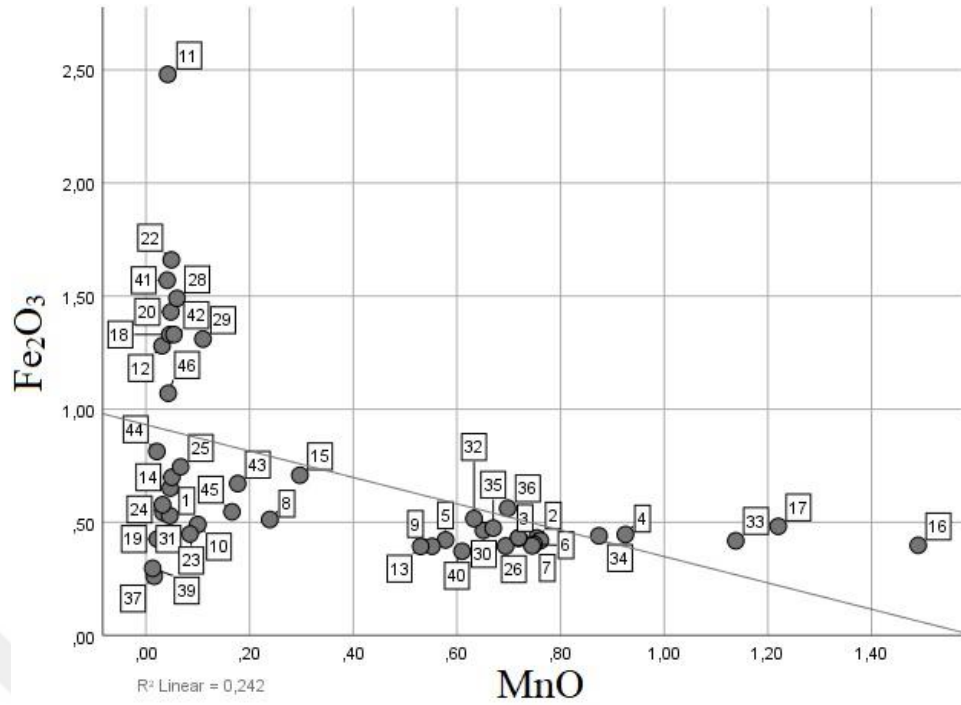
Cam hammaddelerinin eritildiği ergitme fırını veya potasındaki atmosferik koşulların cam renginde değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. Örneğin; yükseltgen ortamda oksijen baskın olacak ve Fe^{+3} cama yeşil-mavi tonlarını verecektir, indirgen atmosferde yapılan ergitmede ise ortamda daha çok karbon olacak ve Fe^{+2} siyah-koyu kahve tonlarına neden olacaktır (Shortland, 2012). Roma dönemi camlarında belirli miktarlarda demir ilavesiyle yeşil-mavi renk tonlarının elde edildiği bilinmektedir (Bayraktar, 2011). Çalışmadaki cam setinde yeşil tonlarına sahip çoğu örnekte bakıra ek olarak demirin de bu renk oluşumuna katkı sunması muhtemeldir. Diğer taraftan, özellikle görece daha yüksek seviyelerde demir içeren camlarda bu içeriğin büyük olasılıkla cam ergitme fırını duvarları veya çeperlerinden bir kirlilik olarak gelebileceği de unutulmamalıdır (Genç, 2019).

Camlardaki demir içeriğinin mangan ile olan ilişkisine bakılarak manganın cam reçetesine bilinçli bir şekilde katılıp katılmadığı, ayrıca geri dönüşüm işlemi olup olmadığı hakkında fikir yürüten çalışmalar ışığında ayrı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla $\text{MnO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ve $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ oranları dikkate alınarak numune seti içerisindeki dağılımlarına bakılmıştır. $\text{MnO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ diyagramında (Şekil 6.7) demir ile mangan arasında zayıf bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Bu durum örneklerin çoğunluğu için farklı cam kırıklarının bir araya getirilerek ergitilmesiyle bir geri dönüşüm işleminin yapılma ihtimalini düşürmektedir (Freestone ve ark., 2005). Diğer

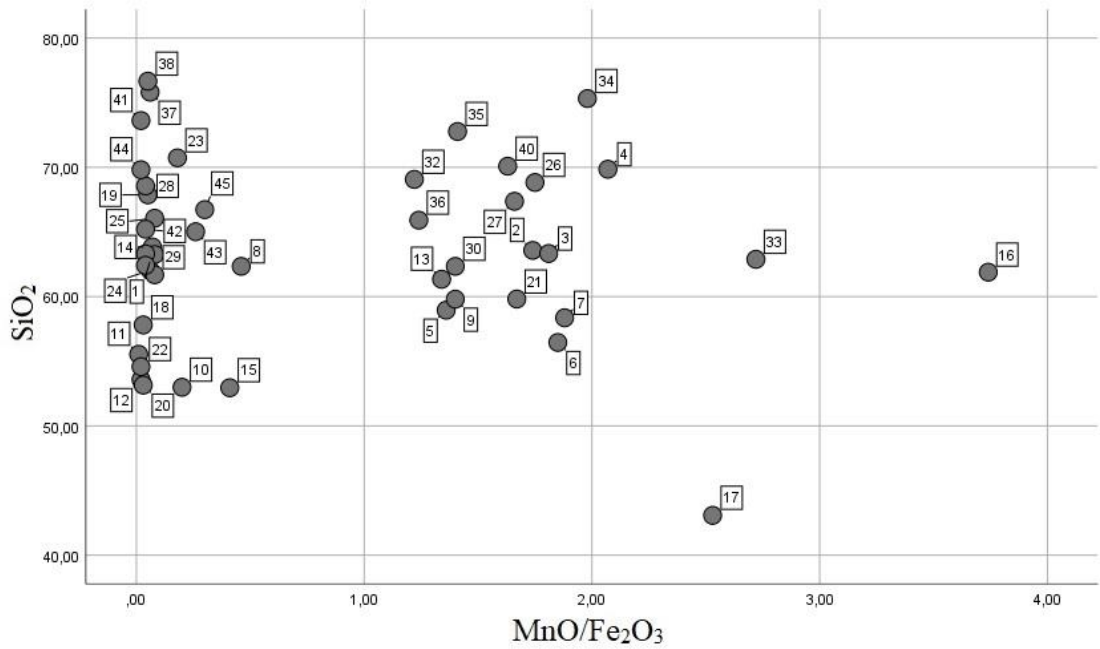
tarafından, camlardaki MnO/Fe_2O_3 oranlarına bakıldığında, yer kabuğunda MnO/FeO oranının yaklaşık olarak 0,015 olduğu düşünülürse (Wedepohl, 1995), bu oranın yüksek olduğu camlarda manganın bilinçli bir şekilde cama katıldığı düşünülebilir (Freestone ve ark., 2005). Özellikle Roma dönemi cam üretiminde antimon ve manganın renk açmak amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (Bayraktar, 2011). Mevcut camlardaki MnO/Fe_2O_3 oran dağılımının bu bağlamda örnekleri ikiye ayırdığı görülmektedir (oranın 1'den büyük ve küçük olduğu camlar) (Şekil 6.8). MnO/Fe_2O_3 oranının özellikle 2'den büyük olduğu HC-10a, HC-10b ve HC-16a kodlu camların örnek setinden bu anlamda belirgin biçimde ayrıldığı tespit edilmiştir (SPSS sıra numaraları için bakınız Çizelge 6.1-6.6).



Şekil 6. 6. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camlardaki Fe_2O_3 - SiO_2 içeriklerinin dağılım grafiği.



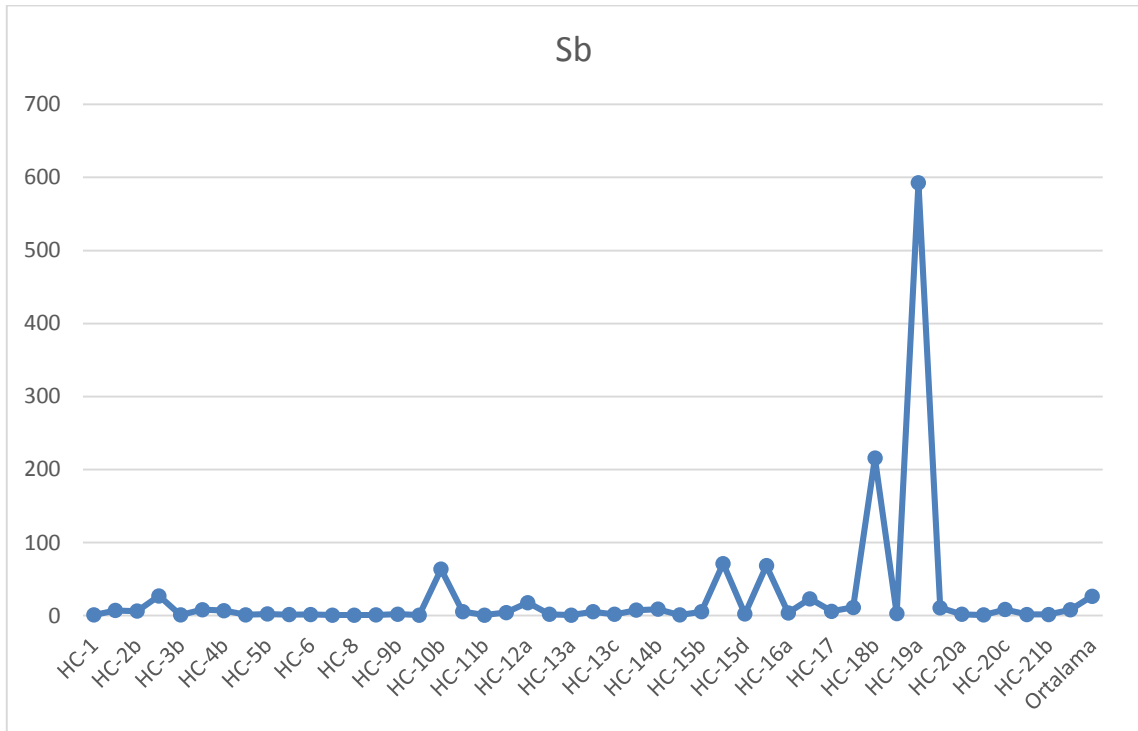
Şekil 6. 7. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camlardaki Fe_2O_3 – MnO dağılım grafiği.



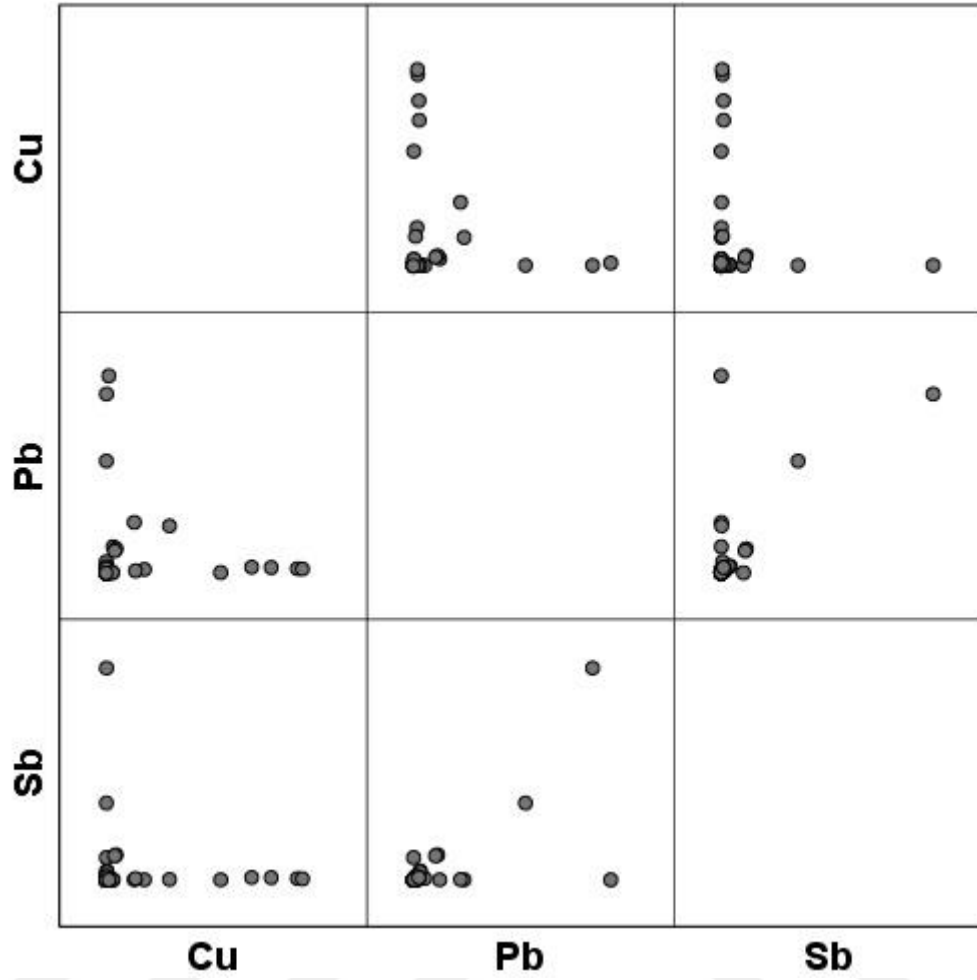
Şekil 6. 8. PED-XRF analiz sonuçlarına göre camlardaki SiO_2 – $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ dağılım grafiği.

Camların bünyesinde bulunan bakır (Cu), kurşun (Pb) ve antimon (Sb) miktarlarının da atık camların geri dönüşümde kullanımı hakkında ipuçları verdiği araştırmalarda ele alınmıştır (bakır ve kurşun ayrıca renk verici olarak kullanılmaktadır) (Jackson ve Foster, 2014). Cam hamuru içerisine farklı ve/veya daha önceki üretimlere ait cam atıkları ilave edilip ergitildiğinde camların renk durumları ve ergitme şartlarına bağlı olarak bazı kirlilikler oluşabilmektedir (Jackson ve Foster, 2014). Mevcut

çalışmadaki camlarda tespit edilen Sb miktarları (ppm) Şekil 6.9’da verilmiştir. Buna göre HC-10b, HC-15c, HC-15e, HC-18b ve HC-19a kodlu numunelerin diğer camlara kıyasla daha yüksek miktarda Sb içerdiği ve buna bağlı olarak geri dönüşüm camları içerebilecekleri öngörülmüştür (Foster and Jackson, 2009). Ayrıca, camlardaki Cu, Pb ve Sb elementlerinin korelasyonlarına bakıldığında (Şekil 6.10) çoğu camda ihmal edilebilir seviyelerde dağılımların olduğu, yalnızca birkaç örneğin diğerlerinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen veriler örnek setinde bazı camların bünyesinde dönüştürülmüş cam olabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 6. 9. Cam örneklerde tespit edilen antimon (Sb) miktarları (ppm).



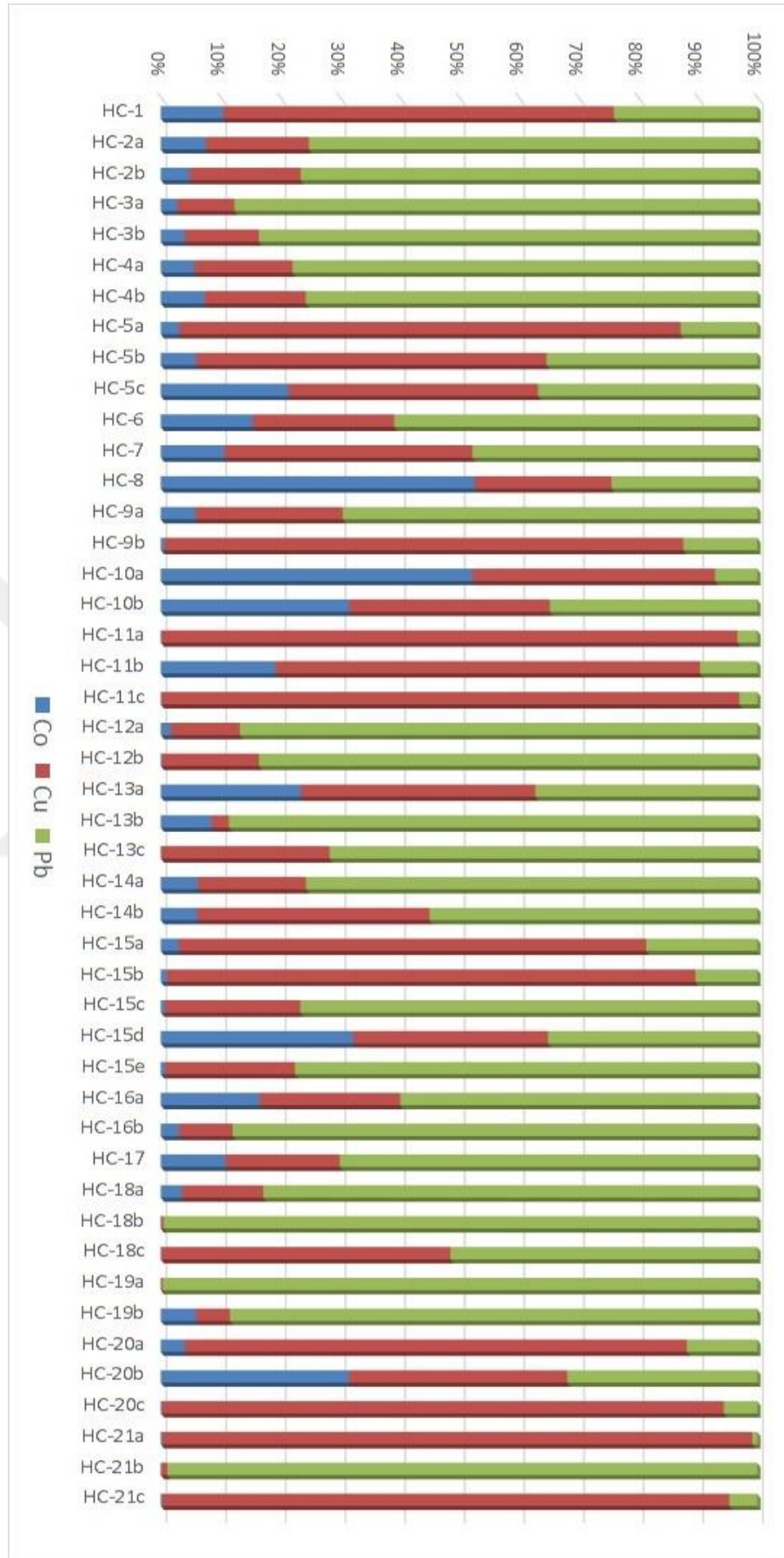
Şekil 6. 10. Camlardaki Cu, Pb, Sb elementlerinin dağılım grafiği.

Camlardaki eser elementlere bakıldığında özellikle Cu, Co ve Pb elementlerinin renk oluşumlarında etken olduğu saptanmıştır. Bu elementler dikkate alınarak çizilen diyagrama göre (Şekil 6.11) özellikle yeşil ve mavi tonlarının çoğunlukla bakır-kurşun oranına bağlı olarak meydana geldiği söylenebilir. Camlarda bakırın verebileceği renk tonlarının alkali ve kurşun içerikleriyle doğrudan bağlantılı olduğu göz önüne alınırsa, bakırın yüksek alkali içerikli camlarda mavi, yüksek kurşun içerikli camlarda yeşil tonlarını sağladığı söylenebilir (Yastı, 2011). Böylelikle, camların renklendirilmesi için farklı kompozisyonlara sahip cam reçetelerinin hazırlanmış olduğu ve değişen formlardaki cam ürünlerinin bilinçli olarak renklendirilebildiği öngörülmüştür.

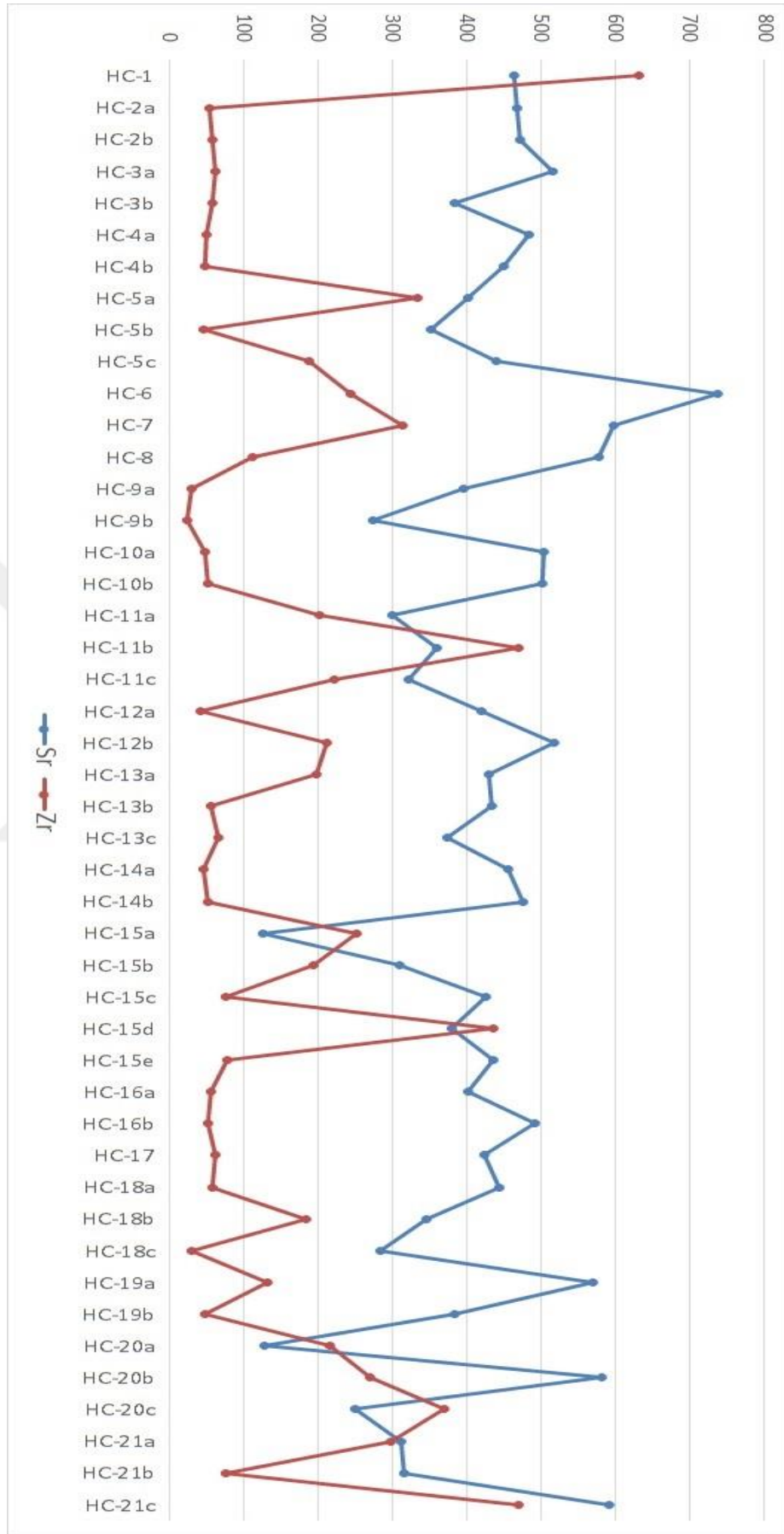
Camlardaki Sr ve Zr içerikleri dikkate alınarak hammaddelerin denizel-karasal olup olmadıkları hakkında değerlendirme yapılmıştır (Şekil 6.12). Buna göre, camların çoğunlukla denizel+karasal (HC-1, HC-3b, HC-5a, HC-5b, HC-5c, HC-6, HC-7, HC-9a, HC-9b, HC-12b, HC-13a, HC-13c, HC-18c, HC-19b, HC-20b, HC-21b, HC-21c) veya denizel (HC-2a, HC-2b, HC-3a, HC-4a, HC-4b, HC-8, HC-10a, HC-10b, HC-12a, HC-

13b, HC-14a, HC-14b, HC-15c, HC-15e, HC-16a, HC-16b, HC-17, HC-18a, HC-19a) kökenli hammaddelerden üretildiği, daha az sayıdaki bazı camların ise sadece karasal (HC-11a, HC-11b, HC-11c, HC-15a, HC-15b, HC-15d, HC-18b, HC-20a, HC-20c, HC-21a) hammadde içerdiği tespit edilmiştir. Denizel kum içerdiği tespit edilen camlardaki hammaddelerin civardaki nehirlerden veya ticaret yoluyla geldiği düşünülebilir (Freestone ve ark., 2003; Akyol ve Aydın, 2016).

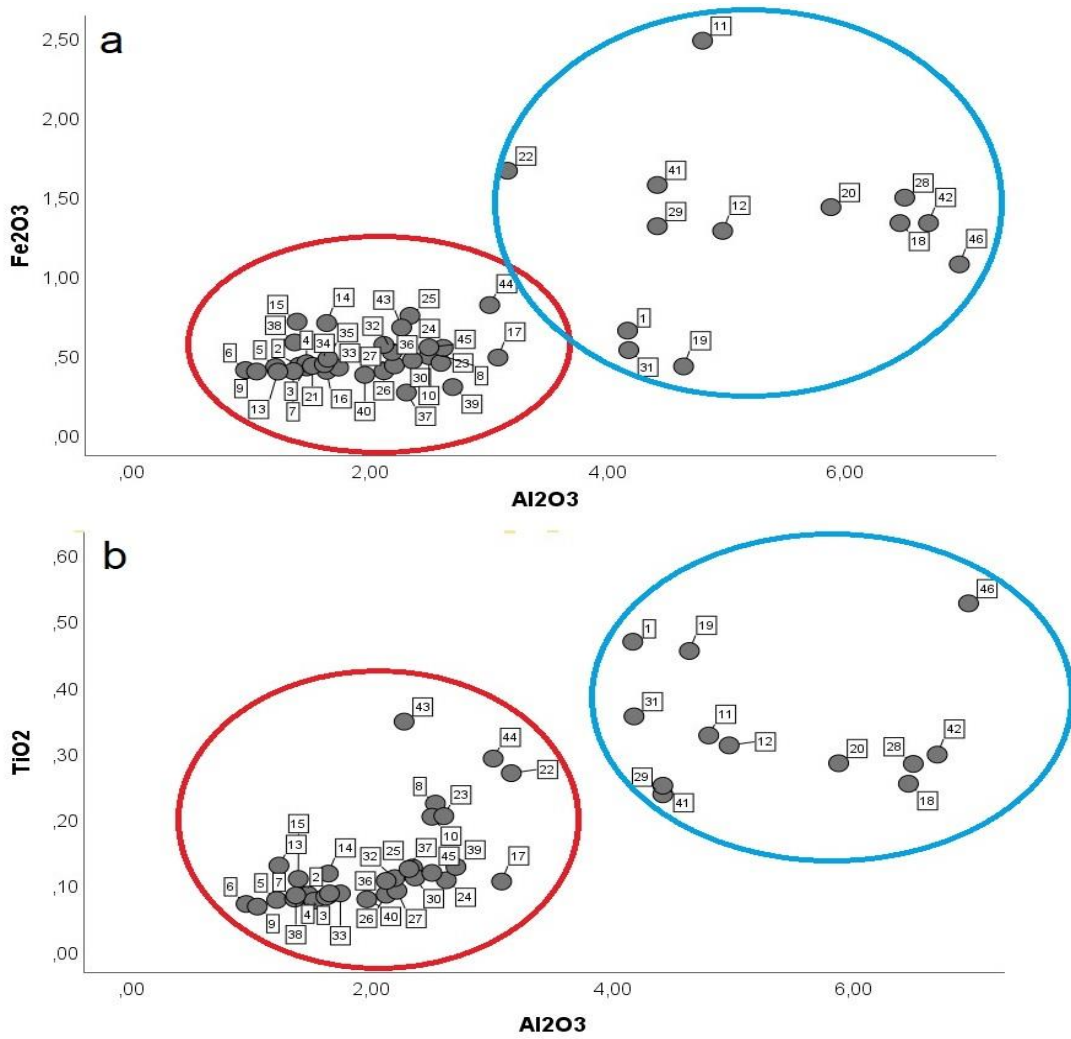
Camlardaki alümina içeriğinin demir ve titanyum ile olan ilişkisine bakıldığında; demir oksit (Fe_2O_3) ve alümina (Al_2O_3) için çizilen dağılım grafiğinde (Şekil 6.13a) görece olarak pozitif bir korelasyon olduğu görülen numunelerde (özellikle yüksek seviyelerde) bu iki oksit içeriğinin cam ergitme potasından kaynaklı bir safsızlık olarak geldiği öngörülmüştür. Diğer taraftan, Al_2O_3 miktarı yüksek olan camlarda bu ihtivanın iç kalıp tekniği veya kalıba üfleme tekniğinde kullanılan pişmiş toprak kalıplarından kaynaklanabileceği yüksek bir ihtimaldir. Titanyum oksit (TiO_2) ve alümina (Al_2O_3) arasındaki ilişkinin de demir ve alüminyum oksit arasındaki ilişki ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır (Şekil 6.13b). Her iki dağılım grafiğinde de birbirine yakın duran ve gerek alümina gerek demir ve titanyum içeriği düşük olan numunelerin diğerlerinden daha saf bir kum kullanılarak üretildikleri ve dolayısıyla hammadde bakımından en az iki alternatifin olduğu akla gelmektedir (SPSS sıra numaraları için bakınız Çizelge 6.1-6.6).



Şekil 6. 11. Co, Cu ve Pb elementlerinin numunelerdeki dağılımı.



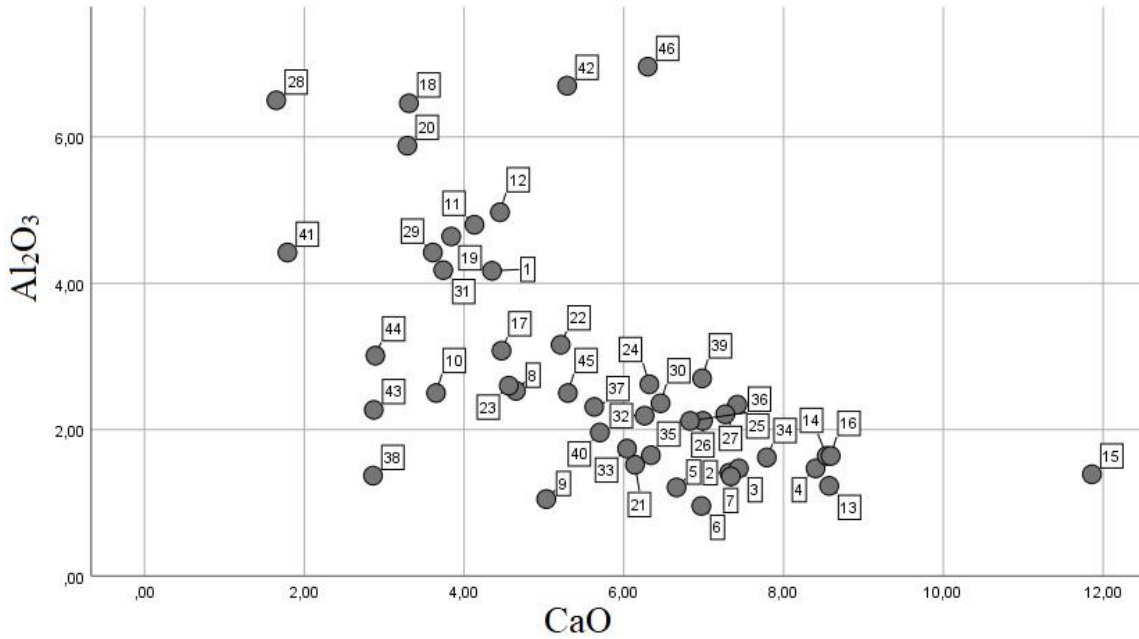
Şekil 6. 12. Sr ve Zr elementlerinin numunelerdeki dağılımı.



Şekil 6. 13. Camlarda (a) Fe_2O_3 - Al_2O_3 ve (b) TiO_2 - Al_2O_3 dağılım grafiği.

Alüminanın CaO ile olan ilişkisine bakıldığında en düşük CaO HC-15a'da (ağ. % 1,65), en yüksek CaO HC-9b'de (ağ. % 11,86), en düşük Al_2O_3 HC-4a'da (ağ. % 0,957), en yüksek Al_2O_3 HC-21c'de (ağ. % 6,96) görülmüştür (Şekil 6.14, SPSS sıranumaları için bakınız Çizelge 6.1-6.6). HC-9b kodlu camın en yüksek CaO ve en düşük seviyelere yakın Al_2O_3 içeriğine sahip olduğu ve tüm örnek setinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Genel olarak CaO miktarının ağ. % 2-10 arasında, Al_2O_3 miktarının ağ. % 1-6 arasında değiştiği ve bazı istisnai örneklerin bu aralığın dışında kaldığı gözlemlenmiştir (HC-4a, HC-9b, HC-11a, HC-15a, HC-20a, HC-21c). Cam hamuru içerisinde alümina miktarının yüksek olması camdaki mekanik mukavemeti arttırmakta ve özellikle içerisine sıvı koyularak kullanılan bardak veya kâse gibi cam eşyalarda bozunmaya karşı ürünün direncini desteklemektedir (Morey, 1954). Dolayısıyla,

alümina miktarı görece yüksek olan camların mutfak gereci ve/veya saklama kapları gibi bir gruba ait olan gövde ve/veya kulp benzeri parçalar olduğu düşünülebilir.



Şekil 6. 14. Camlarda Al_2O_3 – CaO dağılım grafiği.

Mısır ve Yakın Doğu bölgelerinde tipik olarak kum içerisinde yaklaşık % 1,4 alümina ve % 2,18 CaO olduğu bilinmektedir. Roma ve Bizans dönemlerinde Mezopotamya ve Mısır'da yapıldığı tahmin edilen camlarda bölgede üretilen diğer camlarla uyumlu olarak bol miktarda kireç ve alümina olduğu tespit edilmiştir. Bu içerikler kum içerisinde kil, kalsit ve feldspat mineralleri gibi safsızlıklar ile ilişkilendirilebilmektedir (Turner, 1956; Freestone ve ark., 2003; Brill, 1999; Beşer, 2009).

Mevcut çalışmadaki camlarda tespit edilen Al_2O_3 ve CaO içeriklerinin ortalama değerleri sırasıyla %2,86 ve % 5,68'dir. Yukarıda bahsedilen yaklaşık % miktarlarının üzerinde tespit edilen bu değerler cam içerisinde safsızlık miktarının yüksek olabileceğini akla getirmektedir. Zira, mevcut çalışmada Al_2O_3 miktarının yaklaşık ağırlık % 7'ye kadar çıktığı, CaO miktarının ise yaklaşık ağırlık % 12'ye ulaştığı görülmektedir.

6.2. SEM-EDX Sonuçları

Camların mikro yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla farklı büyütme ölçeklerinde SEM görüntüleri alınmış ve bölgesel EDX taramaları gerçekleştirilmiştir. PED-XRF analizinden farklı olarak SEM-EDX analizinde bulk numuneler üzerinde çalışılmış olup,

Çizelge 6. 15. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-11a/HC-13c).

Element	HC-11a	HC-11b	HC-11c	HC-12a	HC-12b	HC-13a	HC-13b	HC-13c
SiO ₂	53,12	62,13	67,56	71,35	61,10	64,23	68,62	70,10
CaO	4,51	4,25	3,93	9,65	10,12	5,58	9,90	10,90
Al ₂ O ₃	6,06	3,82	7,34	0,46	3,81	1,64	0	0,77
Na ₂ O	17,04	13,11	7,77	12,67	17,91	18,40	13,93	10,47
K ₂ O	2,81	4,77	2,38	1,85	1,36	3,55	3,01	2,86
MgO	0,85	4,77	2,43	2,27	2,66	5,92	2,16	1,53
FeO	3,04	0	2,31	0	2,46	0	0	0
MnO	0	0	0	1,33	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0	1,47	2,03
ZrO ₂	12,21	6,70	5,88	0	0	0	0	0
SO ₃	0	0	0	0	0	0	0	0,85

Çizelge 6. 16. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-14a/HC-16a).

Element	HC-14a	HC-14b	HC-15a	HC-15b	HC-15c	HC-15d	HC-15e	HC-16a
SiO ₂	71,72	77,52	62,42	63,81	63,92	49,04	62,33	68,04
CaO	10,12	8,12	1,27	6,12	8,14	16,76	5,40	6,10
Al ₂ O ₃	0,60	5,99	9,10	5,20	0,77	6,85	6,17	6,54
Na ₂ O	11,38	0	22,28	17,11	14,34	0,43	4,63	0,39
K ₂ O	2,34	0,88	1,60	3,21	2,08	1,27	3,99	0,47
MgO	1,96	2,21	0,63	1,60	3,21	6,00	2,80	0,48
FeO	0	3,35	1,87	1,40	0	4,15	2,11	3,98
MnO	1,37	0	0	0	0	2,61	0	13,45
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	1,93	0	1,02	0	0	0	0
ZrO ₂	0	0	0	0	7,01	12,89	12,59	0
SO ₃	0	0	0,07	0	0	0	0	0,54

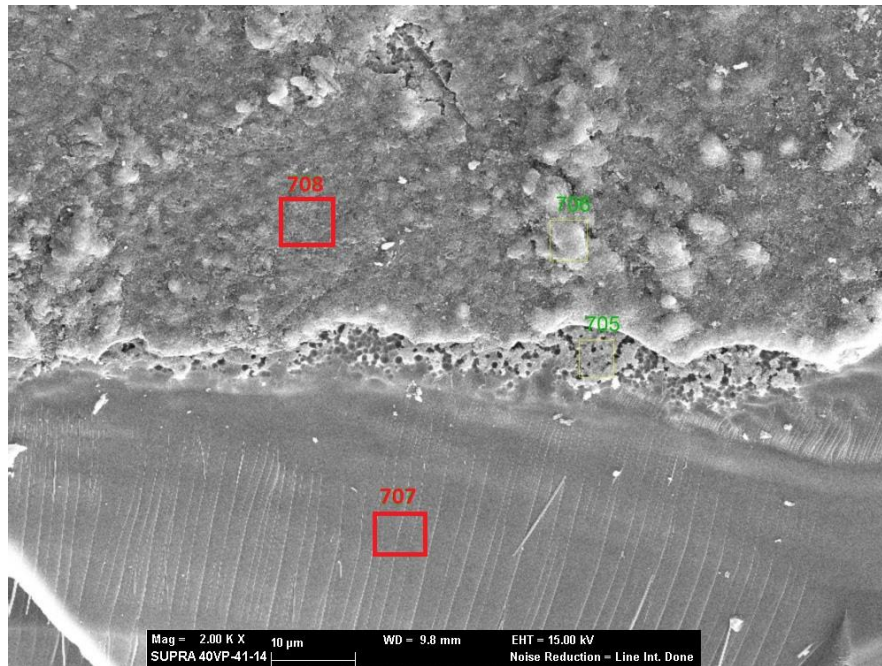
Çizelge 6. 17. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-16b/HC-20a).

Element	HC-16b	HC-17	HC-18a	HC-18b	HC-18c	HC-19a	HC-19b	HC-20a
SiO ₂	68,87	72,65	72,95	70,34	58,34	71,95	68,57	54,90
CaO	9,12	4,10	9,96	8,91	3,99	14,82	8,46	1,53
Al ₂ O ₃	0	11,79	0,57	1,64	1,58	0,36	1,02	8,28
Na ₂ O	13,92	0,29	11,58	11,71	19,67	8,60	14,70	23,74
K ₂ O	2,04	1,16	1,75	2,30	3,52	2,23	1,90	1,34
MgO	2,85	1,59	1,87	2,25	3,77	0,26	3,16	0,67
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,77	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0,91	8,42	0	1,66	0	0	1,58	0
ZrO ₂	0	0	0	0	8,41	0	0	8,25
SO ₃	0	0	0,74	0,73	0	1,05	0	0

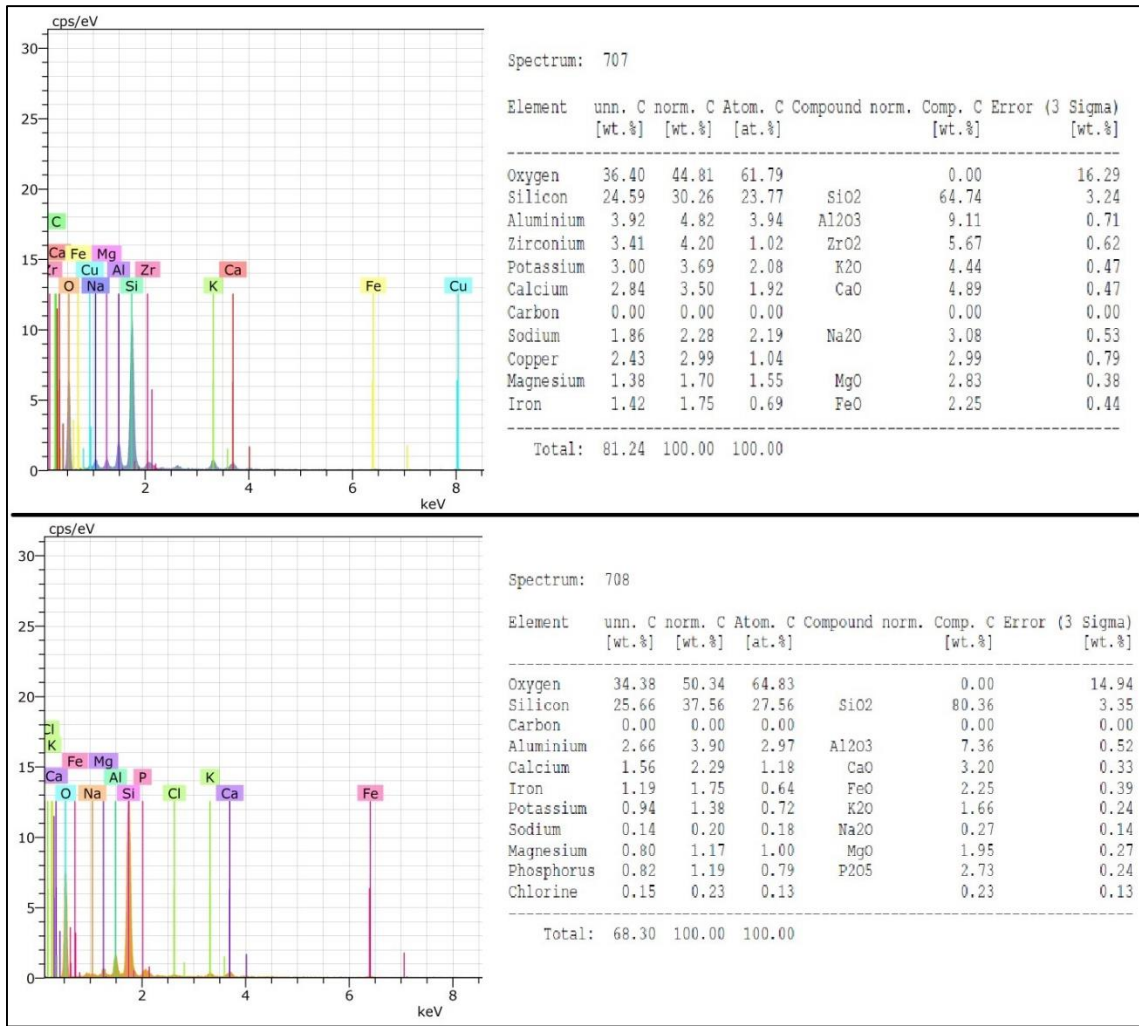
Çizelge 6. 18. Cam numunelerin EDX tarama sonuçları (HC-20b/HC-21c).

Element	HC-20b	HC-20c	HC-21a	HC-21b	HC-21c
SiO ₂	50,58	28,10	70,92	67,60	59,90
CaO	6,74	51,78	4,72	10,33	6,62
Al ₂ O ₃	7,28	0,78	2,99	0,60	6,21
Na ₂ O	20,69	0,82	16,78	12,99	12,91
K ₂ O	5,65	0	2,38	1,98	4,72
MgO	6,29	12,44	1,40	1,94	4,30
FeO	1,27	0	0	0	0
MnO	0	0	0	1,30	0
ZnO	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	1,05	0	0	0	0
ZrO ₂	0	6,07	0	0	5,34
SO ₃	0	0	0	0	0

EDX taramalarında camlar için PED-XRF analizinde olduğu gibi yüksek miktarda SiO₂ belirlenmiştir. Toz numuneler ile yapılan PED-XRF analizinden farklı olarak SEM görüntülerinde sadece belirlenen bir bölgenin EDX taraması yapıldığından dolayı görüntülerdeki bazı alanlarda uç sonuçlar görülmüştür (örneğin SiO₂ miktarının ağırlık % 96,07 olması veya CaO içeriğinin ağırlık % 51,78 olarak görülmesi vb.). Az sayıda rastlanan bu tip veriler camın homojenlik durumuna bağlı olarak mikro yapıda görülebilmektedir. Bu duruma örnek olarak Şekil 6.15'te HC-11c kodlu camın SEM görüntüsü, Şekil 6.16'da ise bu görüntü üzerindeki farklı alanlarda elde edilen EDX sonuçları temsili olarak verilmiştir.



Şekil 6. 15. HC-11c SEM görüntüsü.

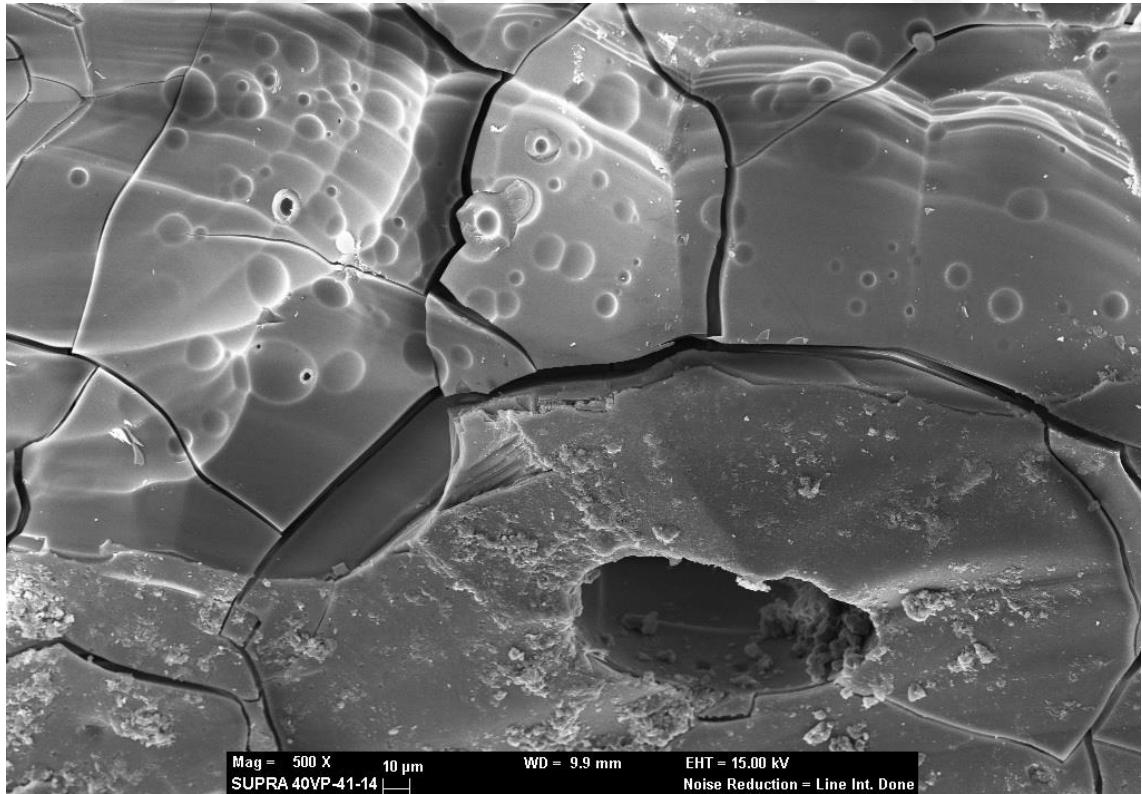


Şekil 6. 16. HC-11c kodlu camda 707 ve 708 numaralı alanların SEM-EDX sonuçları.

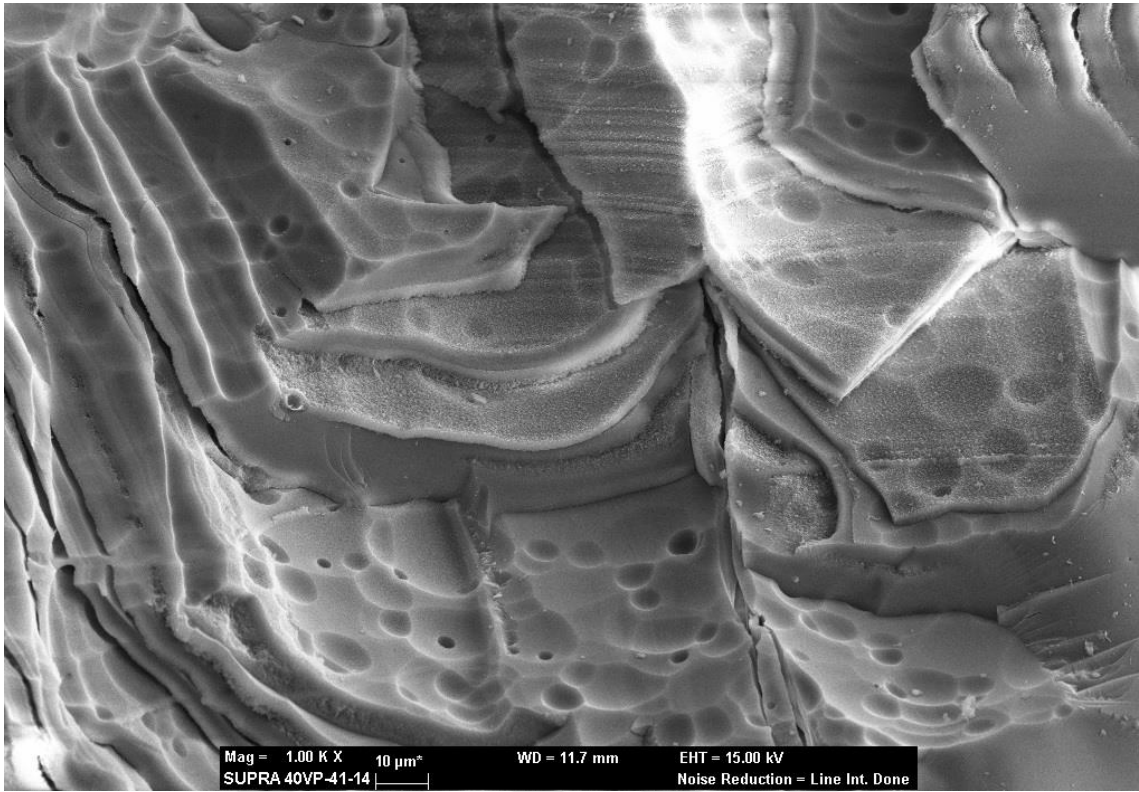
EDX taramalarında camlarda ortalama değer olarak SiO₂ ağırlık % 64,62, Al₂O₃ ağırlık % 3,52, CaO ağırlık % 8,38, Na₂O ağırlık % 10,97, MgO ağırlık % 2,83 ve K₂O ağırlık % 2,09 oranında belirlenmiştir. Camlarda bu ortalama değerler PED-XRF analizinde SiO₂ ağırlık % 63,48, Al₂O₃ ağırlık % 2,86, CaO ağırlık % 5,68, Na₂O ağırlık % 7,10, MgO ağırlık % 1,73 ve K₂O ağırlık % 2,36 olarak belirlenmişti. Karşılaştırma yapıldığında çalışma prensibi açısından bazı farklılıklar gösteren iki teknikte birbirine paralel sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. PED-XRF analizindeki veriler gibi EDX analizinde elde edilen veriler de camların soda-kireç-silis esaslı olduğuna işaret etmiştir. Cam örneklerine ait bölgesel EDX taramaları EK-2’de verilmiştir.

Camların SEM görüntüleri üzerinden bir değerlendirme yapıldığında, mikro yapısında dairesel boşluklar (baloncuklar) içeren örnekler yetersiz ergitme sıcaklığına işaret etmiştir (Şekil 6.17-6.21). Cam üretiminde uygun cam hamuru hazırlansa dahi,

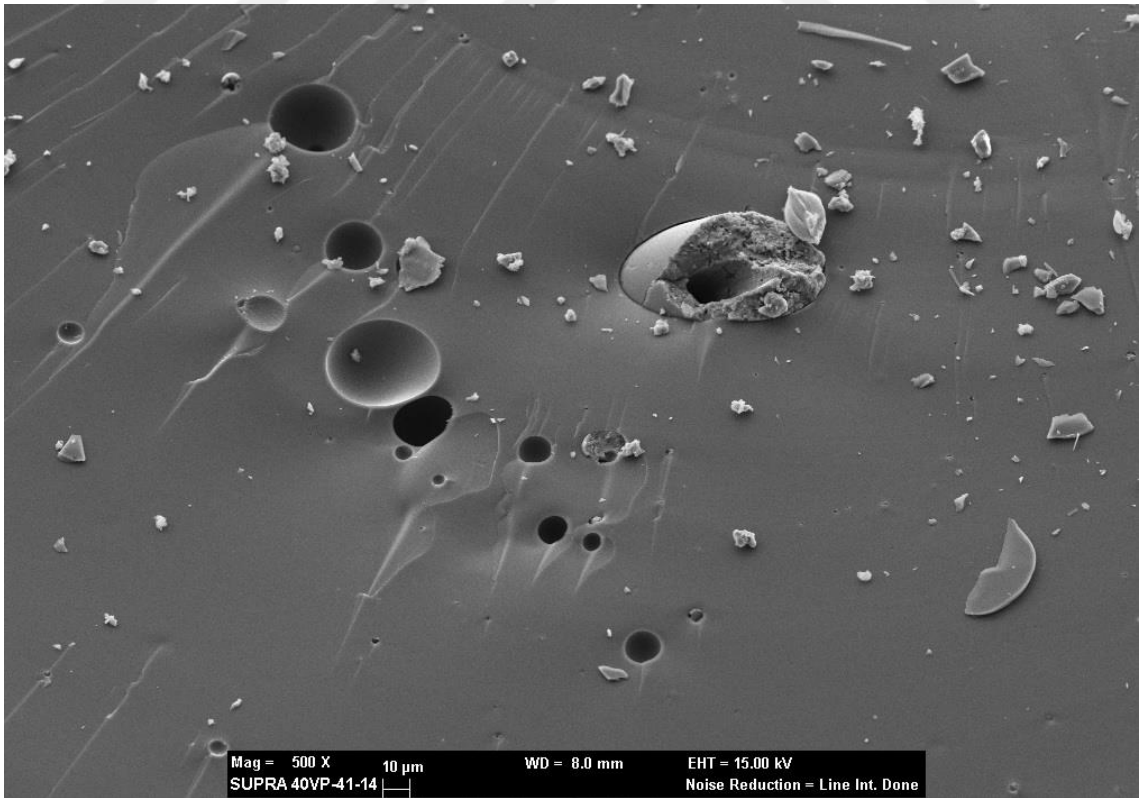
ergitme işlemi gereken sıcaklıkta ve uygun şartlarda yapılmaz ise cam içerisinde baloncuklar kalabilmektedir. Bu baloncuklar cam hammaddelerinin eritmeye başlandığı ilk anlarda su baharı ve/veya karbon dioksitin bünye içerisinde tutulması ya da camın erimesiyle birlikte gazların matriste harekete geçmesi ancak bünyeyi terk edememesi durumlarında oluşabilmektedir. Özellikle düşük sıcaklıklardaki cam üretiminde hem baloncuk içeren hem de yüksek sıcaklığa çıkılmadığı için halen erimemiş mineral içeriği olan viskoz bir cam elde edilmektedir. Cam hamurunda baloncuk oluşmasını etkileyen önemli parametreler özetle cam bileşenlerinin tane boyut ve dağılımları, maksimum sıcaklık, maksimum sıcaklıkta bekleme süresi, ergitme atmosferi ve varsa geri dönüşüm cam ilavesi (türü, miktarı) gibi değişkenler olarak sıralanabilir. Örneğin, cam hamuru çok ince tanecikli minerallerden oluşuyorsa, bu durumda taneler arası boşlukların boyutu bir hayli azalacak ve böylelikle ergitme sırasında oluşan gaz çıkışları engellenecektir. Cam içerisindeki baloncukların bünyeden uzaklaştırılması başlı başına bir iştir ve bu amaçla camın şekillendirilmesi sırasında baloncukların dışarı doğru hareketini tetikleyecek ek işlemler yapılabilmekte veya antimon (Sb), arsenik (As) gibi ilaveler katılabilmektedir (Beşer, 2009; Freestone ve ark., 2002).



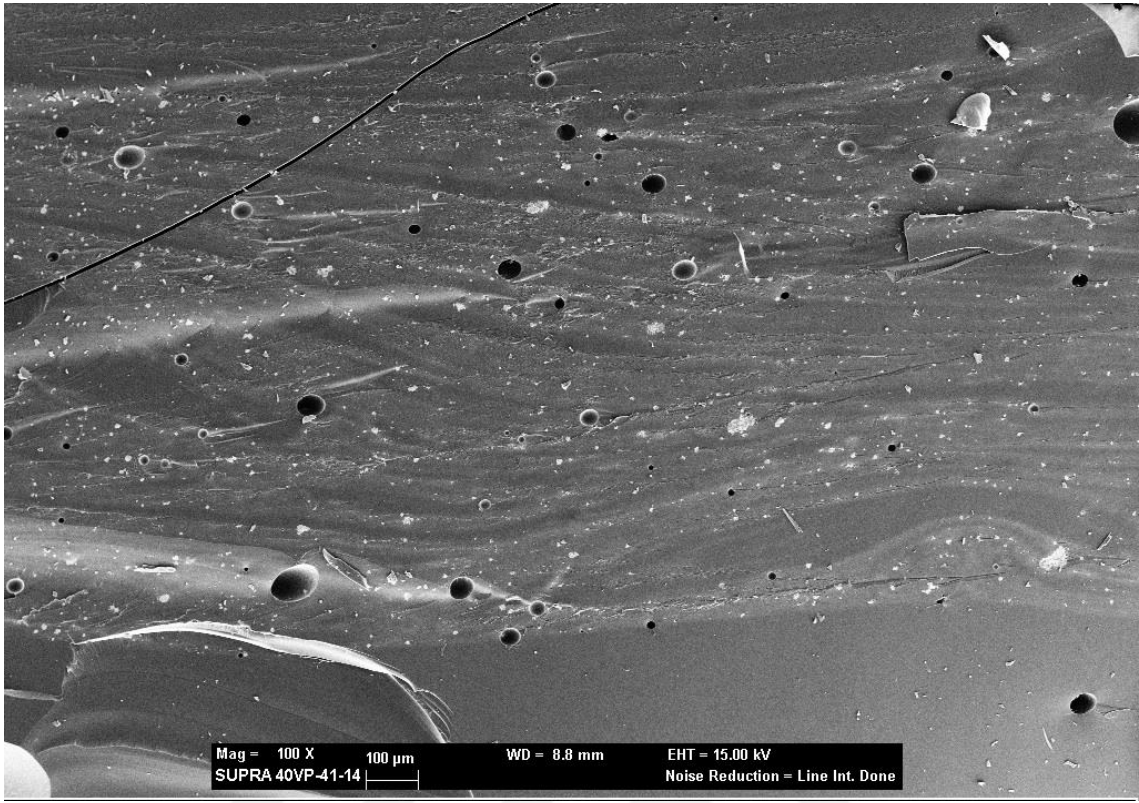
Şekil 6. 17. HC-6 cam örneği SEM görüntüsü.



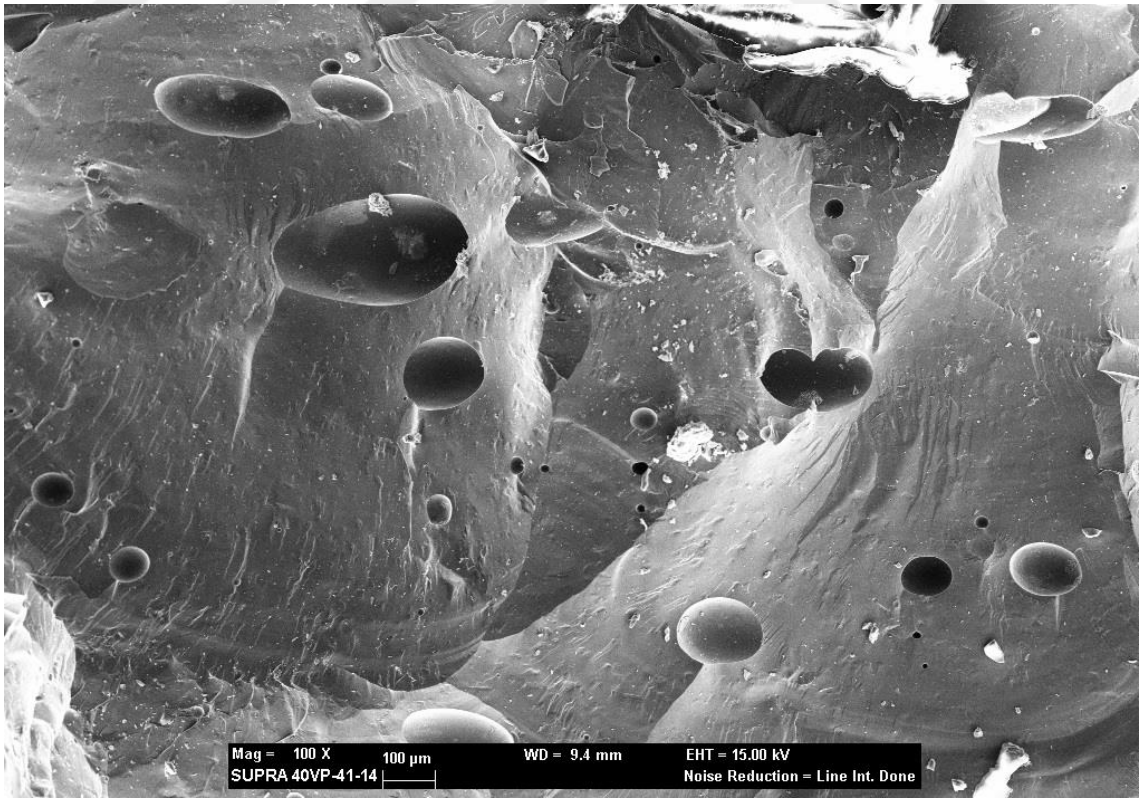
Şekil 6. 18. HC-9a cam örneği SEM görüntüsü.



Şekil 6. 19. HC-20a cam örneği SEM görüntüsü.



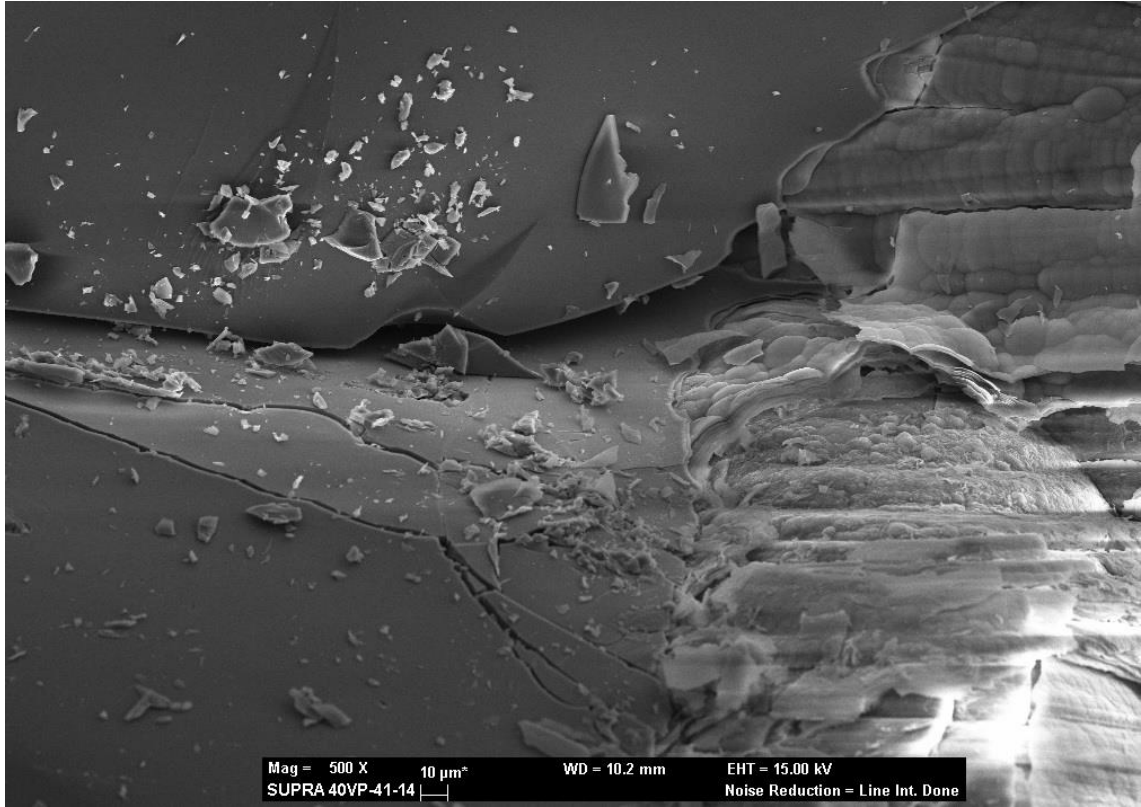
Şekil 6. 20. HC-21b cam örneği SEM görüntüsü.



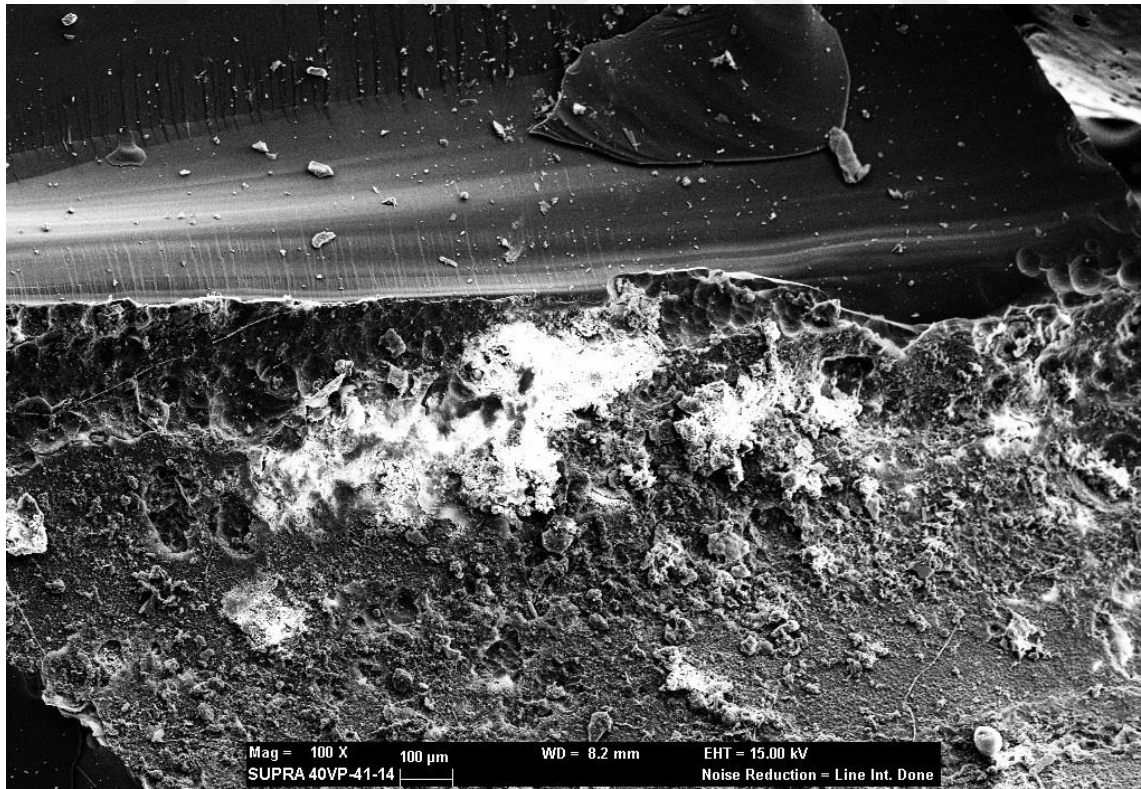
Şekil 6. 21. HC-21c cam örneği SEM görüntüsü.

Cam içerisindeki baloncukların bertaraf edilmesindeki en etkili yollardan biri hiç şüphesiz erimiş cam yığınının sıcaklığını yükseltmek ve böylece viskoziteyi düşürerek sıkışmış gazları hareketlendirmektir. Bu sayede eriyik camın homojenizasyonu da sağlanacaktır. Eski dönem cam üretiminde çok yüksek sıcaklıklara çıkmak ve bu sıcaklıklarda beklemek oldukça zor olduğundan camda yüksek kaliteden bahsetmek hemen mümkün olamamıştır. Çıkılan sıcaklığa paralel olarak, camın çalışma aralığı da oldukça önemlidir. Bu aralıkta camın şekil alacak kadar akışkan ve şeklini koruyacak kadar viskoz olması beklenir. Soda-kireç-silis camlarında çalışma aralığının ortalama 700-900°C olduğu bilinmektedir (Henderson, 2000; Brill, 1999; Beşer, 2009; Goffer, 2007).

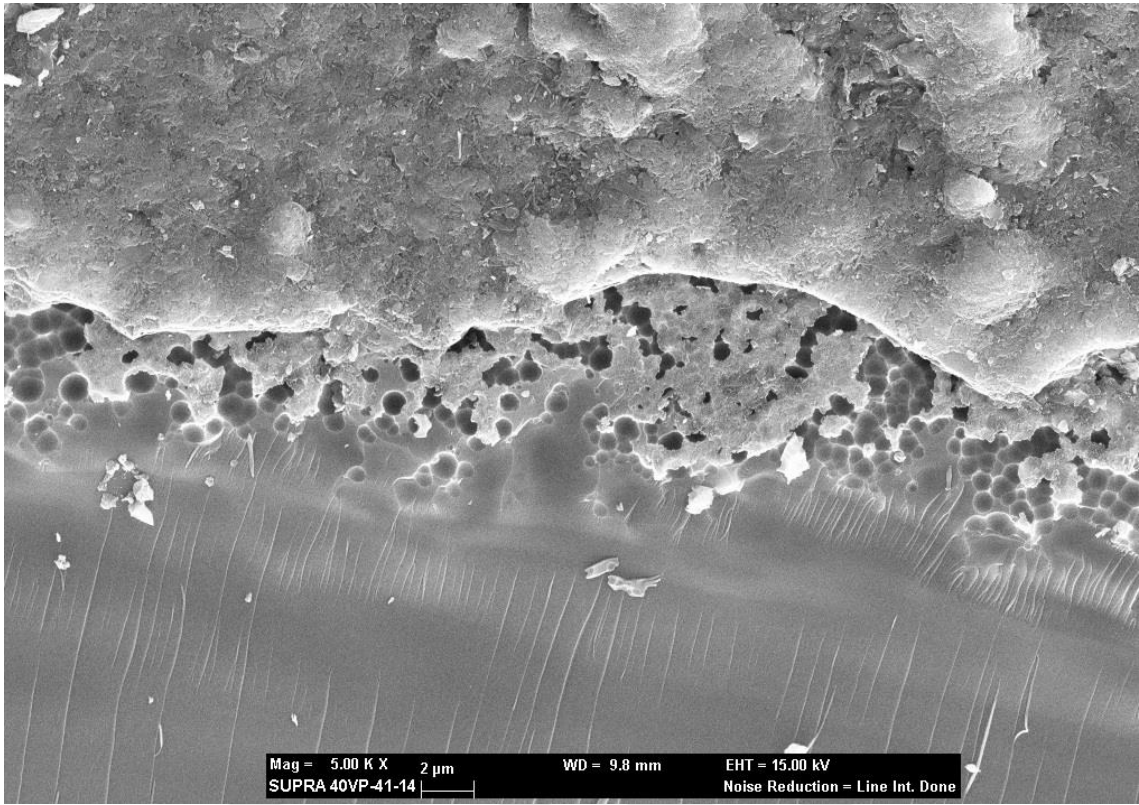
PED-XRF ve EDX verilerine göre soda-kireç-silis camı olduğu düşünülen mevcut çalışmadaki camların çalışma aralığının 700-900°C olduğu öngörülebilir. Camların SEM görüntülerindeki dairesel boşluklar hava kabarcıklarına işaret etmektedir. Literatürdeki çalışmalara göre bu porlar büyük olasılıkla yetersiz ergitme sıcaklığına bağlı olarak oluşmuş olabilir. Diğer taraftan, cam hamurundaki tanelerin boyut ve dağılımları da baloncuk oluşumun etki etmiş olabilir. Örneklerdeki yüksek SiO₂ içeriğinin silikadan kaynaklandığı ve buna bağlı olarak yaklaşık 1700°C’de eriyen silikanın ergimesini kolaylaştıracak alkali ve toprak alkalilerin ilavesi ile ergime sıcaklığının oldukça aşağılara çekilmesi ile birlikte çalışmadaki camlar düşük derecelerde ergitilmiş olmalıdır. Ancak böyle bir durumda, silika taneciklerinin cam eriyik içerisinde homojen bir dağılım göstermesi pek olası gözükmemektedir. Bu duruma bağlı olarak mikro yapıyı yansıtan SEM görüntülerinde bazı camlar için görülen heterojen dağılıma sahip bazı bünyeler Şekil 6.22-6.25’te verilmiştir. Ayrıca, tüm camlar için yüksek büyütmelelerde çekilen SEM görüntüleri EK-3’de sunulmuştur.



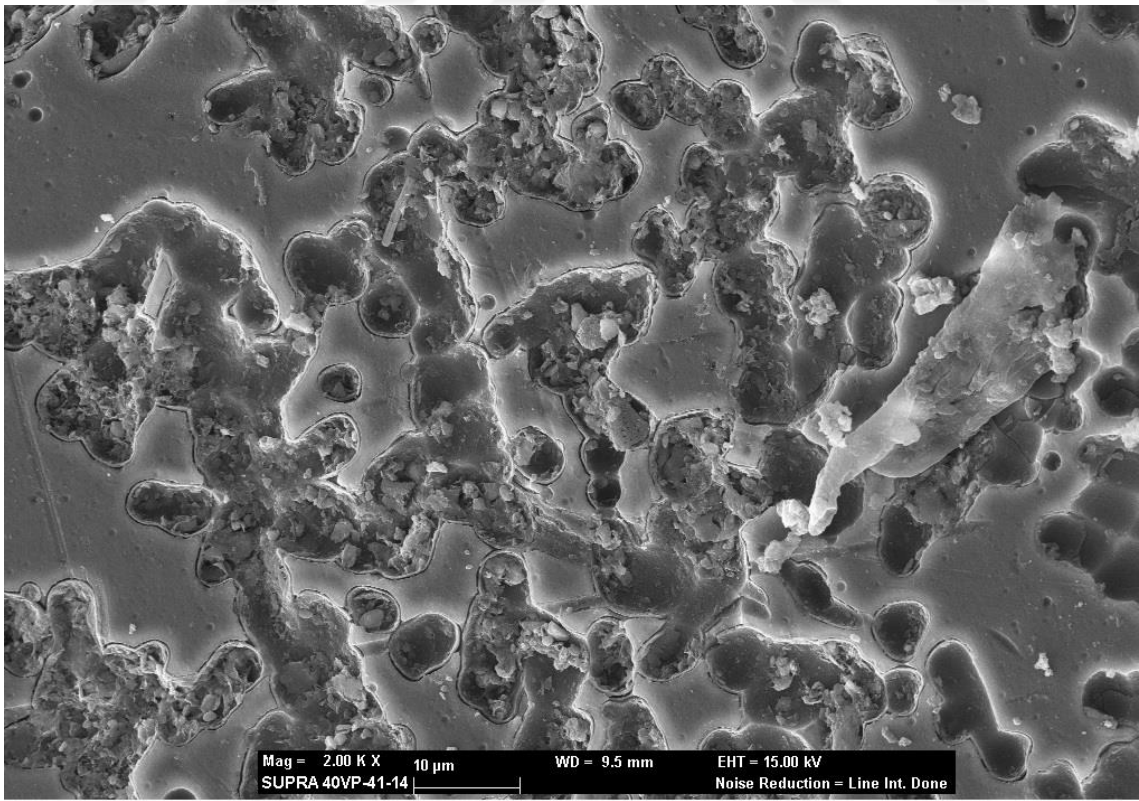
Şekil 6. 22. HC-5a cam örneği SEM görüntüsü.



Şekil 6. 23. HC-10b cam örneği SEM görüntüsü.

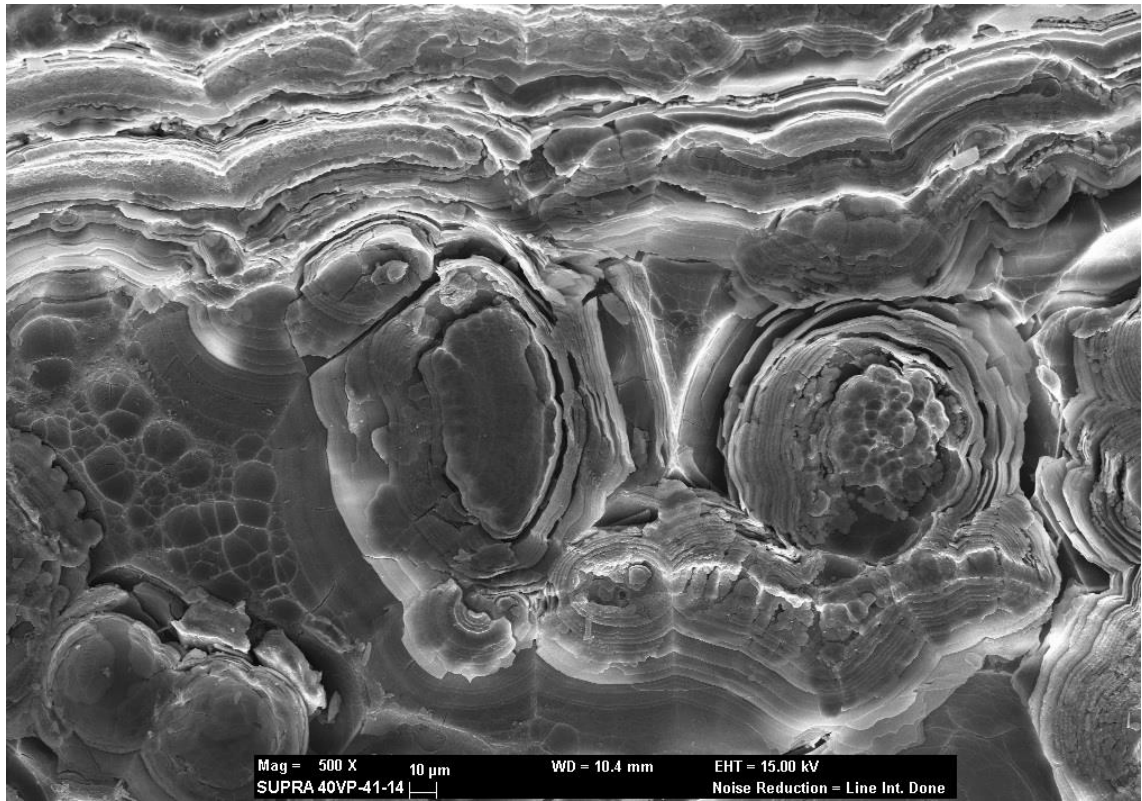


Şekil 6. 24. HC-11c cam örneği SEM görüntüsü.

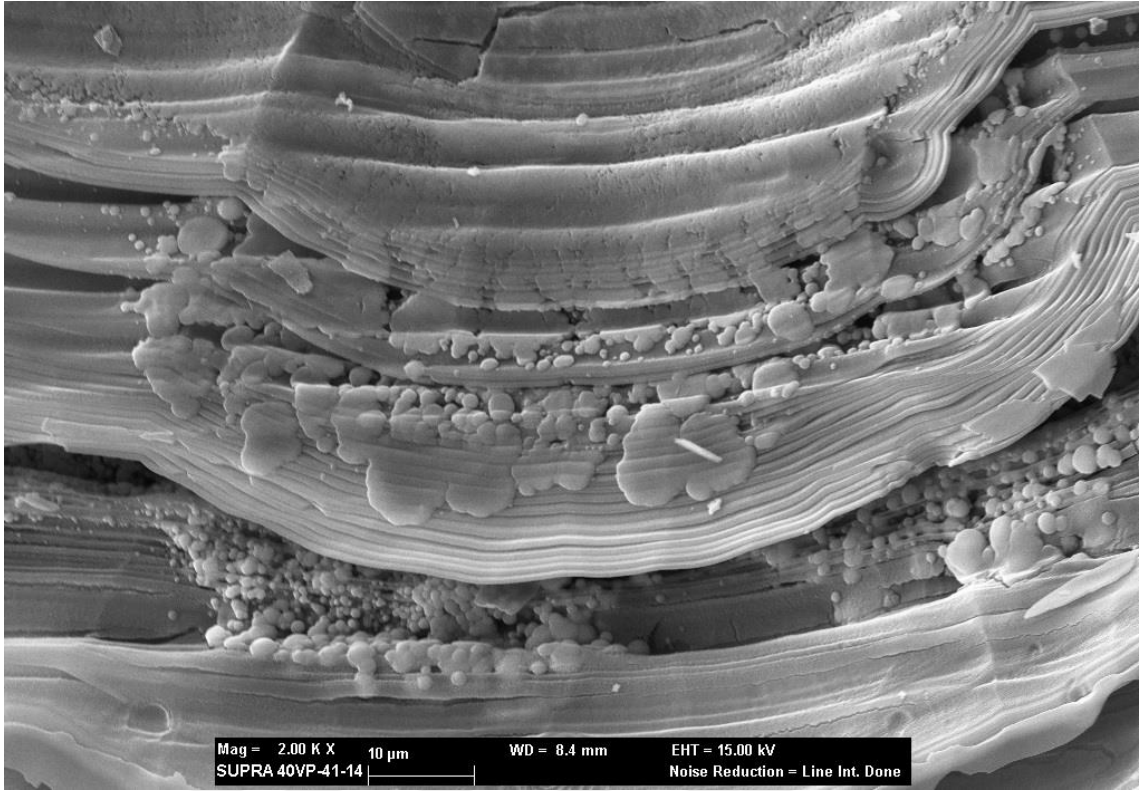


Şekil 6. 25. HC-15e cam örneği SEM görüntüsü.

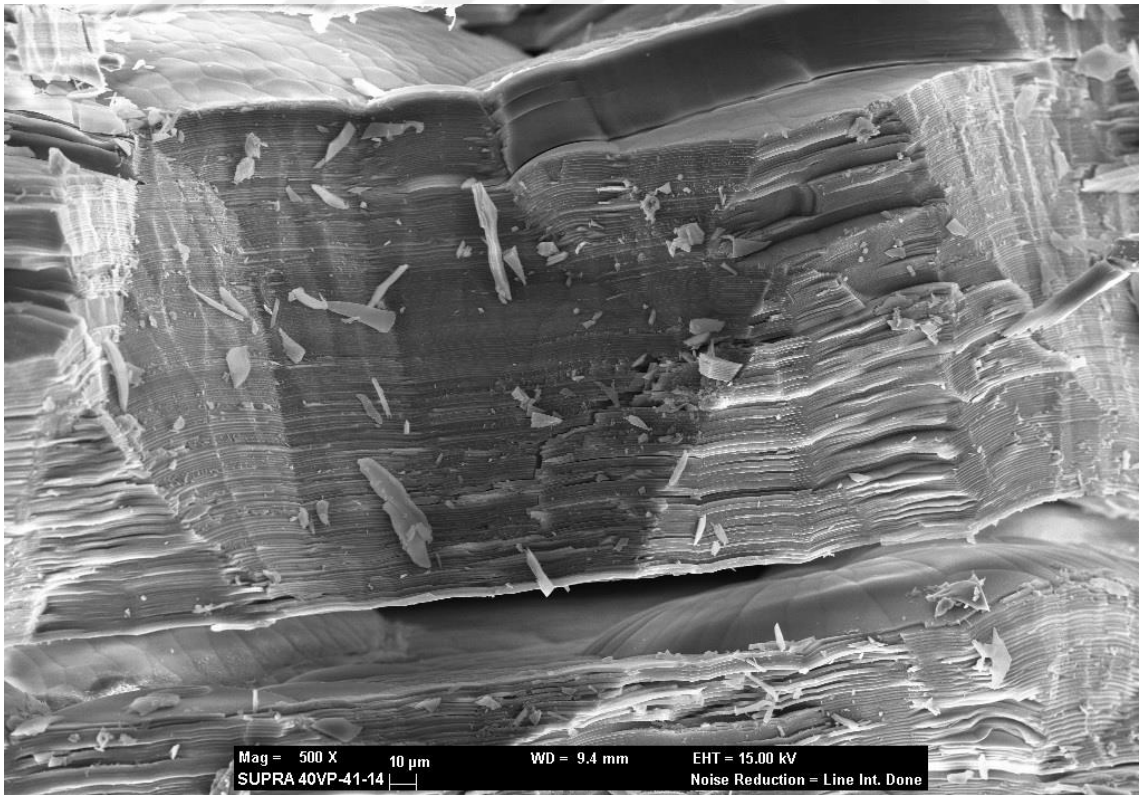
Bazı SEM görüntülerinde (Şekil 6.26-6.28) tabakalar halinde birikmiş şekilde gözlemlenen yapının kalıba döküm veya kalıba üfleme tekniğinin icrası sırasında fazla camın (kimi zaman kirliliklerle beraber birikerek) oluşturduğu katmanlar olarak değerlendirilebilir. Silindir üfleme tekniğinde bu tip yapılar mikroskobik görüntülerdeki uzunlamasına baloncuklar ile ayırt edilebilmektedir (Beşer, 2009). Ancak, mevcut çalışmada uzunlamasına baloncuklara rastlanılmamış olup, yalnızca dairesel baloncuklar gözlemlenmiştir. Bu durum şekillendirmede silindir üfleme tekniğinin kullanılmış olma olasılığını oldukça düşürmektedir.



Şekil 6. 26. HC-8 SEM görüntüsü.



Şekil 6. 27. HC-16a SEM görüntüsü.



Şekil 6. 28. HC-17 SEM görüntüsü.

6.3. Portatif XRF Sonuçları

Çalışmada camlar için alternatif olarak değerlendirilebilecek portatif XRF tekniği yeterli boyuttaki örnekler için uygulanmıştır. Kullanılan portatif XRF cihazında sodyum taranmadığı için camın soda içeriği ile ilgili bir değerlendirme yapılmamıştır. Camlar için Alloy Plus ve Geochem modlarında yapılan p-XRF analizlerinde elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 6.19-6.23 ve Çizelge 6.24-6.28’de verilmiştir. Buna göre, camlarda belirgin olarak yüksek oranda Si saptanmış ve değişen oranlarda Al, Ca ve K silisyumdan sonra gelen başlıca elementler olmuştur. Az veya iz miktarlarda Fe, Mn, Ti, Cu, As, Sr, Zr, Pb, S, ve P camlarda rastlanan diğer elementlerdir. Çok çok düşük miktarlarda veya sadece bir ya da birkaç numunede görülen elementler Zn, As, Nb, Mo, Sn, Sb, W, Bi, Au, Se, Br, Rb, Y, Th ve U’dur.

Çizelge 6. 19. Camların p-XRF analiz sonuçları (alloy plus modu) (HC-1/ HC-5b).

Element	HC-1	HC-2a	HC-2b	HC-3	HC-4a	HC-4b	HC-5a	HC-5b
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	7,8	5,13	5,53	3,13	3,4	5,66	4,86	6,53
Si	82,92	84,61	86,28	84,45	87,65	86,74	81	89,91
P	1,05	0,42	-	1,05	0,66	-	1,25	2,53
S	1,04	0,72	0,73	2,29	-	0,83	2,29	62,34
Ti	1,48	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,27	5,3	5,02	5,91	5,05	15,49	1,52	6,34
Fe	6,12	3,31	2,83	2,9	2,77	8,36	3,28	3,34
Cu	0,1592	-	-	-	-	-	0,4443	0,2649
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-	-	-	-	-	-
Zr	0,5874	0,1024	0,1217	0,1107	0,0959	0,3425	0,2861	0,1042
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0,0745	0,3166	0,2552	0,1589	0,8087	1,47	0,2207	0, 0884

* (-) : not detected (taranmadı veya tarama limitinin altında).

Çizelge 6. 20. Camların p-XRF analiz sonuçları (alloy plus modu) (HC-5c/HC-10b).

Element	HC-5c	HC-6	HC-7	HC-8	HC-9a	HC-9b	HC-10a	HC-10b
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	8,05	13,87	15,53	2,31	12,25	5,87	5,2	10,69
Si	84,22	69,07	75,83	83,05	84,53	73,06	87,93	72,3
P	1,07	2,28	1,45	0,98	6,85	1,69	ND	1,34
S	1,77	3,8	2,53	22,11	12,01	12,38	1,8	8,16
Ti	2,29	-	1,16	-	-	-	-	-
Mn	2,42	0,27	0,19	4,49	0,83	5,4	30,83	22,54
Fe	8,4	4,24	10,31	6,71	11,3	7,63	5,67	5,68
Cu	-	-	-	-	0,3	4,07	ND	10,05
Zn	-	-	-	2,40	2,00	2,03	1,96	3,95
As	-	-	-	-	0,3882	-	-	0,3252
Zr	0,3048	0,2618	0,4148	0,3453	0,0749	0,1912	0,1313	0,1553
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0,0744	0,1461	-	0,69	1,45	-	0,1111	0, 59

Çizelge 6. 21. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-11a/ HC-13c).

Element	HC-11a	HC-11b	HC-11c	HC-12a	HC-12b	HC-13a	HC-13b	HC-13c
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	12,08	13,51	13,55	12,14	10,96	4,8	7,49	7,92
Si	67,04	82,94	68,69	78,42	65,5	86,78	74,99	84,84
P	0,42	1,42	0,9	0,63	1,6	1,29	-	2,37
S	1,94	5,56	2,45	2,2	-	5,97	7,3	-
Ti	-	3,4	0,91	-	-	2,15	-	-
Mn	0,26	0,25	0,22	9,13	-	1,43	-	-
Fe	6,08	7,37	8,05	6,16	31,32	5,78	9,78	4,07
Cu	11,15	0,1455	8,75	-	3,12	-	-	0,69
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-	-	-	-	-	-
Zr	0,2276	0,4672	0,1825	0,1898	1,01	0,1801	0,0094	0,126
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	1,32	-	0,82	-	5,02	-	0,1677	-
Pb	0,59	-	0,4596	0,89	22,64	-	1,11	9,23

Çizelge 6. 22. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-14a/ HC-16a).

Element	HC-14a	HC-14b	HC-15a	HC-15b	HC-15c	HC-15d	HC-15e	HC-16a
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	5,4	8,34	13,31	16,01	3,82	9,79	4	2,86
Si	87,08	82,27	75,53	62,42	83,09	61,1	73,75	82,19
P	4,41	1	0,49	0,49	0,67	2,68	0,55	0,47
S	14,77	2,89	4,7	0,86	-	11,75	-	4,23
Ti	-	-	1,63	0,78	-	4,58	-	-
Mn	5,45	4,3	0,34	0,62	4,72	1,46	4,48	7,24
Fe	4,97	2,58	9,05	16,96	3,05	8,16	14,54	2,67
Cu	-	0,2274	0,2443	1,81	0,93	-	0,57	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-	-	-	0,3337	-	-
Zr	0,1563	0,0771	0,1862	0,2199	0,1901	1,1763	0,1146	0,0955
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0,46	0,3818	ND	0,2992	4,79	0,1127	3,43	0, 2281

Çizelge 6. 23. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-16b /HC-20a).

Element	HC-16b	HC-17	HC-18a	HC-18b	HC-18c	HC-19a	HC-19b	HC-20a
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	8,68	8,37	9,61	3	10,04	4,63	13,07	13,72
Si	88,71	84,51	66,84	75,14	56,87	84,77	81,87	75,29
P	1,22	-	1,14	0,95	7,12	0,63	1,13	0,27
S	0,83	-	-	-	-	-	0,79	1,95
Ti	-	-	-	-	-	-	-	0,97
Mn	6	16,12	5,53	-	0,3	-	5,08	0,45
Fe	3,69	15,19	3,28	1,51	5,08	16,2	2,95	8,51
Cu	-	-	-	-	9,57	0,134	-	0,3128
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-	-	-	1,57	-	-
Zr	0,1456	0,0758	0,0984	0,384	0,1793	0,265	0,0543	0,2056
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0,98	0,1945	0,3183	19,32	21,46	8,46	0,3503	-

Çizelge 6. 24. Camların p-XRF sonuçları (alloy plus modu) (HC-20b/ HC21b).

Element	HC-20b	HC-20c	HC-21a	HC-21b
Mg	-	-	-	-
Al	13,72	6,24	15,11	10,59
Si	72,41	74,53	76,07	58,32
P	0,47	0,6	-	2,26
S	2,51	3,15	-	6,54
Ti	1,2	2,17	-	1,65
Mn	0,45	0,83	-	2,32
Fe	8,51	3,22	3,48	16,77
Cu	0,5297	7,44	5,06	0,1131
Zn	-	-	-	-
As	-	-	-	-
Zr	0,1868	-	0,2723	0,1224
Pb	-	0,7541	-	0,89

Çizelge 6. 25. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-1/ HC-5b).

Element	HC-1	HC-2a	HC-2b	HC-3	HC-4a	HC-4b	HC-5a	HC-5b
Mg	2,88	-	-	1,89	-	-	1,85	1,64
Al	3,57	1,46	2,32	1,68	1,93	2,53	4,25	2,71
Si	31,45	36,29	39,2	37,06	37,4	37,78	34,75	37,43
P	0,27	0,0613	-	0,0652	0,0425	0,1355	0,1406	0,0512
S	0,042	0,8612	0,98	0,1076	0,0218	0,154	0,7762	-
Ti	0,2685	-	0,0681	0,0436	0,0436	0,0572	0,1088	0,0528
Mn	0,0458	0,7348	0,6966	0,853	0,7788	0,9328	0,2272	0,8061
Fe	2,2047	0,4018	0,4327	0,4182	0,4155	0,6	0,5021	0,5007
Cu	0,2241	0,0059	0,0047	0,0096	0,008	0,0101	0,0671	0,0244
Zn	0,0045	0,0031	0,0034	0,0036	0,0033	0,0034	0,0045	0,0041
As	0,0026	-	-	-	-	0,0134	0,0002	-
Zr	0,0612	0,0032	0,0036	0,0045	0,0037	0,0048	0,0369	0,0037
Nb	0,0014	-	-	-	-	-	-	-
Mo	-	0,0017	0,0024	0,0013	0,0012	0,0012	0,0012	-
Sn	-	-	0,0006	-	-	-	0,0061	-
Pb	0,0062	0,0266	0,0205	0,0829	0,027	0,0284	0,0084	0,0116
Bi	0,0014	-	0,0013	-	-	-	-	-
Le	55,09	57,92	48,97	48,02	54,15	49,73	53,32	60,62
K	3,36	1,64	1,4963	1,7343	1,4166	1,3452	3,7117	1,2849
Ca	4,86	6,6196	6,6967	8,0069	7,0674	7,0574	4,8224	6,2983
Br	0,0002	0,0011	0,0012	0,0013	0,0013	0,0007	0,0006	0,0009
Rb	0,0043	0,0007	0,0005	0,0007	0,005	-	0,0025	0,0008
Sr	0,537	0,0546	0,054	0,0576	0,568	0,0506	0,0465	0,0491
Y	0,0019	0,0007	0,001	0,0011	0,009	0,0007	0,0008	0,0012

Çizelge 6. 26. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-5c/HC-10b).

Element	HC-5c	HC-6	HC-7	HC-8	HC-9a	HC-9b	HC-10a	HC-10b
Mg	1,64	8,87	2,16	-	-	1,29	-	1,11
Al	2,71	2,32	4,52	0,87	0,72	1,54	2,62	5,17
Si	37,43	29,8	32,47	28,33	37,37	26,28	19,23	29,11
P	0,0512	0,0414	0,0967	0,0902	0,4118	0,2178	0,1738	0,0348
S	-	0,0616	0,1976	1,7228	0,2105	0,4516	0,7184	0,0532
Ti	0,0528	0,308	0,2497	0,0558	0,1018	0,1393	0,1433	0,1534
Mn	0,8061	0,3247	0,37	0,3871	0,0414	1,0556	4,9265	3,4392
Fe	0,5007	1,22	1,367	0,3876	0,8999	1,3385	1,179	0,9329
Cu	0,0244	0,0277	0,0053	0,0027	0,0041	0,4819	0,0126	0,016
Zn	0,0041	0,0056	0,0034	0,0032	0,0037	0,0085	0,0096	0,0062
As	-	0,0038	0,0021	-	0,0544	0,012	0,0048	0,0204
Zr	0,0037	0,0388	0,0364	0,0127	0,002	0,0051	0,0057	0,0046
Nb	-	-	-	-	0,0013	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	0,001	-
Pb	0,0017	0,0228	0,0035	-	0,0113	0,0702	-	0,0042
Bi	-	-	0,0013	0,0015	-	0,0014	-	0,0015
Le	52,81	51,38	50,76	50,67	53,22	57,39	48,88	55,04
K	1,4763	1,7013	2,0712	0,0739	0,3166	0,3594	1,7222	1,5897
Ca	2,149	4,941	5,9332	10,1045	7,414	9,3	7,018	3,2374
Br	0,0005	0,0012	0,0007	0,0007	0,0003	0,0004	0,0013	0,0002
Rb	0,0016	0,0036	0,0035	0,0008	0,0006	0,0018	0,0006	0,0008
Sr	0,0507	0,0825	0,0749	0,0636	0,0417	0,0526	0,0621	0,0693
Y	0,0005	0,0018	0,0014	0,0006	0,0006	0,0006	0,0009	0,0011

Çizelge 6. 27. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-11a/ HC-13c).

Element	HC-11a	HC-11b	HC-11c	HC-12a	HC-12b	HC-13a	HC-13b	HC-13c
Mg	1,74	84,59	2,1	1,2	-	1,94	-	-
Al	4,67	1,98	3,96	2,22	3,92	1,73	3,85	0,081
Si	32,93	18,96	31,75	36,54	19,76	38,65	38,52	27,51
P	0,051	0,1224	0,0722	0,0793	-	0,2188	0,2973	0,24
S	0,1848	0,1885	0,2855	0,0474	-	0,7071	5,19	0,2364
Ti	0,1738	0,2326	0,1572	0,038	0,1786	0,1872	-	0,0528
Mn	0,0518	0,0378	0,0416	0,8626	0,0464	0,0776	0,0914	0,0331
Fe	1,3661	1,362	1,4039	0,5117	2,2262	0,4404	5,54	0,7458
Cu	1,6028	0,0071	1,666	0,0085	0,0108	0,0021	0,002	0,0029
Zn	0,0071	0,0029	0,0082	0,003	0,0018	0,0022	0,0057	0,0178
As	-	0,0009	0,0047	0,0141	0,0115	-	0,0159	-
Zr	0,0209	0,0357	0,0202	0,0039	0,0205	0,0136	0,0045	0,0045
Nb	0,0813	-	-	0,0013	-	0,001	-	0,019
Mo	-	-	-	0,0016	-	0,0009	-	0,0013
Pb	0,064	0,001	0,0477	0,0828	0,0774	0,0014	0,0394	9,37
Bi	0,0014	0,0013	-	-	-	-	0,0128	-
Le	50,73	57,49	49,86	49,1	68,22	51,09	43,61	58,48
K	2,3152	1,0043	2,3558	1,5923	-	2,1971	1,1328	1,8112
Ca	3,8343	14,03	6,0945	7,6372	5,45	3,6929	7,11	9,99
Br	0,0004	0,0002	0,0004	0,0011	0,0001	0,0004	0,0009	0,0004
Rb	0,0003	0,0029	0,0003	0,0009	0,0014	0,0002	0,0013	0,0008
Sr	0,0363	0,0032	0,0369	0,0571	0,0508	0,0532	0,0693	0,0402
Y	0,0018	0,0008	0,0011	0,0011	-	0,0013	-	0,0013

Çizelge 6. 28. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-14a/HC-16a).

Element	HC-14a	HC-14b	HC-15a	HC-15b	HC-15c	HC-15d	HC-15e	HC-16a
Mg	1,18	1,16	1,04	1,69	2,05	-	2,26	1,86
Al	2,31	2,27	5,16	4,45	1,22	0,99	0,94	1,43
Si	32,63	32,54	34,34	27,56	29,77	9,13	35,72	36,18
P	0,2647	0,0469	0,0574	0,082	0,0724	0,2527	0,0961	0,0907
S	0,7332	0,2651	0,0922	0,4639	0,3602	0,815	0,212	0,0418
Ti	0,0805	0,0476	0,2024	0,1206	0,0477	0,1583	-	0,0582
Mn	0,7212	0,711	0,04	0,103	0,8318	0,084	0,7172	1,105
Fe	0,3923	0,4611	1,6644	1,3866	0,5664	0,5685	0,5065	0,4169
Cu	0,0066	0,0171	0,0436	0,261	0,0903	0,004	0,0963	0,0062
Zn	0,0037	0,0043	0,0025	0,0027	0,0054	0,0021	0,0035	0,0042
As	-	-	0,0007	0,0093	-	0,0143	-	0,0031
Zr	0,0036	0,0031	0,0258	0,02	0,0049	0,0553	0,0053	0,003
Nb	-	-	0,0013	-	-	0,0012	-	-
Mo	0,0012	0,0009	-	-	0,0016	-	-	0,0012
Pb	0,021	0,0299	0,0013	0,0258	0,3207	0,0059	0,3102	0,016
Bi	-	0,0017	-	-	-	-	-	0,002
Le	0,5541	52,58	52,28	54,78	55,03	70,07	48,52	49,21
K	1,4999	2,2524	3,9668	1,2677	1,887	0,4712	2,3729	1,7362
Ca	6,935	7,6	1,1827	7,7152	7,7	19,88	8,1691	7,8304
Br	0,0012	0,0011	0,0004	0,0005	0,0015	-	0,0013	0,0012
Rb	0,0008	0,0007	0,0036	0,0029	0,0015	0,0019	0,0014	0,0005
Sr	0,0549	0,0577	0,0136	0,0354	0,0553	0,0466	0,0549	0,0562
Y	0,0007	0,0006	0,0021	0,0012	0,0023	0,0014	0,0019	0,0007

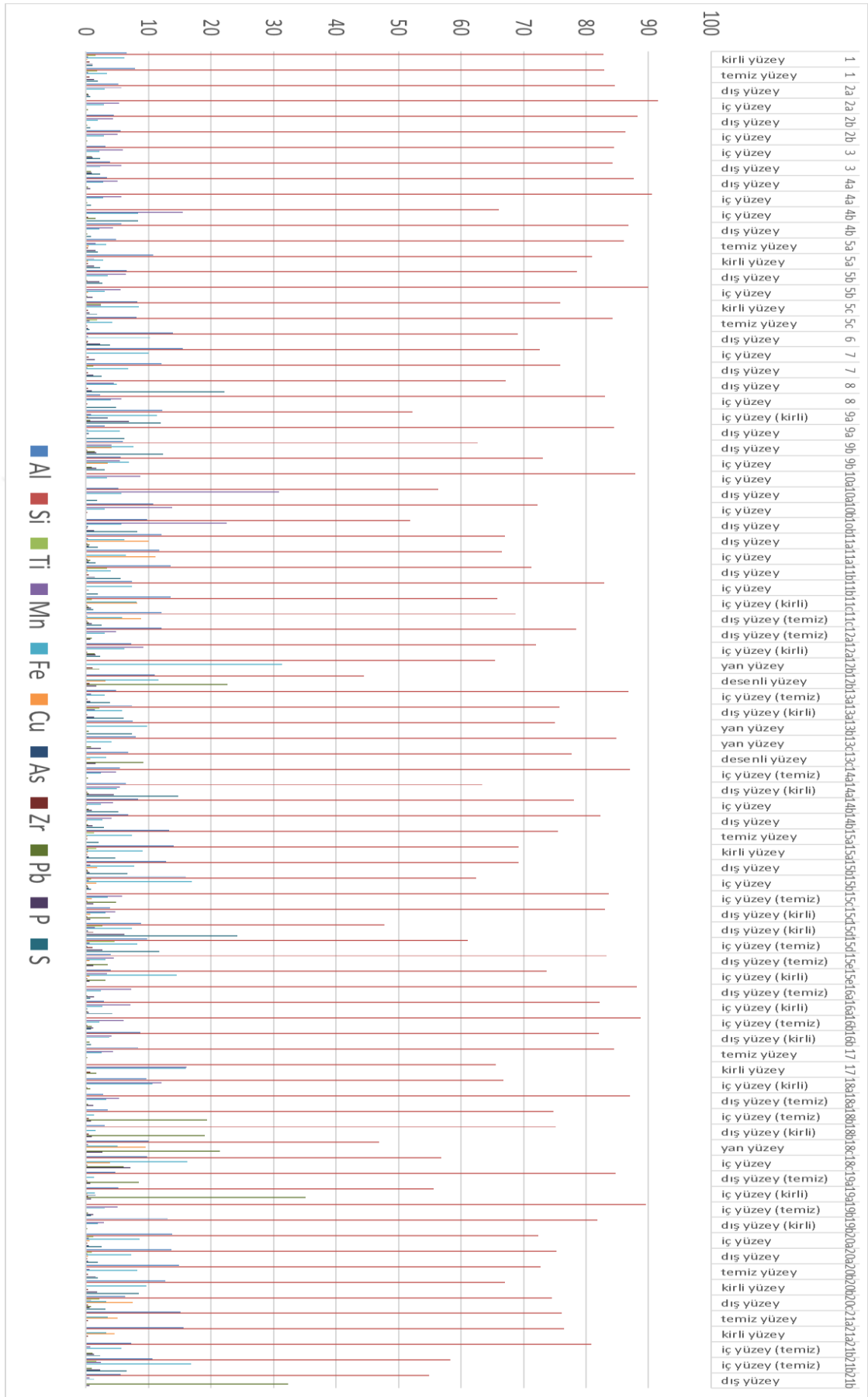
Çizelge 6. 29. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-16b/ HC-20a).

Element	HC-16b	HC-17	HC-18a	HC-18b	HC-18c	HC-19a	HC-19b	HC-20a
Mg	-	1,69	2,12	1,75	-	2,36	2,07	0,99
Al	2,13	1,79	2,45	0,76	3,66	1,21	0,77	5,61
Si	33,92	37,08	21,25	31,03	24,52	40,02	36,96	36,61
P	0,0549	0,0739	0,05	0,086	0,6072	0,0505	0,11	-
S	0,0576	0,2098	0,1619	0,7032	1,3222	0,5816	0,0273	0,1015
Ti	0,0499	-	0,0976	0,0507	0,1625	-	-	0,2069
Mn	0,873	0,8173	1,3382	0,0151	0,0283	0,0107	0,7437	0,0419
Fe	0,4355	0,4782	1,1035	0,2538	1,5325	0,2734	0,3939	1,686
Cu	0,0089	0,004	0,0069	0,0093	0,6207	0,0072	0,0026	0,0688
Zn	0,0046	0,0031	0,0035	0,003	0,0057	0,0039	0,0037	0,003
As	0,038	-	0,0023	-	0,0516	-	-	-
Zr	0,0046	0,0044	0,0041	0,0192	0,0045	0,0112	0,0034	0,0265
Nb	-	-	-	-	-	-	-	0,001
Mo	-	0,0011	0,0009	0,0013	0,0011	0,001	-	-
Pb	0,08	0,0281	0,0319	1,6889	0,6312	0,964	0,0285	0,0017
Bi	0,0033	-	-	-	-	-	-	0,0013
Le	53,14	50,71	57,13	55,54	62,5	43,84	49,33	50,95
K	1,6106	1,7368	0,0294	2,0756	1,2538	1,9588	1,764	2,4639
Ca	7,5712	8,27	13,89	7,71	2,879	8,6	7,734	1,2317
Br	0,0013	0,0012	0,001	0,0009	-	0,0012	0,0012	0,0004
Rb	-	0,0011	0,001	-	0,0018	-	0,0001	0,0037
Sr	0,0573	0,0572	0,0554	0,0438	0,0404	0,0643	0,0508	0,0138
Y	0,0009	0,0009	0,001	-	-	0,0036	0,0009	0,0018

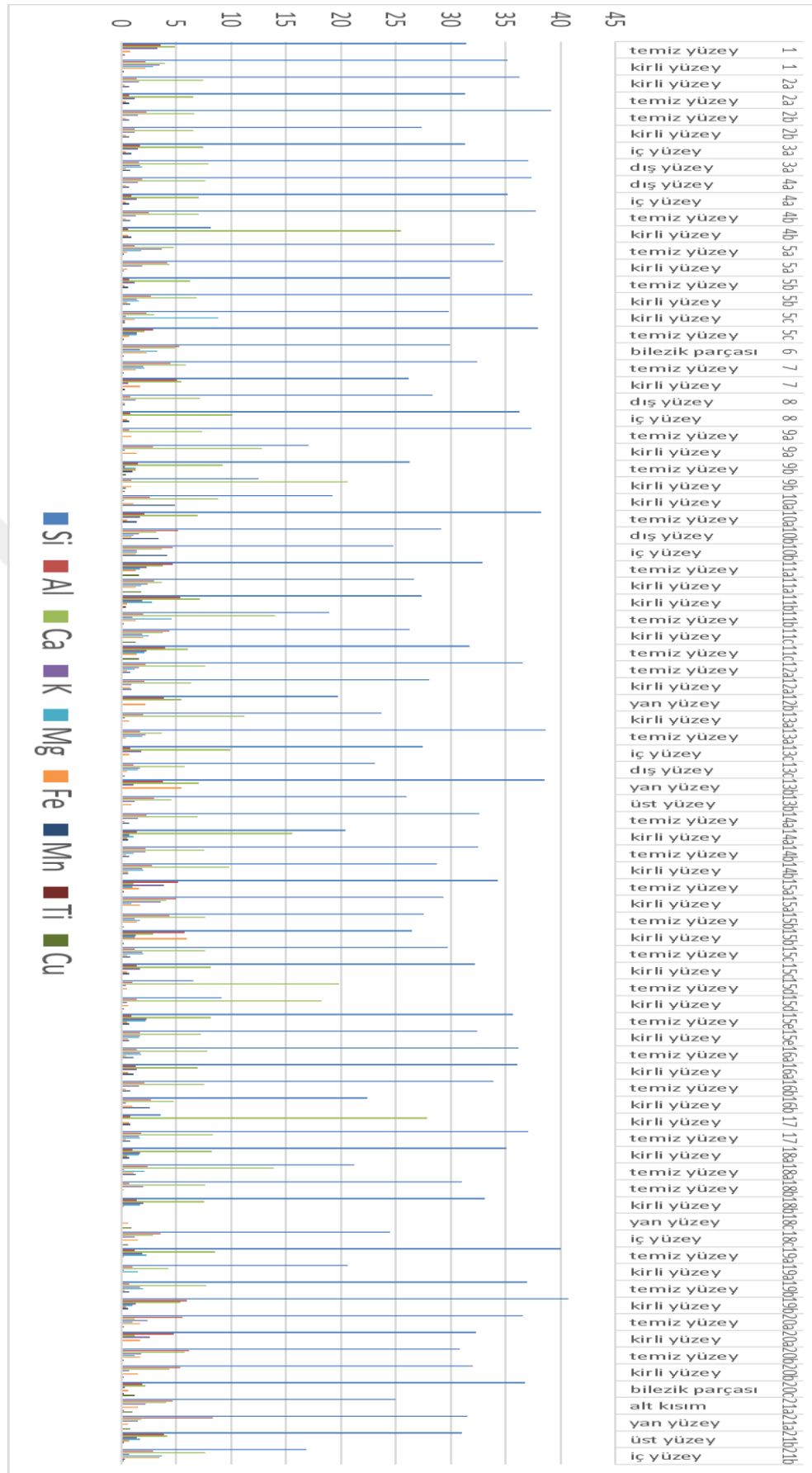
Çizelge 6. 30. Camların p-XRF sonuçları (Geochem modu) (HC-20b/HC-21b).

Element	HC-20b	HC-20c	HC-21a	HC-21b
Mg	1,23	-	-	3,72
Al	6,2	0,88	4,75	2,95
Si	30,84	4,2206	24,86	16,9
P	0,2004	-	0,2358	0,3698
S	0,0768	-	0,1409	0,7138
Ti	0,2604	0,0851	0,2819	0,2161
Mn	0,0645	0,0255	0,02	0,3512
Fe	1,6871	0,8113	1,4862	3,5371
Cu	0,0087	-	1,0215	0,0324
Zn	0,0035	0,0027	0,0064	0,0063
As	0,0009	-	0,0064	0,016
Zr	0,0273	0,0018	0,0327	0,0064
Nb	-	-	-	-
Mo	-	-	-	0,0013
Pb	0,002	-	0,0094	0,0816
Bi	-	-	-	-
Le	51,67	54,12	60,67	62,51
K	1,812	0,1508	2,2596	0,7853
Ca	5,8215	39,63	4,0748	7,69
Br	0,0008	-	0,0017	0,0004
Rb	0,0057	0,0009	0,0029	0,0011
Sr	0,0788	0,079	0,0381	0,0412
Y	0,0019	0,0007	0,0009	0,0412

Cihazın Alloy Plus ve Geochem modlarında camların temiz/kirli veya iç/dış yüzeyleri için ayrı ayrı uygulanan XRF taramaları sırasıyla Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da verilmiştir. Cam yüzeyindeki kirlilik, safsızlık seviyesinin ve tarama alanı yönünün (iç, dış yüzey) X-ışını taramasında değişikliklere neden olduğu saptanmıştır. Değişimlerin nedeni cam yüzeyini kaplayan safsızlık tabakası ve/veya camın heterojen yapısı olabilir. Bu bağlamda, analizler öncesi numunelerin temizlenmesi önem arz etmektedir. Diğer taraftan, ilerleyen dönemlerde bozunma nedenleri üzerine yapılacak araştırmalarda cam numunelerin temizleme, zımparalama, asitle muamele gibi ek işlemler olmadan, belki sadece saf su ile yüzeysel bir arındırmadan sonra ya da olduğu haliyle karakterize edilmesi daha sağlıklı ve belirleyici veriler sunacaktır.



Şekil 6. 29. Alloy Plus modu p-XRF analizinde taranma alanına göre bazı elementlerin dağılımı.



Şekil 6. 30. Geochem modu p-XRF analizinde taranma alanına göre bazı elementlerin dağılımı.

7. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada, Hasankeyf (Batman) 2017 arkeolojik kazılarında Büyük Saray'da ele geçen bazı cam buluntular farklı yöntemlerle arkeometrik bir yaklaşımla karakterize edilmiştir. Bu amaçla PED-XRF, portatif XRF ve SEM-EDX teknikleri kullanılmıştır. Camların kimyasal kompozisyonlarında PED-XRF, mikro yapısal ve mikro kimyasal içeriklerinde SEM-EDX ve son olarak da yerinde analiz olanağı sağlayan, numunenin farklı yönlerini kısa sürede tarayabilen tamamlayıcı bir teknik olarak portatif XRF analizindeki veriler dikkate alınmıştır. Ulaşılan sonuçlarda her üç teknikte de kimyasal kompozisyon belirlense dahi, yorumlanma süreçleri farklılık göstermiştir. Çalışma prensipleri açısından değişiklikler gösteren bu tekniklerin cam arkeometrisindeki kullanım yaklaşımları bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Üç farklı teknikle ulaşılan cam kompozisyonlarının karşılaştırılabilmesi için tüm sonuçlar tek bir çizelge şeklinde EK-4'te sunulmuştur.

PED-XRF, SEM-EDX ve portatif XRF analizleri ile camların kimyasal kompozisyonuna bakıldığında her üç tekniğin sonuçları arasında oransal dağılım olarak büyük farklılıklar görülmemiştir. P-XRF analizi ile sodyum (Na) ölçülemediğinden, numunelerin soda içerikli cam olup olmadığı bu teknikle değerlendirilememiştir. SEM-EDX analizi ile bölgesel atış yapılarak analiz yapıldığından EDX sonuçlarında kimi zaman sapmalar meydana gelebilmektedir. PED-XRF analizinde görece homojen toz numune kullanıldığından bu tekniğin cam arkeometrisi için en uygun analiz yöntemi olduğu söylenebilir. Bu çalışmada üç teknik birlikte kullanıldığından dolayı veriler birbirini tamamlamış ve faydalı bilgilere ulaşılmıştır.

Çalışmada incelenen camların PED-XRF analiz sonuçlarına bakıldığında, tüm numunelerde silisyum oksit (SiO_2), sodyum oksit (Na_2O) ve kalsiyum oksit (CaO) bulunması camların soda-kireç-silis cam tipinde olduğunu göstermektedir. SPSS ile yapılan gruplandırma çalışmasında cam numunelerin genel olarak iki grupta toplandığı ve bunların da alt gruplara ayrıldığı tespit edilmiştir. Na_2O , K_2O , CaO , MgO , SiO_2 , ve Al_2O_3 dışındaki oksit içeriklerinin cam numunelerde safsızlık olarak var olduğu düşünülmektedir. Tüm numunelerin içerikleri incelendiğinde HC-10b ve HC-9b örneklerinin tüm örneklerden kimyasal kompozisyon bakımından ayrı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda HC-10b ve HC-9b örnekleri yerel üretime ait olmayabilir veya farklı hammaddeden elde edilmiş olabilir.

Cam hammaddelerindeki mangan-demir ilişkisi bağlamında MnO/Fe_2O_3 oranlarına bakıldığında cam numunelerin iki gruba ayrıldığı görülmektedir. HC-10a, HC-10b ve HC-16a örneklerindeki oran 2'den büyük olduğu için diğer tüm örneklerden belirgin bir şekilde ayrılmaktadır.

Örneklerdeki az ve iz elementler incelendiğinde Fe, Cu, Co, Pb elementlerinin renk oluşumunda etken olduğu saptanmıştır. Renk veren elementlerin başında demir gelmektedir. Örneklerdeki Sr ve Zr içeriklerine bakılarak 17 numunenin denizel, 10 numunenin karasal ve geriye kalan camların denizel ve karasal hammadde içerdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar cam hammaddesi içerisinde Dicle nehri kaynaklı içeriklerin bulunabileceğini akla getirmiştir.

SEM-EDX analizinde EDX ile elde edilen verilerin PED-XRF sonuçları ile paralel olduğu görülmektedir. EDX taramalarında da camlar içerisinde yüksek oranda SiO_2 tespit edilmiştir. SEM görüntülerindeki boşlukların (hava kabarcıkları) çoğunlukla ergitme sıcaklığından kaynaklandığı söylenebilir. Buna bağlı olarak da, ortalama ergitme sıcaklığının yüksek olmadığı ve/veya çalışma aralığının geniş olmadığı öngörülmüştür. Boşlukların bir diğer oluşma sebebi de cam hamurundaki tane boyutu ve tane dağılımı olabilir. SEM görüntülerinde birikmiş halde gözlenen içerikler cam üretiminde kalıba döküm veya kalıba üfleme tekniğinin kullanılması sırasında oluşmuş olabilir. SEM görüntülerindeki bazı tabakalaşma izlerinin kalıplama sırasında fazla camın neden olduğu katmanlardan kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Portatif XRF sonuçları genel olarak diğer analiz sonuçları ile doğru orantılıdır. Tüm analizlerin birbirini desteklediği görülmektedir. Camların geri dönüşüm durumuna bakıldığında, birçok örnekte geri dönüşüm işleminin yapılma ihtimalinin düşük olduğu görülmüştür. Ancak bazı camlarda Cu, Pb, Sb değerleri diğerlerinden ayrılmaktadır ve bu tip örneklerde geri dönüşüm camlarının cam ergitme işlemi sırasında kullanılma ihtimali bulunmaktadır.

Öneriler

- Hasankeyf ve çevresinden alınacak kum örnekleri ile provenans çalışması yapılarak camların üretim yeri hakkında bilgi edinmek literatüre katkı sağlayacaktır.
- Yıllar içerisinde yapılan kazılarda elde edilen cam numuneler arkeometrik yöntemlerle analiz edilerek bu çalışmadaki cam buluntularla karşılaştırılabilir. Böylelikle, daha kapsamlı bilgilere ulaşmak mümkündür.
- P-XRF cihazı numunelerdeki Na (sodyum) oranını vermemektedir. Bu da cam arkeometrisi için dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak mevcut tez çalışmasındaki gibi P-XRF tekniği kendisini tamamlayacak diğer yöntemler ile birlikte kullanıldığı takdirde faydalı ve yönlendirici bilgiler sunabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aksoy U. B., 2006, Archaeometric analysis on the selected samples of glass artifacts recovered in the excavations at Alanya Castle, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi.
- Akyol A. ve Aydın M., 2016, Olba Kazısı Seramik Buluntuları Arkeometrik Analizleri, Seleukia, Sayı 6, 402 – 431.
- Akyol, A. A., Kadioğlu Y.K., 2015, Tekfur Sarayı Cam Buluntuları Arkeometrik Çalışmaları, Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi (13), 27-36.
- Akyol A. A., Kadioğlu Y. K., Özgümüş, Ü., Kanyak, S., 2014, İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi Camları Arkeometrik Analizleri, Turkish Studies, 9/10, 5-17.
- Artel T., 1969, Yapı Malzemesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yayınları, İstanbul.
- Atik, Ş., 2004, MÖ. I. Binde Anadolu’da Cam Üretimi ve Tasarımı, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, M., Güngör, A., 2020, Characterization of Medieval Glass From Cizre Castle Excavation By SEM-EDS and P-EDXRF Analyses, TÜBA-AR Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi, Sayı 26, 149-158.
- Balıkçı, B., 2007, İstanbul Müzeleri’nde Bulunan Bezemeli Dekoratif Cam Eserler (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Bayraktar, H., 2011, Roma Çağı Cam Vazo Formları ve Kullanım Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Başaran, S., 2000, Pişmiş Toprak ve Cam Eserlerin Konservasyon/ Restorasyonu, Graphis Yayınları, İstanbul.
- Beşer, E., 2009, Archaeometrical investigation of some medieval glass samples from Alanya region, Master Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Archaeometry.
- Biek, L. & Bayley, J., 1979, Glass and other vitreous materials. World Archaeology, 11(1), 1-25.
- Birinci A., 2019, Cam Füzyon Şekillendirme Tekniği ve Kişisel Uygulamalar, Sanatta Yeterlilik Sanat Raporu, Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Seramik Anasanat Dalı, Ankara.
- Brill, R.H., 1999, Chemical analyses of early glasses, vols I and II, Corning Museum of Glass, New York.

- Büyüksoy Ç. D., 2020, Enez (Ainos) Kazısı Su Terazisi ve Kral Kızı Bölgelerinde Ele Geçen Camların Bozulmaları Üzerine Arkeometrik Çalışmalar, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
- Charleston, R. J., 1978, Glass Furnaces Through the Ages, *Journal of Glass Studies*, Vol. 20, 9-33.
- Çakmaklı, Ö.D., 2007, Uşak Arkeoloji Müzesinde Korunan Roma Dönemine Ait Cam Eserler, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Çakmakçı, Z., 2012, Kültürlerarası İletişim ve Etkileşim Açısından Ortaçağ Bizans Camcılığına Bakış, *Dokuz Eylül Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 1(2), 107-132.
- Dardeniz, G., 2013, Alalakh: Genç Tunç Çağında Cam Üretimine Ait Bulgular, 28. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, Muğla, 155-166.
- Davison, S., 2003, *Conservation and Restoration of Glass* (2nd ed.), Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Demir A., 2013, Giresun Müzesinde Bulunan Bir Grup Cam Eser, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Doğan C., 2014, Archaeometrical Investigation of Some Glass Samples From Mersin Olba Archaeological, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Eker, F., 2014, Kahramanmaraş Müzesindeki Cam Eserler, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji Bilim Dalı, Erzurum.
- Esin U., 1985, Arkeolojide Kullanılan Arkeometrik Araştırmalara Genel Bir Bakış, 1. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, Ankara, 1-6.
- Foster, H. E., Jackson, C. M., 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(2), 189-204.
- Freestone, I.C., Ponting, M., and Hughes, M. J., 2002, The origin of Byzantine glass from Maroni Petrera, Cyprus, *Archaeometry*, Vol 44, No. 2, 257-272.
- Freestone, I.C., Leslie, K.A., Thirlwall, M. and Gorin-Rosen, Y., 2003, Strontium Isotopes in the Investigation of Early Glass Production: Byzantine and Early Islamic Glass from the Near East, *Archaeometry*, vol. 45(1), 19-32.
- Freestone, I. C., Wolf, S., & Thirlwall, M., 2005, The production of HIMT glass: Elemental and isotopic evidence. *Annales Du 16e Congrès De L'Association Internationale Pour L'Histoire Du Verre* (Corning, New York, 2001), 153-157.

- Genç, D., 2019, Archaeometric investigations of glass from the early Byzantine workshop in Side, Antalya, Master Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.
- Genç D., 2010, Erken Bizans Atölyesi Camlarının Arkeometrik İncelenmesi, 24. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, Antalya, 125-140.
- Geçkinli, E., 1992, İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Basımevi, İstanbul, 288.
- Goffer, Z, 2007, Sand: Glass, Glaze, and Enamel. In Archaeological chemistry, Z. Goffer (Ed.).
- Grossmann, Richard A., 2002, Ancient Glass A Guide to the Yale Collection, Yale University Art Gallery, New Haven.
- Gürçal E., 2015, X-Işınlı Floresans Tekniği İle RAMAN Spektroskopisinin Arkeolojide Kullanımı Ve Gökçeada Uğurlu-Zeytinlik Yerleşmesindeki Malzemeler Üzerinde Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne.
- Henderson, J., 2000, Techniques of Scientific Analysis, The Science and Archaeology of Materials, Taylor&Francis Group, Glasgow, Great Britain, 8-21.
- Henderson, J., 2013, Ancient glass: an interdisciplinary exploration. New York: Cambridge University Press.
- İşık, İ., 2018, Karakterizasyon ve Tarihlendirme Çalışmalarının Arkeometrik Yöntemlerle İncelenmesi, Cedrus, İstanbul, 713-736.
- İsen, Z., 2014, Hasankeyf Şehircilik Tarihi, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tarih Anabilim Dalı, Batman.
- Jackson, C., Foster, H., 2014, The last Roman glass in Britain: Recycling at the periphery of the empire. In Neighbours and Successors of Rome, Eds. Keller, D., Price, J., Jackson, C., Oxford, United Kingdom: Oxbow Books, 6-14.
- Karpuz G. G., 2014, Adıyaman, Elazığ, Hatay, Mardin, Şanlıurfa Müzelerinde Bulunan İslami Dönem Cam Eserler, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi Anabilim Dalı, Erzurum.
- Kılıcı, A., 1987, Hasankeyf Vakıf Eserleri, Vakıf Haftası Dergisi, 5, 159-188.
- Kocabağ D., 2019, Cam Kimyası Özellikleri, Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Küçükerman Ö., 1998, İstanbul'un üç sarayına renkli camın penceresinden bakış: Düz Camın 500 Yılı, Art Dekor, İstanbul, 78-84.
- Küçükerman, Ö., 1985, Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığından Örnekler, Türkiye İş Bankası, Kültür Yayınları, Ankara.

- Küçükerman, Ö., 1978, Cam ve Çağdaş Tasarım İçindeki Yeri, Ali Rıza Başkan Güzel Sanatlar Matbaası A.Ş., İstanbul.
- Memiş E., 2005, Ainos Antik Kenti Cam Buluntularının Teknolojisi, Koruma Ve Onarım Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Miynat A., 2008, Bir Ortaçağ Kenti: Hasankeyf, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tarih Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- Morey, G.,W., 1954, The Properties of Glass, Second Edition, New York, Reinhold, 1-97.
- Newton, R., Davison, S., 1996, Conservation of Glass, London: Butterworths, 1-98.
- Onur, B. A., 2007, Osmanlı İmparatorluğu Cam Sanatı ve Çeşm-i Bülbüller (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Özgümüş, Ü., 2000, Anadolu Camcılığı, Pera Yayıncılık ve Kitapçılık, İstanbul.
- Özgümüş, Ü., 2013, Çağlar Boyu Cam Tasarımı (Ed. Nezih Başgelen), Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- Öztürk, N., 2010, “Çankırı Müzesi'nde Bulunan Erken Roma Dönemi'ne Ait Bir Grup Cam Eser”, Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Dergisi, Erzurum, Sayı 4, 69-84.
- Rehren, T., Freestone, I. C., 2015, Ancient glass: From kaleidoscope to crystal ball. Journal of Archaeological Science, 56, 233-241.
- Shortland, A. J., 2012, Lapis lazuli from the kiln: Glass and glassmaking in the late Bronze Age. Leuven: Leuven University Press.
- Sinanoğlu, D., Siyako, M., Karadoğan, S. ve Erdem, N. Ö. (2017). Kültürel jeoloji açısından Hasankeyf (Batman) yerleşmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 60(1), 35-47.
- Turner, W.E.S., 1956, Studies in ancient glasses and glassmaking processes. Part V. Raw materials and melting processes, Journal of the Society for Glass Technology, 40.
- Tek, A. T., 2005, Antik Dönemde Anadolu'da Cam Üretimi, Seres 2005 III. Uluslararası katılımlı Seramik cam, Emaye, Sır ve Boya Semineri, Türk Seramik Derneği Yayını, Eskişehir, 109-123.
- Wedepohl, K.H., 1995, The composition of the continental crust, Geochimica et Cosmochimica Acta 59/7, 1217-1232.

Yastı, Ş.Y., 2011, Konya Kubad Abad çinilerinin arkeometrik karakterizasyonu ve benzeri çinilerin araştırması, Selçuklu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Konya.

Yazar, T., Aslan, T., 2013, Biçimlerin Temel İlkeleri Bağlamında Simge Olarak Geleneksel Türk Cam Sanatı ve Gelişimi, The Journal of Academic Social Science Studies, 829-854.

Yılmaz G., 2016, Hasankeyf Kazılarında Bulunan Seramik Kandiller, Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi Journal of the Fine Arts Institute (GSED), Sayı/Number 36, Erzurum, 275-288.

Zecchin, L., 1987, Vetro e vetrai di Murano: Studi sulla storia del vetro. Venezia: Arsenale Editrice.

Diğer Kaynaklar:

Batman Müze Müdürlüğü Arşivi, 2018 (Batman Müzesi Fotoğraf ve Kaynak Arşivi).

Hasankeyf Kazı Arşivi, 2017 (Hasankeyf Tarihi ve Arkeolojik Sit Alanı Araştırma, Kazı ve Kurtarma Projesi 2017 Çalışmaları).

Hasankeyf Kazı Arşivi, 2015.

EKLER**EK-1 Camların Renk Analizi Sonuçları.**

Örnek Kodu	L	a	b	Renk	R, G, B
HC-1	41,2622	-13,2294	10,3332	Yeşil	81, 103, 80
HC-2a	58,3424	-10,2631	10,2911	Yeşil	129, 145, 122
HC-2b	49,9096	-7,5004	9,1534	Yeşil	112, 122, 103
HC-3a	62,6939	-9,3920	10,3724	Yeşil	142, 156, 133
HC-3b	64,9362	-9,3382	9,1335	Yeşil	147, 162, 141
HC-3c	35,3029	-7,3268	9,3105	Yeşil	77, 86, 68
HC-4a	69,9504	-6,6750	9,8183	Açık Yeşil	166, 174, 153
HC-4b	44,1011	-0,0070	3,7875	Gri	107, 104, 98
HC-5a	5,2407	-1,1440	0,8169	Siyah	16, 18, 16
HC-5b	53,0466	-3,4231	7,3432	Açık Yeşil	126, 128, 114
HC-5c	45,6682	2,1381	16,9439	Kahverengi	122, 106, 80
HC-6	18,2320	-0,7170	-3,1773	Lacivert	41, 45, 49
HC-7	49,6432	0,4220	-16,0524	Mavi	103, 119, 145
HC-8	54,5949	1,1950	15,5096	Kahverengi	143, 129, 104
HC-9a	52,5474	-8,1811	10,0281	Yeşil	118, 129, 108
HC-9b	49,6376	3,5921	17,8501	Açık Kahverengi	135, 115, 88
HC-10a	24,2253	6,6793	2,5322	Siyah	69, 54, 34
HC-10b	33,8476	2,7189	2,9682	Gri	86, 78, 75
HC-11a	25,7764	-10,8478	-4,8171	Mavi	35, 66, 68
HC-11b	45,3554	-0,6654	11,6511	Kahverengi	114, 107, 88
HC-11c	46,5531	-18,3433	-0,7442	Mavi	71, 119, 111
HC-12a	52,0947	-2,4344	8,3178	Açık Yeşil	126, 125, 110
HC-12b	48,7263	-0,0216	12,3391	Sarı	124, 115, 95

HC-1/HC-12b arasındaki numunelerin renk analiz sonuçları.

* (L: 0/100 Beyaz/Siyah, a: 0/-60 Yeşil, a: 0/60: Kırmızı, b: 0/-60 Mavi, b: 0/60 Sarı, R: kırmızı, G: yeşil, B: mavi).

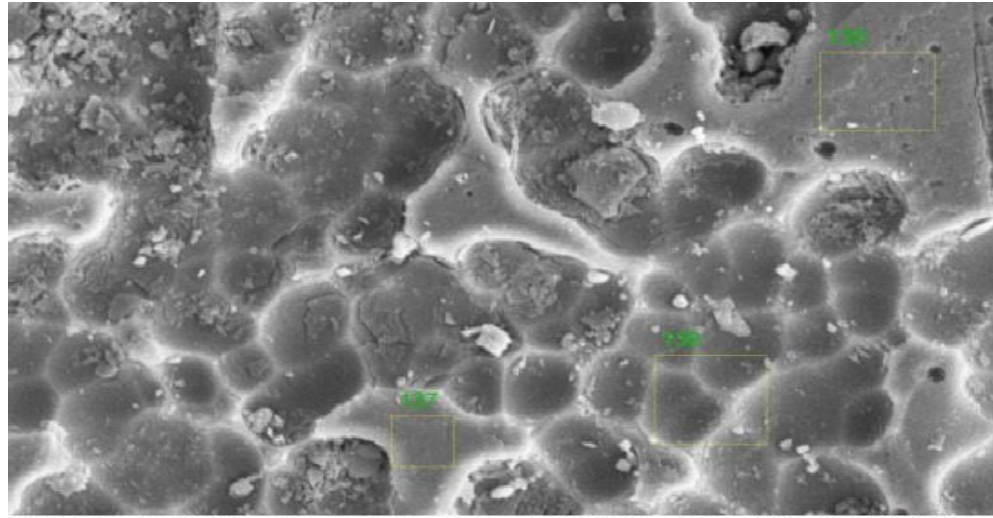
EK-1 (devamı)

Örnek Kodu	L	a	b	Renk	R, G, B
HC-13a	60,2196	-8,1841	7,9235	Açık Yeşil	136, 149, 131
HC-13b	42,1901	-6,2077	11,8112	Yeşil	97, 102, 80
HC-13c	47,9910	-6,5810	3,9864	Mavi	105, 117, 107
HC-14a	41,3646	-3,2031	2,7293	Mavi	94, 99, 83
HC-14b	46,4863	-8,1199	3,5325	Mavi	98, 114, 104
HC-15a	55,0763	-11,1186	8,9853	Yeşil	118, 137, 116
HC-15b	59,5187	-1,2879	0,1401	Yeşil	141, 144, 143
HC-15c	50,0466	-8,6575	7,5576	Yeşil	109, 123, 106
HC-15d	66,8903	-0,8587	19,9474	Sarı	175, 162, 127
HC-15e	48,2947	-3,4740	7,4773	Mavi	114, 116, 102
HC-16a	28,4347	9,2725	1,5264	Mor	82, 62, 65
HC-16b	57,1431	-16,8619	10,7142	Yeşil	113, 145, 118
HC-17	54,1708	-31,6122	-0,2389	Gri	147, 144, 129
HC-18a	46,9955	-4,2059	9,7477	Yeşil	111, 113, 95
HC-18b	68,3551	-6,5034	3,5795	Mavi	157, 170, 160
HC-18c	59,2282	-3,3773	5,9904	Mavi	141, 144, 132
HC-19a	81,7398	-0,2052	3,8423	Beyaz	206, 203, 196
HC-19b	60,4449	-4,8525	5,4636	Açık Mavi	141, 148, 136
HC-20a	33,1579	-7,5817	10,0052	Yeşil	72, 81, 62
HC-20b	15,6380	0,0014	-0,0028	Siyah	39, 39, 39
HC-20c	29,4552	-7,2999	-4,4424	Mavi	52, 73, 76
HC-21a	26,7156	-6,1992	-15,1892	Mavi	32, 67, 86
HC-21b	65,0414	-2,0259	36,8923	Sarı	176, 157, 91
HC-21c	70,3520	-1,8840	17,1321	Beyaz	181, 172, 141

HC-13a/HC-21c numunelerin renk analiz sonuçları.

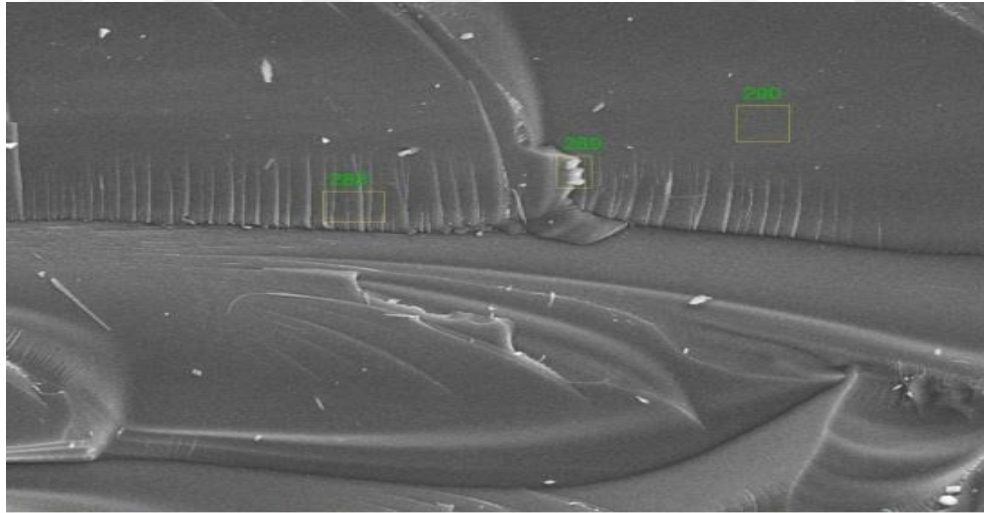
* (L: 0/100 Beyaz/Siyah, a: 0/-60 Yeşil, a: 0/60: Kırmızı, b: 0/-60 Mavi, b: 0/60 Sarı, R: kırmızı, G: yeşil, B: mavi).

EK-2 Cam örneklere ait bölgesel EDX tarama sonuçları.



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	11.29	36.91	27.20	SiO2	78.96	1.66
Oxygen	14.87	48.61	62.89		0.00	12.06
Sodium	1.10	3.59	3.24	Na2O	4.84	0.43
Calcium	1.27	4.16	2.15	CaO	5.81	0.37
Potassium	0.93	3.04	1.61	K2O	3.66	0.30
Aluminium	0.80	2.60	2.00	Al2O3	4.91	0.29
Magnesium	0.33	1.09	0.93	MgO	1.80	0.21
Total:	30.60	100.00	100.00			

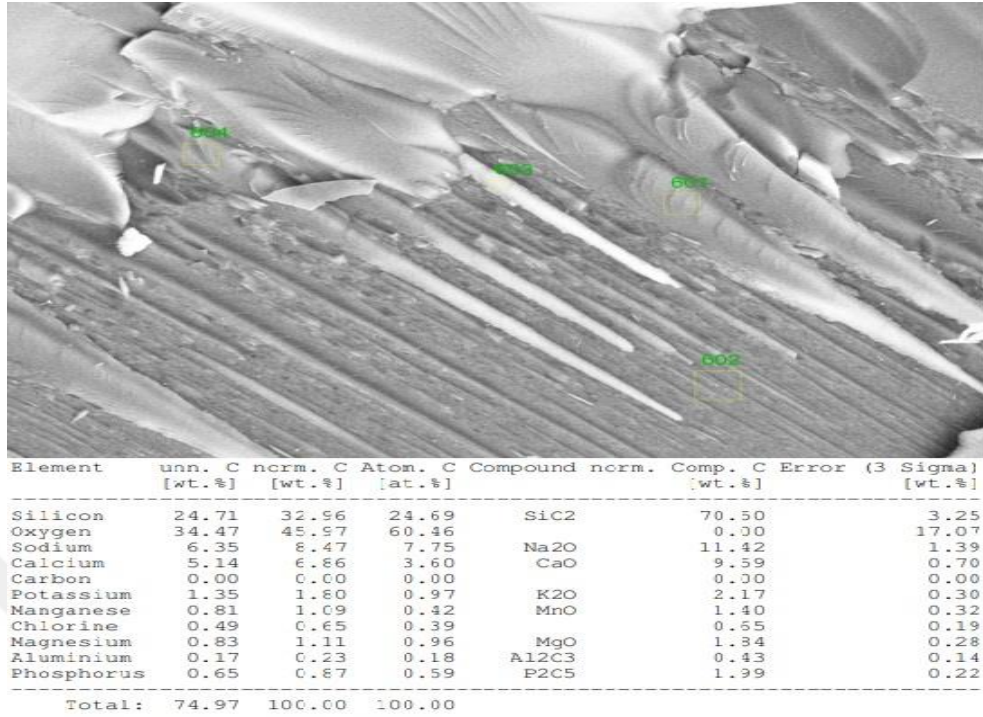
HC-1 cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 135).



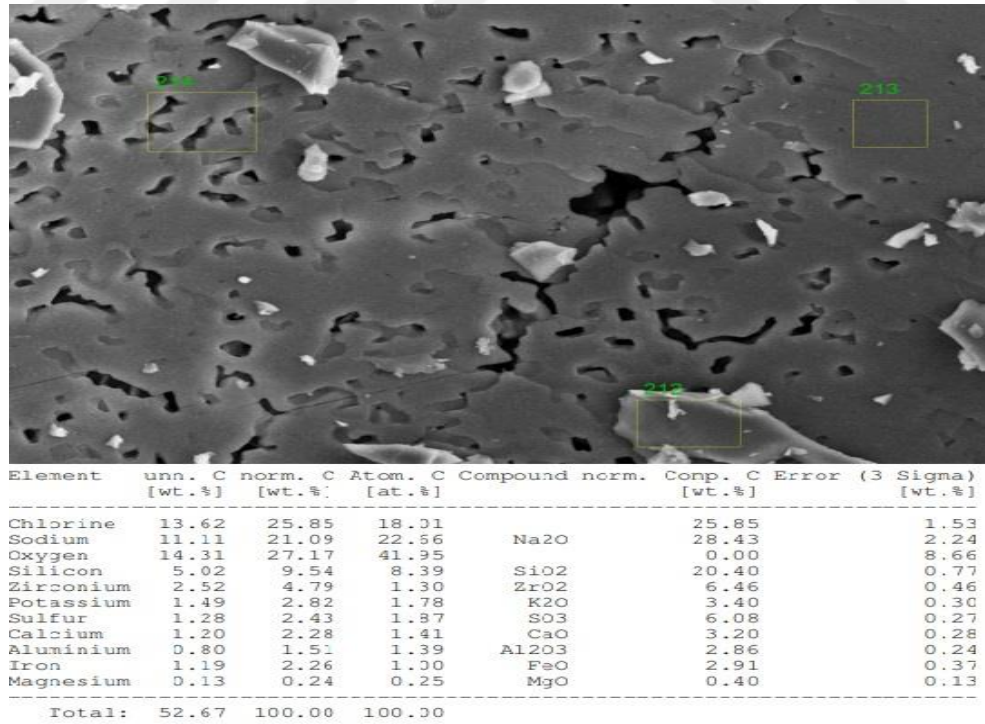
Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Zirconium	5.01	31.55	9.42	ZrO2	42.63	0.96
Oxygen	5.90	37.15	63.24		0.00	7.92
Silicon	2.99	18.84	18.27	SiO2	40.31	0.62
Sodium	0.33	2.05	2.43	Na2O	2.77	0.25
Calcium	0.88	5.52	3.75	CaO	7.73	0.34
Magnesium	0.12	0.74	0.83	MgO	1.23	0.16
Manganese	0.66	4.14	2.05	MnO	5.35	0.40
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00

HC-2a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 288).

EK-2 (devam)

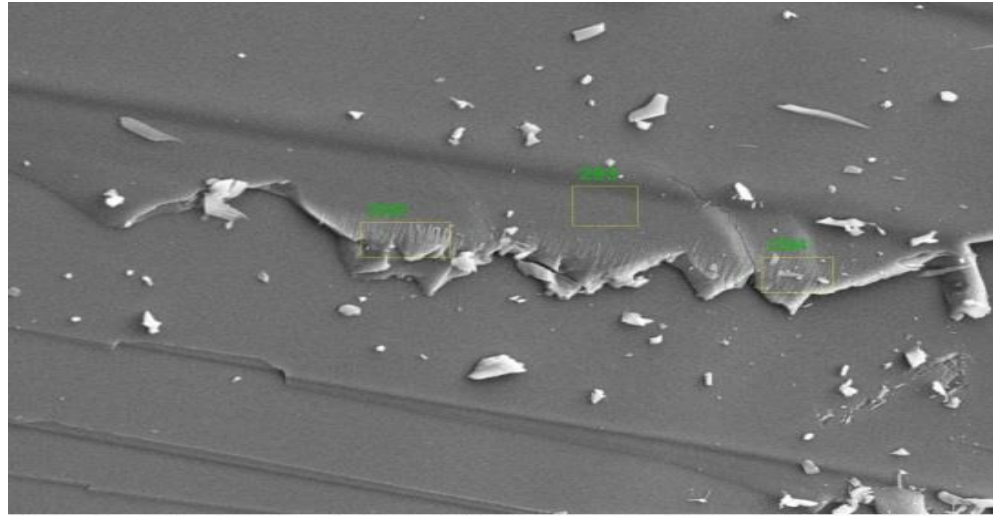


HC-2b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 601).



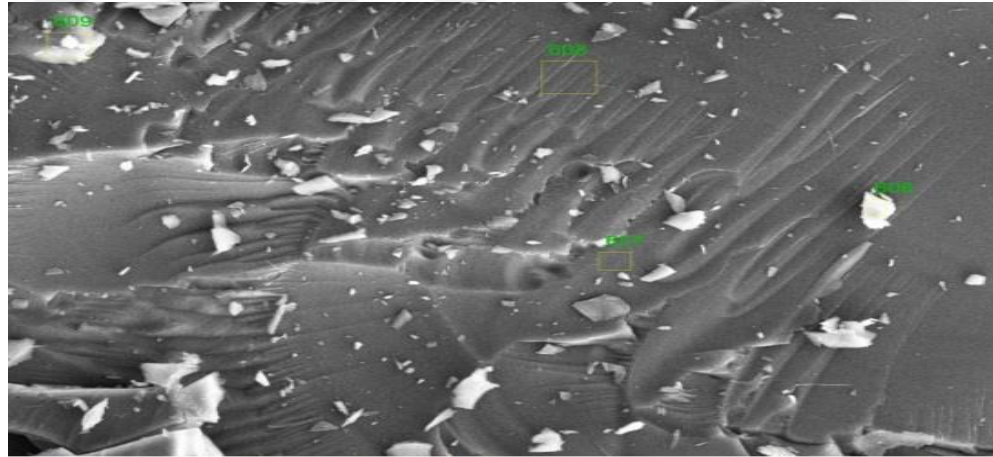
HC-3 cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 212).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	19.03	35.03	25.09	SiO2	74.94	2.52
Oxygen	25.41	46.79	61.18		0.00	13.10
Sodium	3.99	7.35	5.69	Na2O	9.91	0.92
Calcium	4.35	8.00	4.18	CaO	11.20	0.59
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Magnesium	0.51	0.94	0.81	MgO	1.56	0.21
Potassium	0.93	1.72	0.92	K2O	2.07	0.23
Aluminium	0.10	0.17	0.14	Al2O3	0.33	0.11

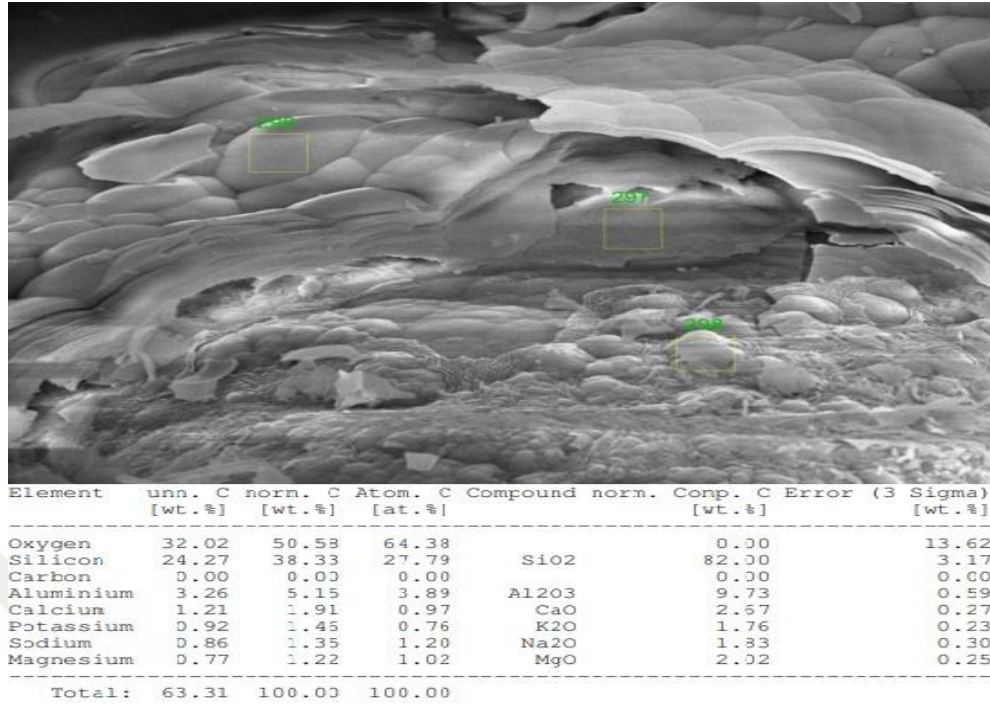
HC-4a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 292).



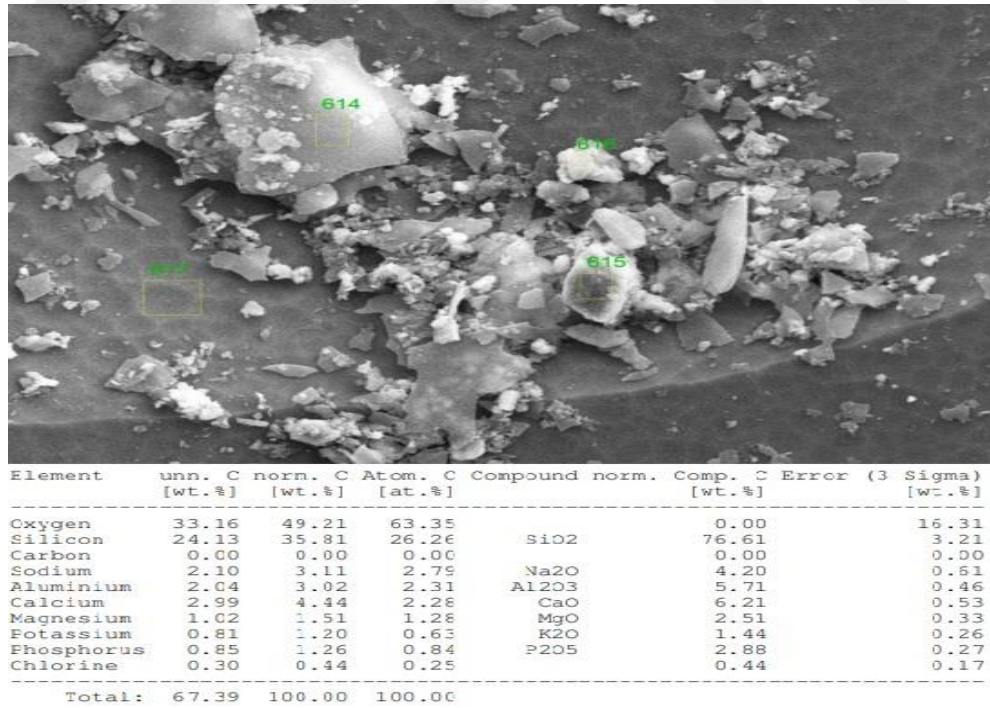
Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	37.46	45.96	60.49		0.00	18.52
Silicon	26.97	33.09	24.81	SiO2	70.78	3.55
Sodium	6.67	8.13	7.50	Na2O	11.03	1.47
Calcium	6.12	7.50	3.94	CaO	10.50	0.81
Potassium	1.39	1.70	0.92	K2O	2.05	0.32
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Manganese	0.70	0.85	0.33	MnO	1.11	0.00
Magnesium	0.90	1.10	0.96	MgO	1.63	0.30
Aluminium	0.17	0.21	0.16	Al2O3	0.40	0.14
Phosphorus	0.57	0.70	0.48	P2O5	1.60	0.22
Chlorine	0.57	0.70	0.41		0.70	0.21
Total:	81.50	100.00	100.00			

HC-4b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 606).

EK-2 (devam)

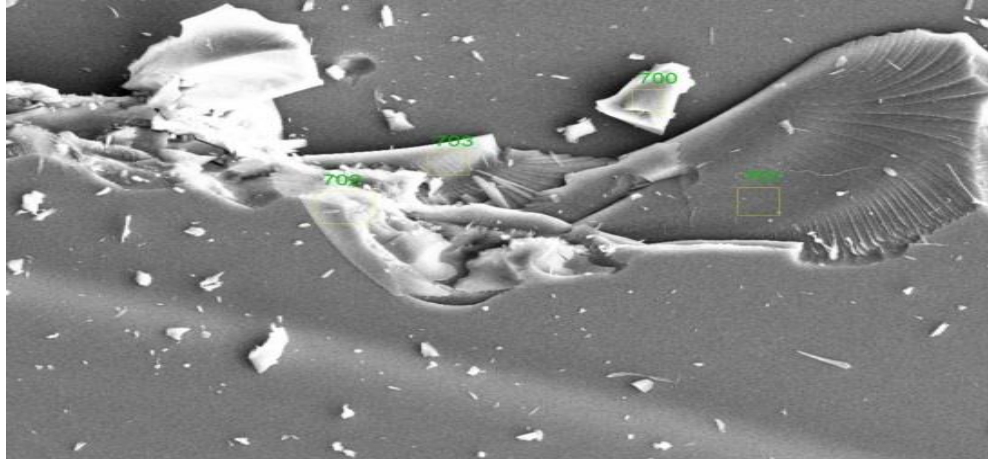


HC-5a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 296).



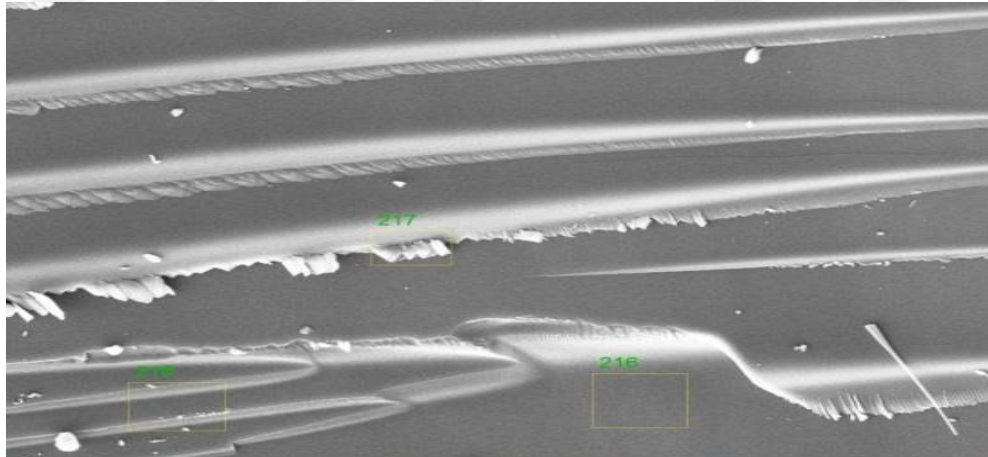
HC-5b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 614).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	33.65	44.44	57.94		0.00	15.21
Silicon	22.48	29.68	22.05	SiO2	63.50	2.96
Sodium	9.92	13.11	11.89	Na2O	17.67	2.04
Magnesium	2.38	3.15	2.70	MgO	5.22	0.54
Calcium	3.06	4.04	2.11	CaO	5.66	0.48
Potassium	2.67	3.53	1.88	K2O	4.25	0.43
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Aluminium	0.66	0.87	0.67	Al2O3	1.64	0.22
Chlorine	0.38	0.51	0.30		0.51	0.17
Phosphorus	0.51	0.68	0.46	P2O5	1.56	0.19
Total:	75.72	100.00	100.00			

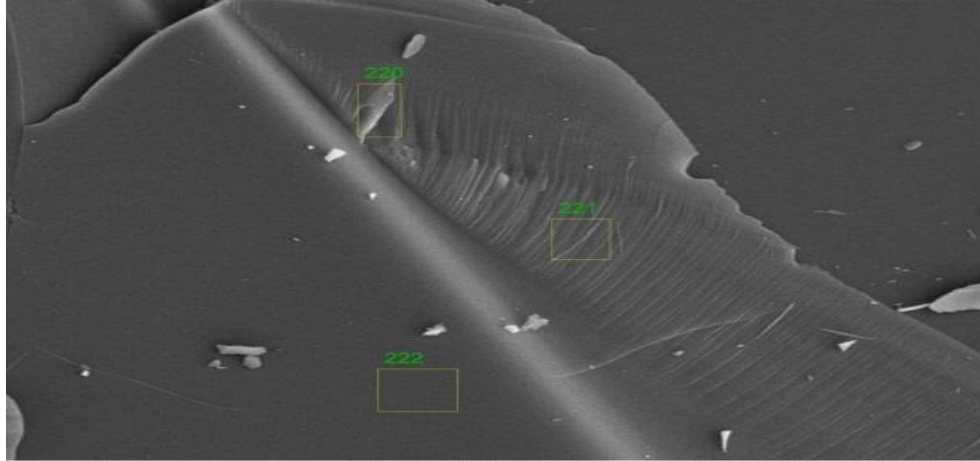
HC-5c cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 700).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	28.85	43.73	57.23		0.00	13.50
Silicon	16.71	25.33	18.88	SiO2	54.19	2.23
Sodium	9.96	15.10	13.75	Na2O	20.35	2.02
Calcium	3.06	4.64	2.42	CaO	6.49	0.45
Aluminium	2.14	3.24	2.51	Al2O3	6.12	0.44
Magnesium	1.63	2.47	2.13	MgO	4.10	0.40
Potassium	1.40	2.12	1.13	K2O	2.55	0.28
Iron	0.69	1.04	0.39	FeO	1.34	0.28
Chlorine	0.25	0.39	0.23		0.39	0.14
Phosphorus	1.29	1.95	1.32	P2O5	4.48	0.29
Total:	65.99	100.00	100.00			

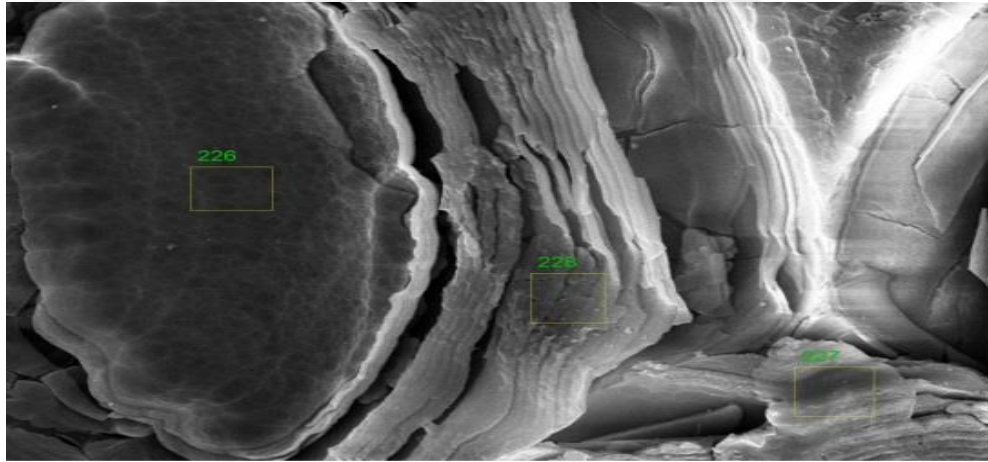
HC-6 cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 216).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	28.79	45.81	59.78		0.00	12.44
Silicon	18.68	29.73	22.10	SiO2	53.61	2.46
Sodium	6.65	10.61	9.63	Na2O	14.30	1.40
Calcium	4.01	6.38	3.32	CaO	8.93	0.53
Potassium	1.09	1.74	0.93	K2O	2.09	0.24
Magnesium	1.18	1.87	1.61	MgO	3.11	0.32
Phosphorus	1.75	2.78	1.87	P2O5	6.37	0.34
Chlorine	0.31	0.50	0.29		0.50	0.15
Aluminium	0.37	0.58	0.45	Al2O3	1.10	0.16
Total:	62.84	100.00	100.00			

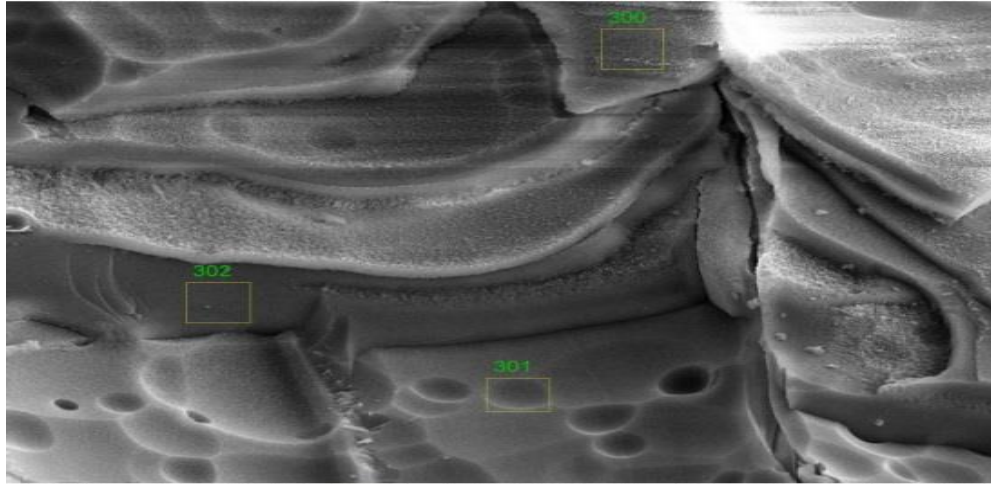
HC-7 cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 220).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	28.90	44.98	63.42		0.00	14.05
Silicon	19.07	29.68	23.84	SiO2	63.49	2.54
Manganese	6.24	9.72	3.99	MnO	12.54	0.91
Iron	4.31	6.71	2.71	FeO	8.64	0.77
Calcium	2.89	4.50	2.53	CaO	6.30	0.46
Aluminium	1.09	1.70	1.42	Al2O3	3.21	0.29
Phosphorus	1.42	2.21	1.61	P2O5	5.06	0.32
Magnesium	0.15	0.25	0.23	MgO	0.41	0.14
Sodium	0.15	0.25	0.25	Na2O	0.34	0.15
Total:	64.25	100.00	100.00			

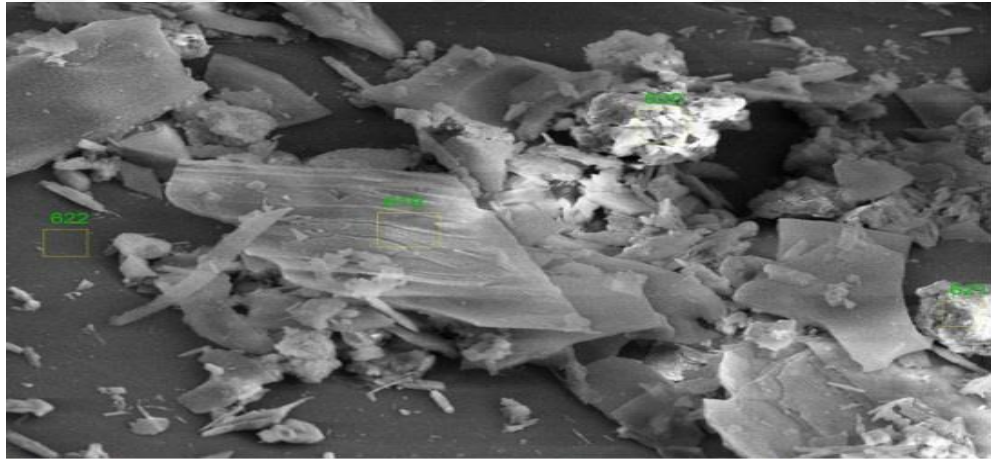
HC-8 cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 226).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	23.57	42.85	31.20	SiO2	91.68	3.09
Oxygen	28.38	51.60	65.95		0.00	14.68
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	1.02	1.86	0.95	CaO	2.61	0.27
Iron	1.23	2.23	0.82	FeO	2.87	0.40
Magnesium	0.12	0.22	0.18	MgO	0.36	0.13
Aluminium	0.54	0.98	0.74	Al2O3	1.85	0.20
Sulfur	0.14	0.26	0.16	SO3	0.64	0.13
Total:	55.00	100.00	100.00			

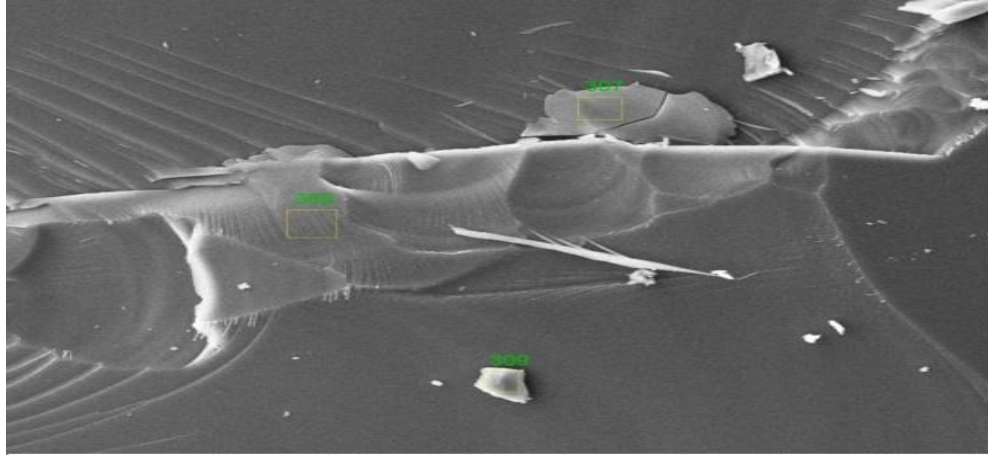
HC-9a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 300).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	27.33	46.50	63.25		0.00	15.30
Silicon	19.24	32.81	25.37	SiO2	70.19	2.63
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	7.75	13.22	7.16	CaC	18.50	1.02
Aluminium	1.55	2.82	2.27	Al2O3	5.33	0.42
Iron	2.46	4.19	1.53	FeC	5.40	0.69
Magnesium	0.21	0.35	0.31	MgC	0.58	0.17
Total:	58.54	100.00	100.00			

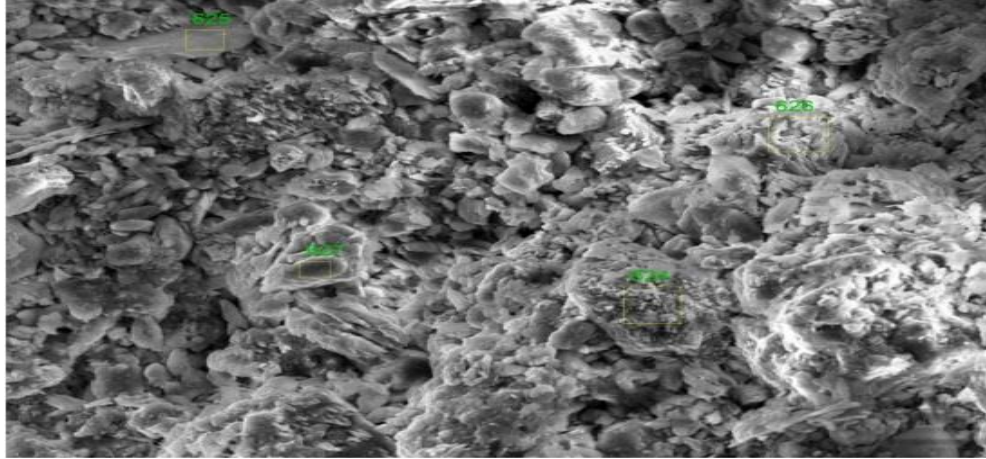
HC-9b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 619).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	27.76	45.07	59.53		0.00	13.03
Silicon	19.81	32.16	24.20	SiO2	68.80	2.61
Sodium	5.81	9.42	8.66	Na2O	12.70	1.25
Calcium	4.58	7.43	3.92	CaO	10.39	0.60
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	1.35	2.18	1.18	K2O	2.63	0.28
Magnesium	1.13	1.84	1.60	MgO	3.05	0.32
Manganese	0.75	1.21	0.47	MnO	1.57	0.28
Aluminium	0.12	0.19	0.15	Al2O3	0.36	0.12
Chlorine	0.30	0.49	0.29		0.49	0.15
Total:	61.61	100.00	100.00			

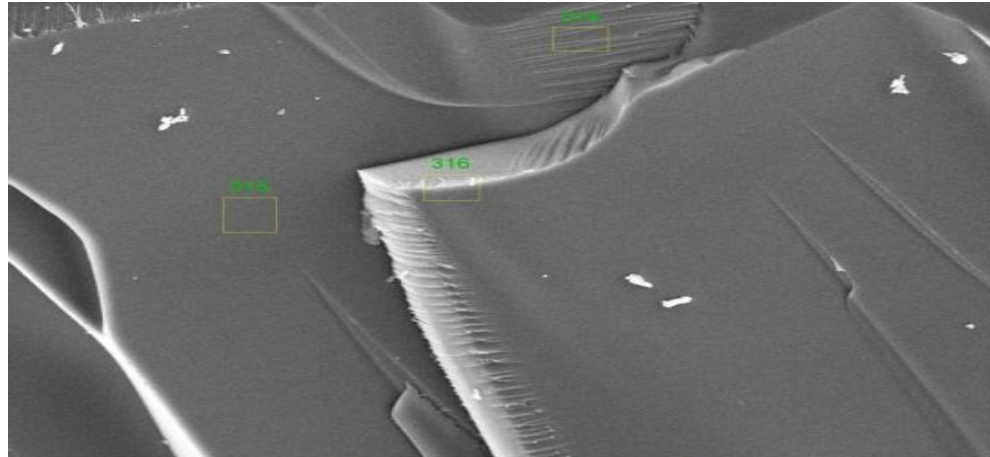
HC-10a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 307).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	20.61	31.09	52.76		0.00	10.98
Calcium	38.64	58.27	39.48	CaO	81.53	3.78
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Zirconium	2.70	4.07	1.21	ZrO2	5.50	0.55
Silicon	2.75	4.15	4.01	SiO2	3.87	0.53
Magnesium	0.78	1.17	1.31	MgO	1.94	0.30
Aluminium	0.61	0.91	0.92	Al2O3	1.72	0.24
Sodium	0.09	0.13	0.16	Na2O	0.18	0.14
Potassium	0.14	0.21	0.15	K2O	0.25	0.14
Total:	66.32	100.00	100.00			

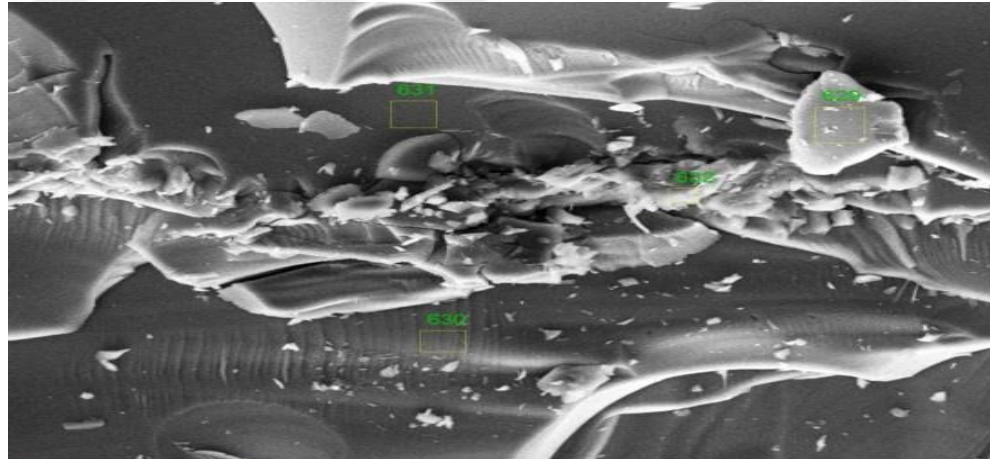
HC-10b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 624).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Compound	norm. Comp. C [wt. %]	Error (3 Sigma) [wt. %]
Silicon	5.32	29.33	22.69	SiO2	62.85	0.96
Oxygen	9.45	43.95	55.57		0.00	8.22
Sodium	1.73	8.05	1.60	Na2O	10.86	0.51
Calcium	1.22	5.65	1.06	CaO	7.91	0.30
Potassium	0.60	2.83	1.55	K2O	3.37	0.21
Aluminium	0.43	1.99	1.60	Al2O3	3.77	0.19
Iron	1.27	5.92	2.30	FeO	7.61	0.42
Magnesium	0.16	0.74	0.66	MgO	1.24	0.14
Chlorine	0.20	0.92	0.56		0.92	0.14
Sulfur	0.13	0.59	0.40	SO3	1.48	0.13
Total:	21.51	100.00	100.00			

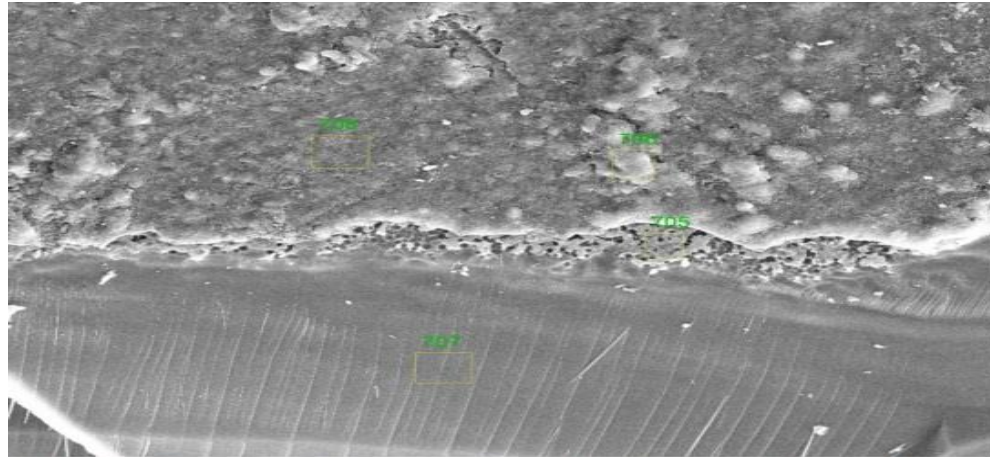
HC-11a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 314).



Element	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Compound	norm. Comp. C [wt. %]	Error (3 Sigma) [wt. %]
Oxygen	36.25	43.96	58.97		0.00	16.93
Silicon	24.14	29.27	22.37	SiO2	62.61	3.21
Sodium	8.34	10.11	9.44	Na2O	13.63	1.79
Potassium	3.56	4.32	2.37	K2O	5.21	0.56
Zirconium	3.44	4.17	0.98	ZrO2	5.63	0.65
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	2.48	3.00	1.61	CaO	4.20	0.46
Magnesium	2.25	2.72	2.41	MgO	4.52	0.55
Aluminium	1.63	1.98	1.57	Al2O3	3.73	0.40
Chlorine	0.39	0.47	0.29		0.47	0.19
Total:	82.46	100.00	100.00			

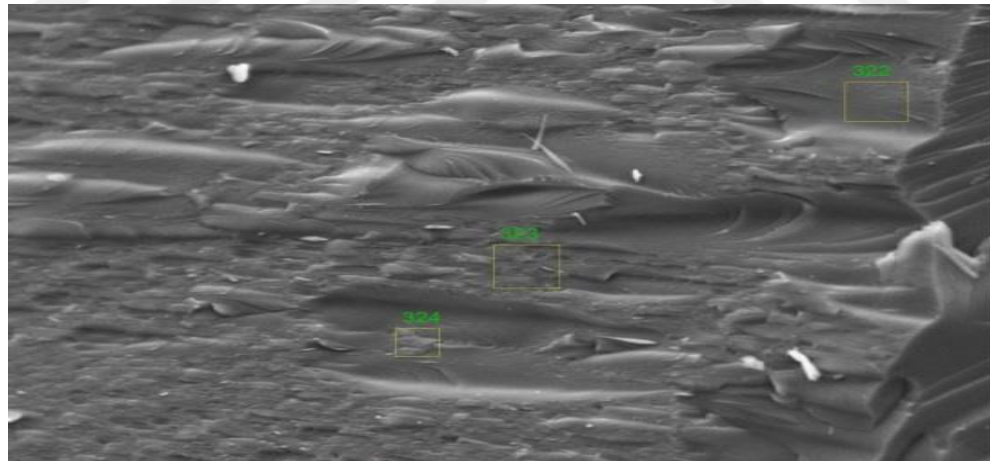
HC-11b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 629).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Compound	norm. Comp. C [wt. %]	Error (3 Sigma) [wt. %]
Oxygen	36.41	44.81	62.27		0.00	15.25
Silicon	25.01	30.79	24.37	SiO2	65.86	3.29
Calcium	3.08	3.80	2.11	CaO	5.31	0.50
Aluminium	4.03	4.96	4.09	Al2O3	9.37	0.73
Potassium	2.03	2.50	1.42	K2O	3.01	0.38
Zirconium	3.62	4.45	1.08	ZrO2	6.01	0.64
Copper	3.36	4.13	1.45		4.13	0.95
Iron	1.24	1.53	0.61	FeO	1.96	0.42
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Magnesium	1.31	1.61	1.47	MgO	2.67	0.37
Sodium	0.56	0.69	0.67	Na2O	0.93	0.26
Chlorine	0.61	0.75	0.47		0.75	0.21
Total:	81.25	100.00	100.00			

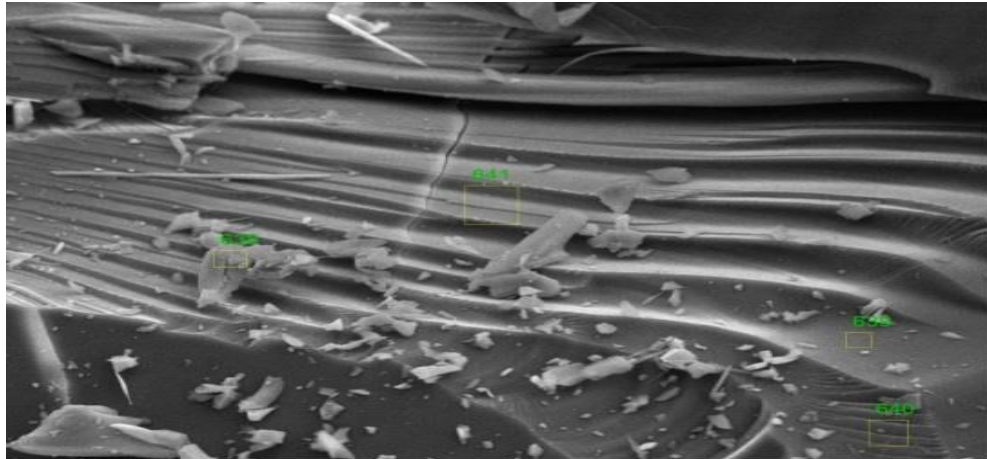
HC-11c cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 705).



Element	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Compound	norm. Comp. C [wt. %]	Error (3 Sigma) [wt. %]
Oxygen	25.71	46.02	60.18		0.00	12.52
Silicon	18.83	33.72	25.11	SiO2	72.13	2.51
Sodium	5.21	9.33	8.49	Na2O	12.58	1.16
Calcium	3.73	6.67	3.48	CaO	9.34	0.55
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	0.77	1.38	0.74	K2O	1.67	0.23
Magnesium	0.84	1.50	1.25	MgO	2.49	0.28
Manganese	0.41	0.73	0.28	MnO	0.94	0.23
Aluminium	0.13	0.24	0.19	Al2O3	0.45	0.13
Chlorine	0.23	0.40	0.24		0.40	0.14
Total:	55.85	100.00	100.00			

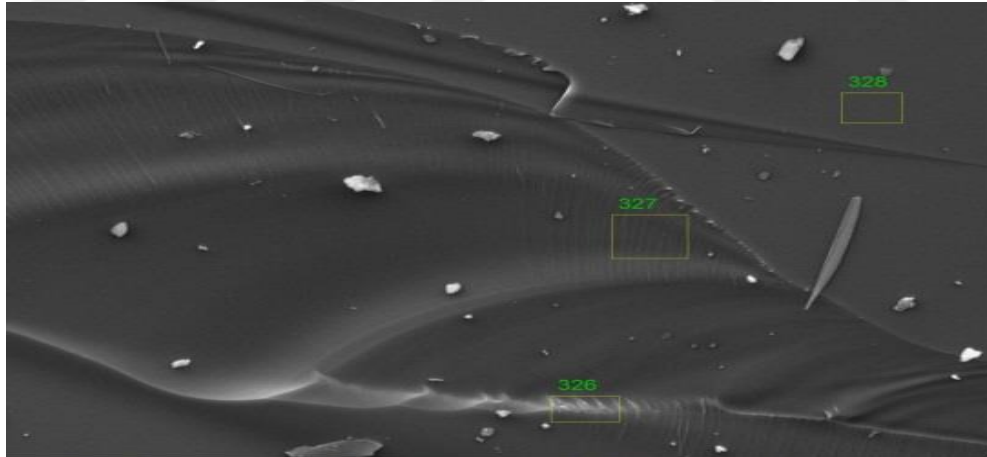
HC-12a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 322).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	33.14	43.73	57.45		0.00	14.42
Silicon	20.77	27.41	20.51	SiO ₂	58.64	2.76
Sodium	10.90	14.38	13.15	Na ₂ O	19.39	2.23
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	4.59	6.05	3.18	CaO	8.47	0.63
Aluminium	1.84	2.43	1.90	Al ₂ O ₃	4.60	0.41
Magnesium	1.50	1.98	1.71	MgO	3.28	0.40
Potassium	0.74	0.98	0.53	K ₂ O	1.18	0.22
Iron	1.02	1.34	0.50	FeO	1.72	0.37
Chlorine	0.68	0.89	0.53		0.89	0.21
Phosphorus	0.61	0.80	0.54	P ₂ O ₅	1.83	0.21
Total:	75.77	100.00	100.00			

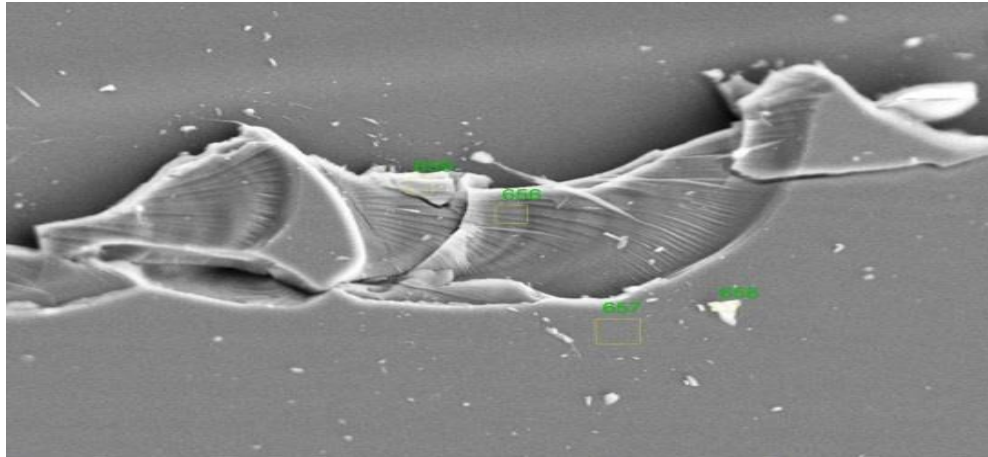
HC-12b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 638).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	33.47	44.20	57.44		0.00	14.47
Silicon	22.48	29.68	21.98	SiO ₂	63.51	2.94
Sodium	10.62	14.02	12.68	Na ₂ O	18.90	2.14
Calcium	2.74	3.62	1.88	CaO	5.07	0.42
Magnesium	2.92	3.85	3.30	MgO	6.39	0.61
Potassium	2.26	2.98	1.59	K ₂ O	3.59	0.37
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Aluminium	0.77	1.02	0.78	Al ₂ O ₃	1.92	0.23
Chlorine	0.47	0.62	0.37		0.62	0.17
Total:	75.73	100.00	100.00			

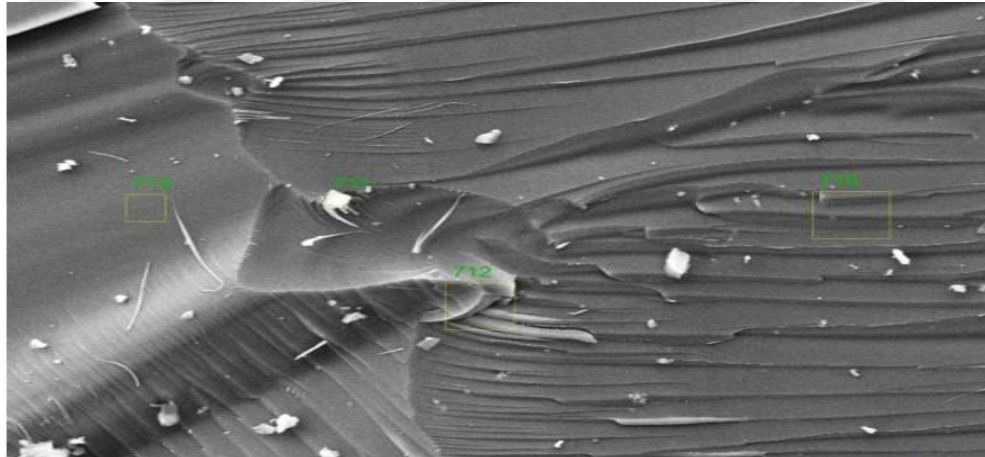
HC-13a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 326).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	30.23	45.58	59.83		0.00	15.73
Silicon	21.57	32.52	24.32	SiO2	69.58	2.90
Sodium	6.27	9.45	8.63	Na2O	12.74	1.42
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	4.75	7.16	3.75	CaO	10.02	0.71
Potassium	1.67	2.51	1.35	K2O	3.02	0.37
Magnesium	0.94	1.42	1.23	MgO	2.35	0.32
Aluminium	0.17	0.25	0.20	Al2O3	0.48	0.15
Phosphorus	0.36	0.55	0.37	P2O5	1.25	0.19
Chlorine	0.37	0.55	0.33		0.55	0.19
Total:	66.33	100.00	100.00			

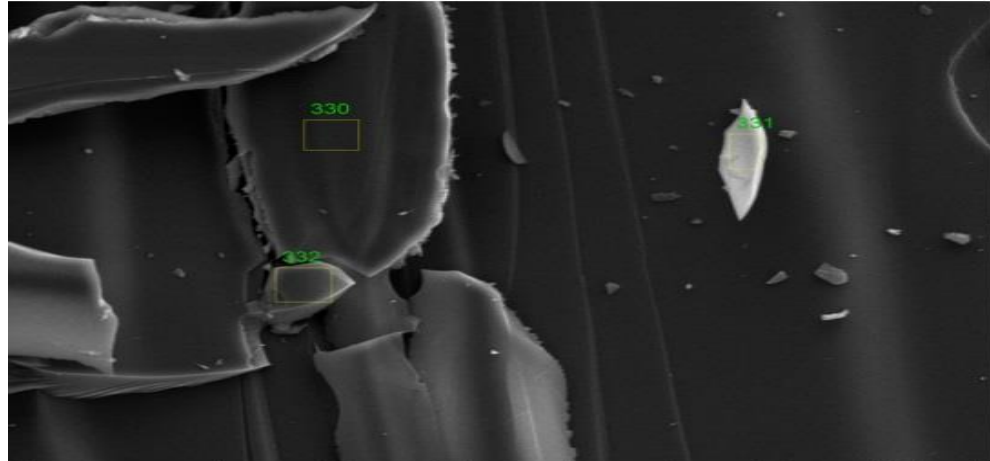
HC-13b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 656).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	19.76	32.78	24.59	SiO2	70.13	2.61
Oxygen	27.95	46.36	61.05		0.00	13.94
Calcium	4.89	8.11	4.26	CaO	11.34	0.65
Sodium	4.29	7.11	6.52	Na2O	9.58	0.98
Potassium	1.55	2.57	1.38	K2O	3.09	0.31
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Magnesium	0.45	0.75	0.65	MgO	1.24	0.20
Aluminium	0.22	0.36	0.28	Al2O3	0.69	0.14
Phosphorus	0.44	0.73	0.50	P2O5	1.68	0.18
Sulfur	0.41	0.68	0.45	SO3	1.69	0.17
Chlorine	0.33	0.55	0.33		0.55	0.16
Total:	60.28	100.00	100.00			

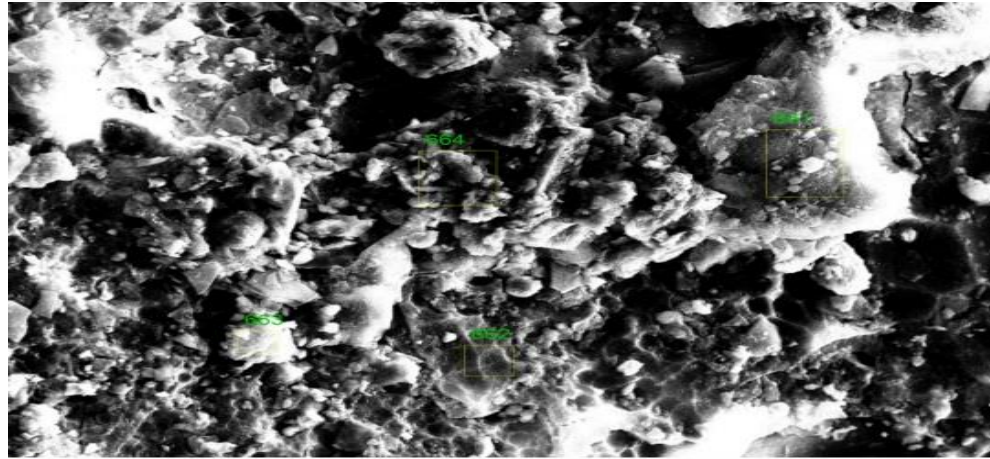
HC-13c cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 710).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	18.90	34.41	25.66	SiO2	73.62	2.51
Oxygen	25.44	46.33	60.64		0.00	13.61
Sodium	4.43	8.06	7.34	Na2O	10.86	1.00
Calcium	4.20	7.65	4.00	CaO	10.70	0.58
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	0.93	1.69	0.91	K2O	2.04	0.24
Magnesium	0.66	1.19	1.03	MgO	1.98	0.24
Chlorine	0.28	0.52	0.31		0.52	0.15
Aluminium	0.08	0.15	0.11	Al2O3	0.28	0.11
Total:	54.92	100.00	100.00			

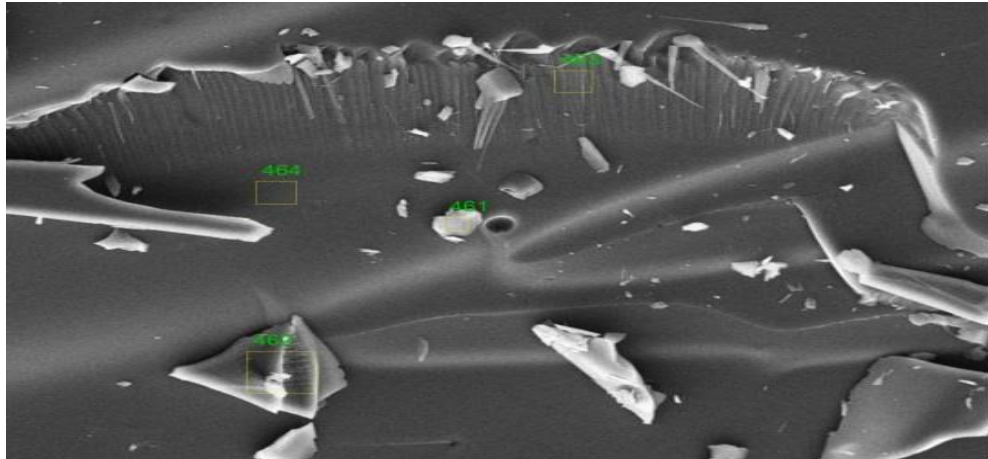
HC-14a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 330).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	42.36	50.95	65.38		0.00	18.47
Silicon	33.07	39.78	29.08	SiO2	85.11	4.32
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	2.93	3.53	1.81	CaO	4.93	0.51
Aluminium	2.51	3.02	2.30	Al2O3	5.72	0.52
Iron	1.34	1.61	0.59	FeO	2.07	0.47
Magnesium	0.47	0.57	0.48	MgO	0.94	0.22
Phosphorus	0.45	0.54	0.36	P2O5	1.23	0.20
Total:	83.13	100.00	100.00			

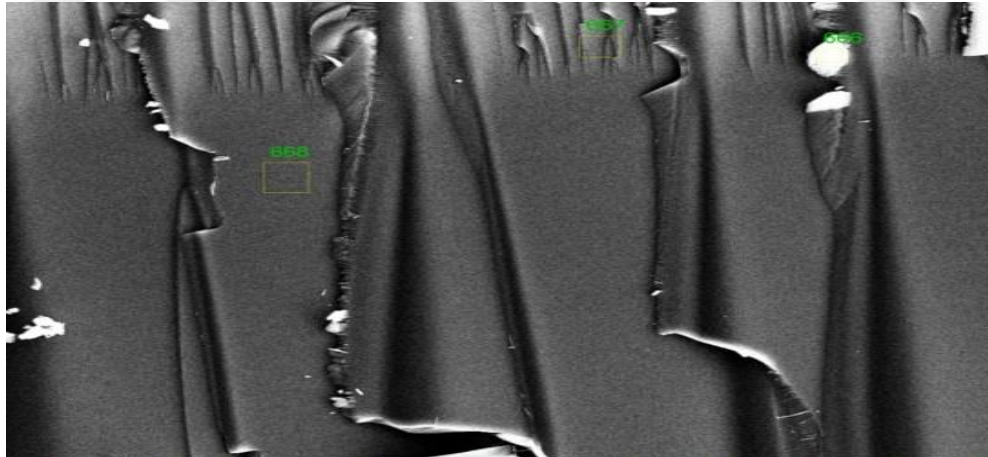
HC-14b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 661).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	30.55	44.72	57.57		0.00	13.94
Silicon	19.74	28.89	21.19	SiO2	61.80	2.63
Sodium	11.29	16.52	14.81	Na2O	22.27	2.29
Aluminium	3.43	5.03	3.84	Al2O3	9.50	0.64
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	0.93	1.35	0.72	K2O	1.64	0.24
Calcium	0.65	0.95	0.49	CaO	1.33	0.22
Iron	0.74	1.09	0.40	FeO	1.40	0.31
Magnesium	0.35	0.52	0.44	MgO	0.85	0.18
Chlorine	0.52	0.75	0.44		0.76	0.19
Sulfur	0.12	0.18	0.12	SO3	0.46	0.12
Total:	68.31	100.00	100.00			

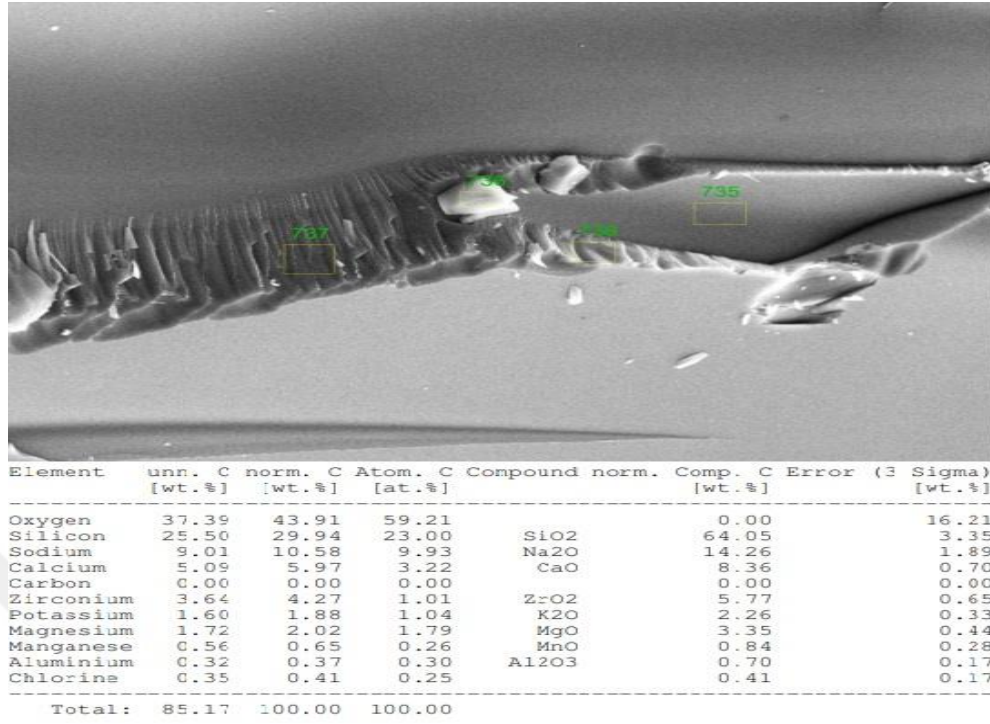
HC-15a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 461).



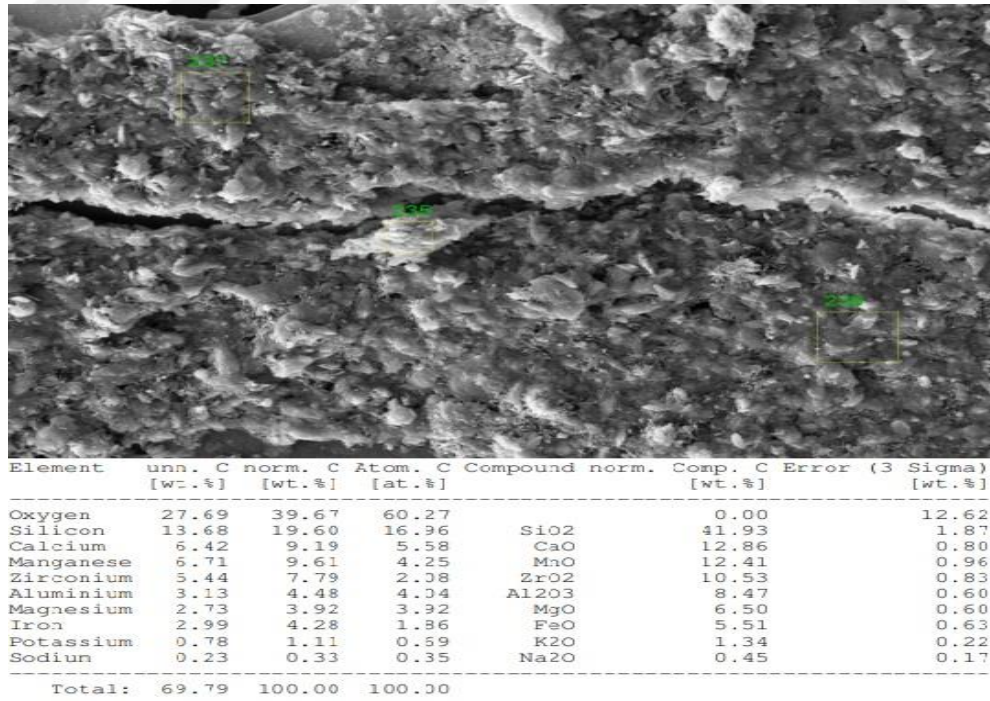
Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	11.90	31.31	23.49	SiO2	66.98	1.68
Oxygen	17.15	45.11	59.41		0.00	10.98
Sodium	3.72	9.79	8.97	Na2O	13.20	0.91
Aluminium	0.86	2.26	1.76	Al2O3	4.26	0.27
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	2.39	6.30	3.31	CaO	8.81	0.45
Potassium	1.27	3.33	1.79	K2O	4.01	0.31
Magnesium	0.11	0.28	0.25	MgO	0.47	0.13
Chlorine	0.43	1.13	0.67		1.13	0.19
Phosphorus	0.19	0.50	0.34	P2O5	1.14	0.15
Total:	38.02	100.00	100.00			

HC-15b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 666).

EK-2 (devam)

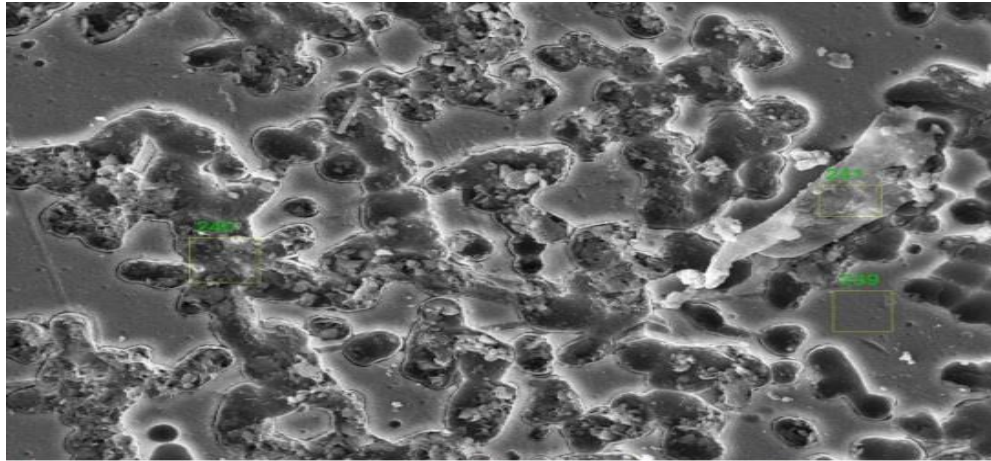


HC-15c cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 735).



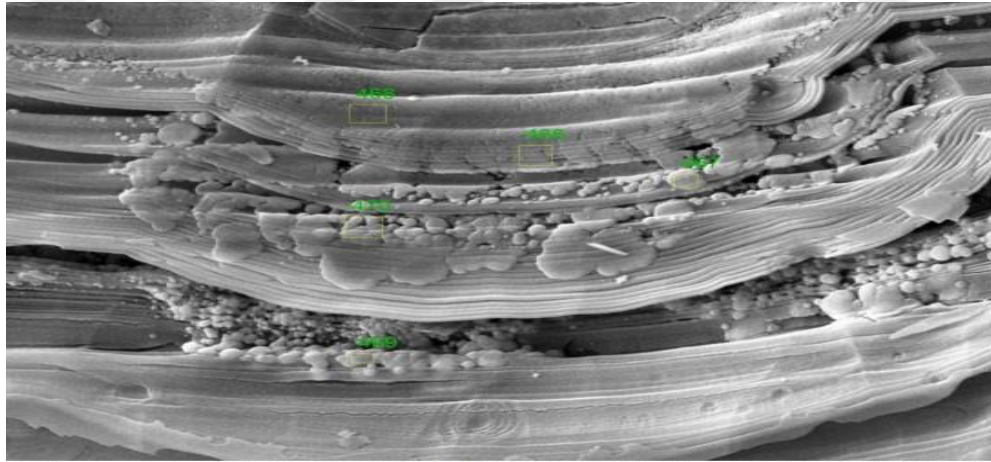
HC-15d cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 235).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	17.30	32.94	24.41	SiO ₂	70.47	2.31
Oxygen	25.32	48.22	62.73		0.00	13.13
Sodium	1.89	3.60	3.26	Na ₂ O	4.85	0.52
Calcium	2.34	4.46	2.31	CaO	6.23	0.40
Potassium	2.00	3.82	2.03	K ₂ O	4.60	0.36
Aluminium	1.39	2.65	2.04	Al ₂ O ₃	5.01	0.33
Magnesium	0.87	1.66	1.43	MgO	2.76	0.28
Phosphorus	1.39	2.65	1.78	P ₂ O ₅	6.08	0.31
Total:	52.51	100.00	100.00			

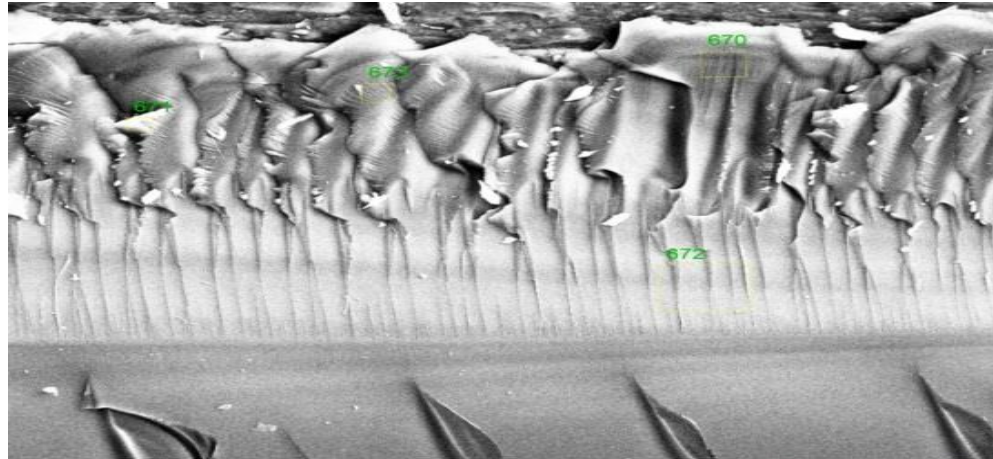
HC-15e cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 239).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	22.40	38.54	60.17		0.00	10.75
Manganese	14.14	24.33	11.06	MnO	31.42	1.71
Silicon	12.51	21.53	19.15	SiO ₂	46.05	1.74
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Iron	3.65	6.28	2.81	FeO	8.08	0.74
Calcium	3.61	6.21	3.87	CaO	8.69	0.55
Aluminium	1.19	2.04	1.89	Al ₂ O ₃	3.86	0.32
Magnesium	0.22	0.38	0.39	MgO	0.62	0.16
Sodium	0.23	0.39	0.42	Na ₂ O	0.53	0.18
Sulfur	0.18	0.30	0.24	SO ₃	0.75	0.14
Total:	58.12	100.00	100.00			

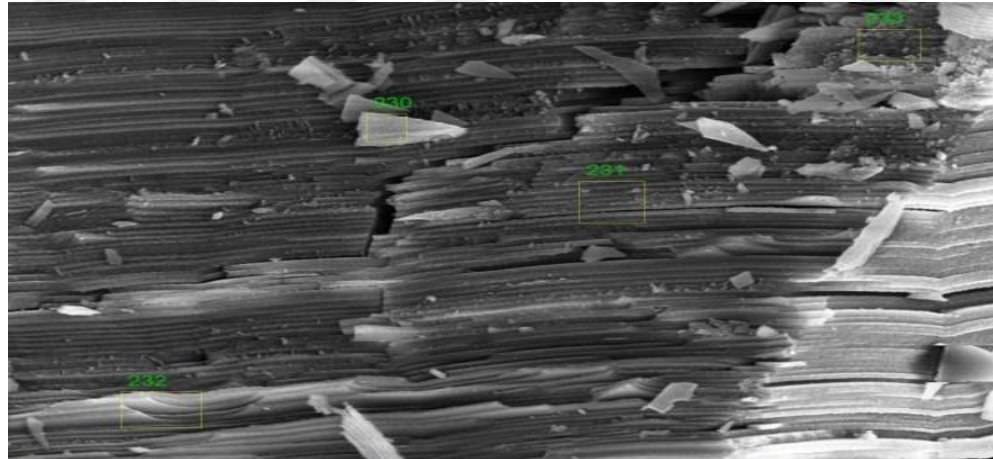
HC-16a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 466).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	41.87	45.42	59.44		0.00	17.48
Silicon	29.73	32.24	24.04	SiO2	68.98	3.86
Sodium	9.83	10.67	9.72	Na2O	14.38	2.03
Calcium	5.59	6.06	3.17	CaO	8.48	0.72
Potassium	1.60	1.73	0.93	K2O	2.09	0.32
Magnesium	1.67	1.81	1.56	MgO	3.00	0.42
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Manganese	0.76	0.83	0.32	MnO	1.07	0.30
Chlorine	0.48	0.52	0.31		0.52	0.18
Aluminium	0.37	0.40	0.31	Al2O3	0.76	0.18
Phosphorus	0.29	0.31	0.21	P2O5	0.72	0.16
Total:	92.20	100.00	100.00			

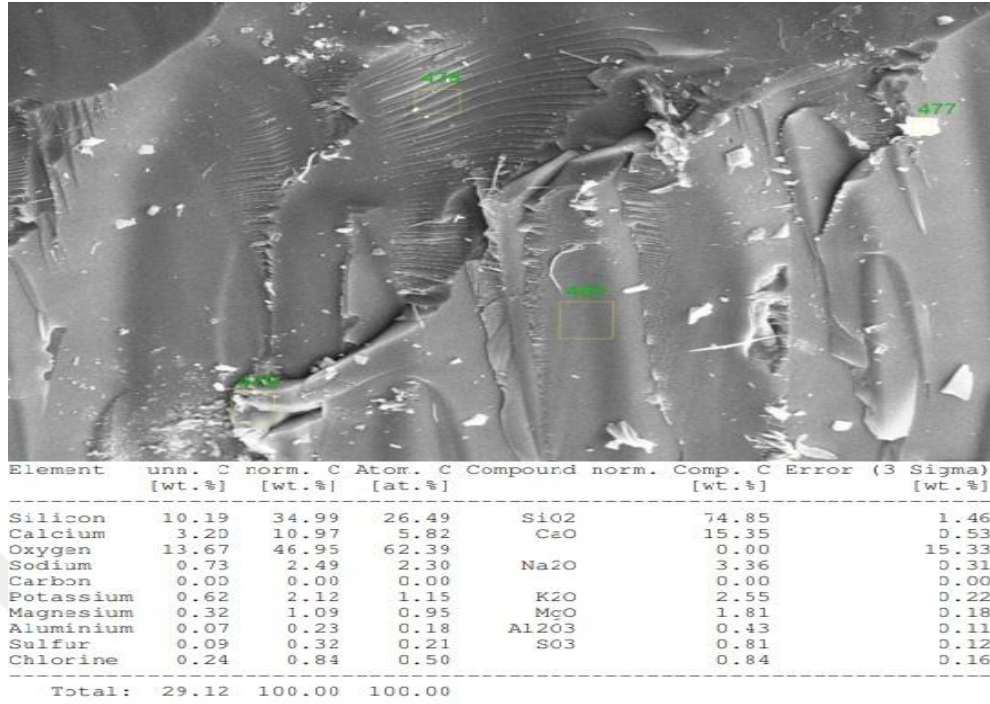
HC-16b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 670).



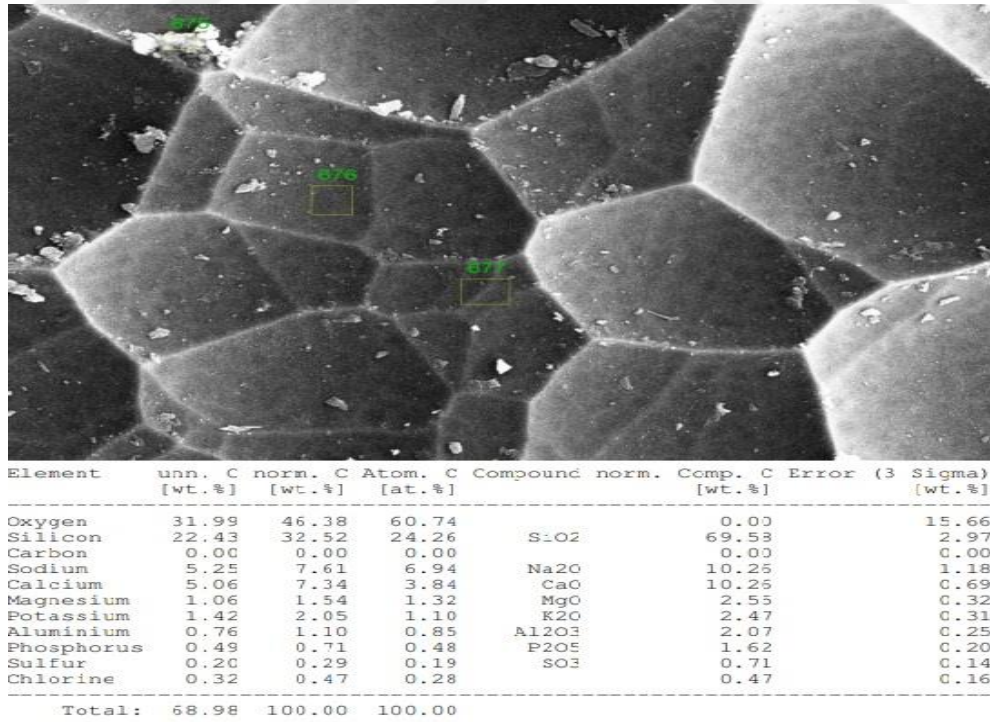
Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	15.88	34.35	25.06	SiO2	73.50	2.17
Oxygen	23.57	51.01	65.31		0.00	14.00
Aluminium	2.66	5.75	4.36	Al2O3	10.86	0.54
Calcium	1.68	3.64	1.86	CaO	5.10	0.37
Magnesium	0.22	0.48	0.40	MgO	0.79	0.16
Potassium	0.50	1.07	0.56	K2O	1.29	0.20
Phosphorus	1.71	3.70	2.44	P2O5	8.47	0.38
Total:	46.21	100.00	100.00			

HC-17 cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 230).

EK-2 (devam)

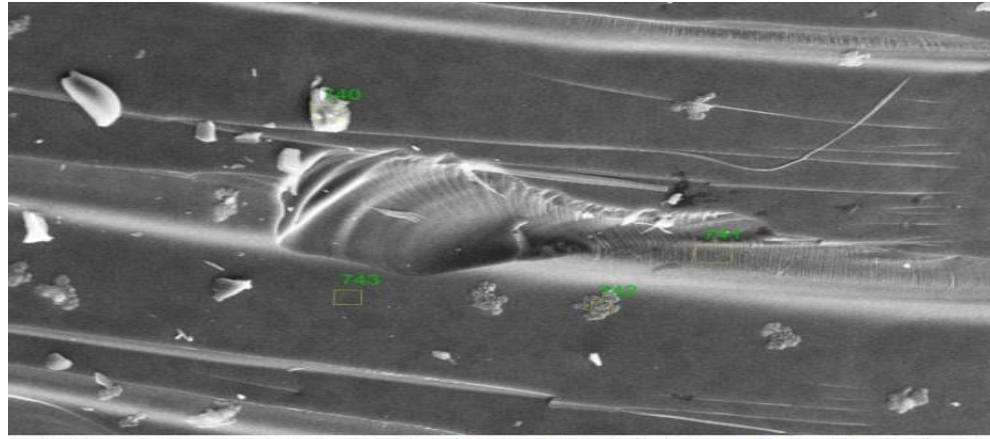


HC-18a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 477).



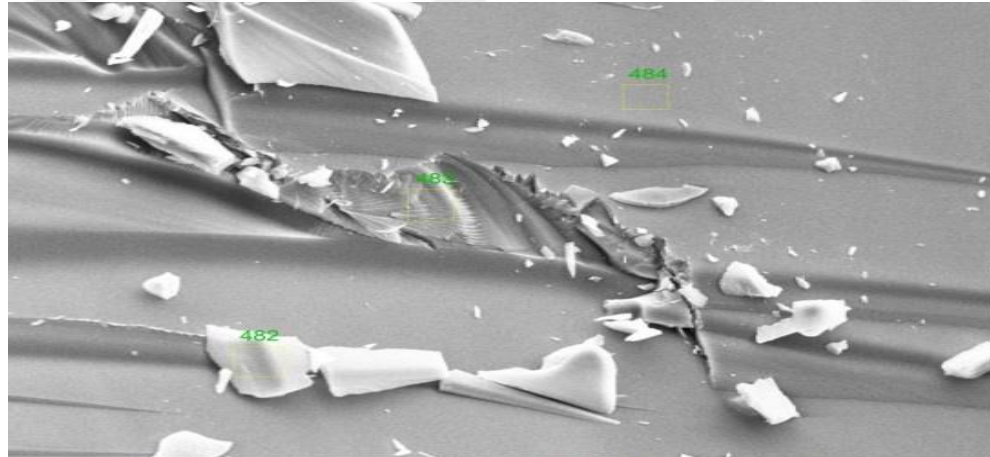
HC-18b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 675).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Compound	norm. Comp. C [wt. %]	Error (3 Sigma) [wt. %]
Oxygen	33.59	42.19	57.28		0.00	14.90
Silicon	21.55	27.06	20.93	SiO2	57.89	2.87
Sodium	11.78	14.80	13.98	Na2O	19.94	2.41
Zirconium	4.95	6.22	1.48	ZrO2	8.40	0.81
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Calcium	2.65	3.33	1.81	CaO	4.66	0.46
Potassium	2.31	2.90	1.61	K2O	3.50	0.41
Magnesium	1.73	2.17	1.94	MgO	3.59	0.45
Aluminium	0.61	0.76	0.61	Al2O3	1.44	0.23
Chlorine	0.46	0.58	0.36		0.58	0.19
Total:	79.63	100.00	100.00			

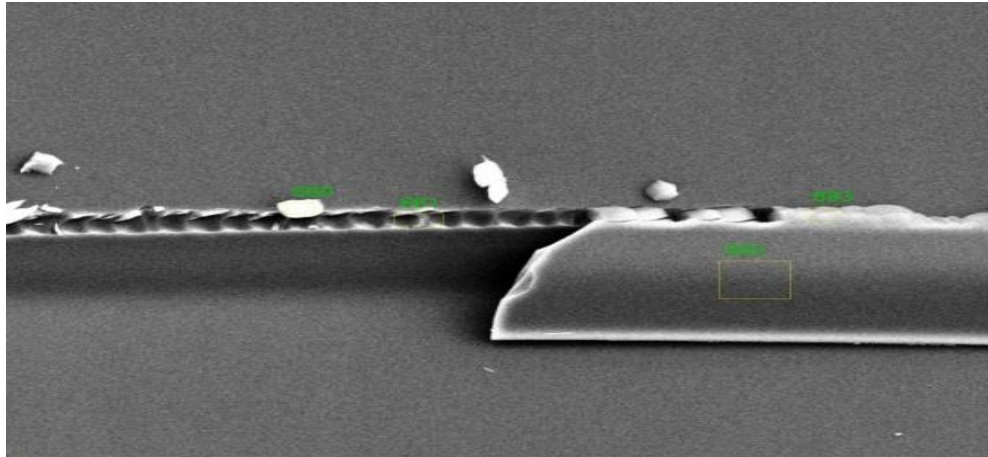
HC-18c cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 740).



Element	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Compound	norm. Comp. C [wt. %]	Error (3 Sigma) [wt. %]
Oxygen	13.52	42.76	60.59		0.00	9.11
Silicon	8.75	27.67	22.34	SiO2	59.21	1.30
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Zirconium	2.99	9.46	2.35	ZrO2	12.78	0.62
Sodium	2.06	6.53	6.43	Na2O	8.80	0.61
Calcium	3.22	10.17	5.75	CaO	14.23	0.57
Potassium	0.53	1.69	0.98	K2O	2.04	0.22
Magnesium	0.40	1.26	1.18	MgO	2.09	0.21
Aluminium	0.14	0.45	0.38	Al2O3	0.85	0.14
Total:	31.61	100.00	100.00			

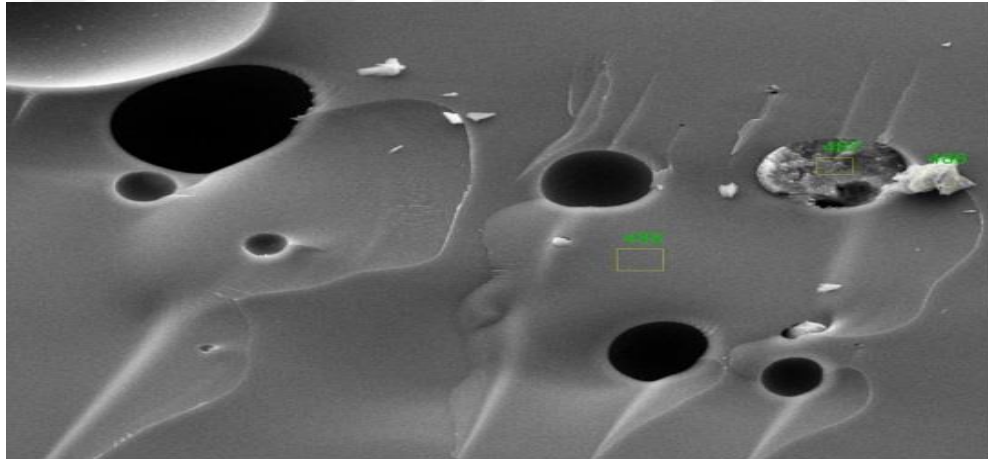
HC-19a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 482).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	38.46	45.66	59.57		0.00	16.93
Silicon	27.36	32.49	24.14	SiO2	69.50	3.58
Sodium	8.87	10.53	9.56	Na2O	14.20	1.86
Calcium	5.32	6.31	3.29	CaO	8.83	0.72
Magnesium	1.45	1.72	1.47	MgO	2.85	0.39
Potassium	1.44	1.71	0.91	K2O	2.06	0.31
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Chlorine	0.59	0.70	0.41		0.70	0.21
Aluminium	0.34	0.41	0.31	Al2O3	0.77	0.17
Phosphorus	0.41	0.48	0.32	P2O5	1.10	0.18
Total:	84.23	100.00	100.00			

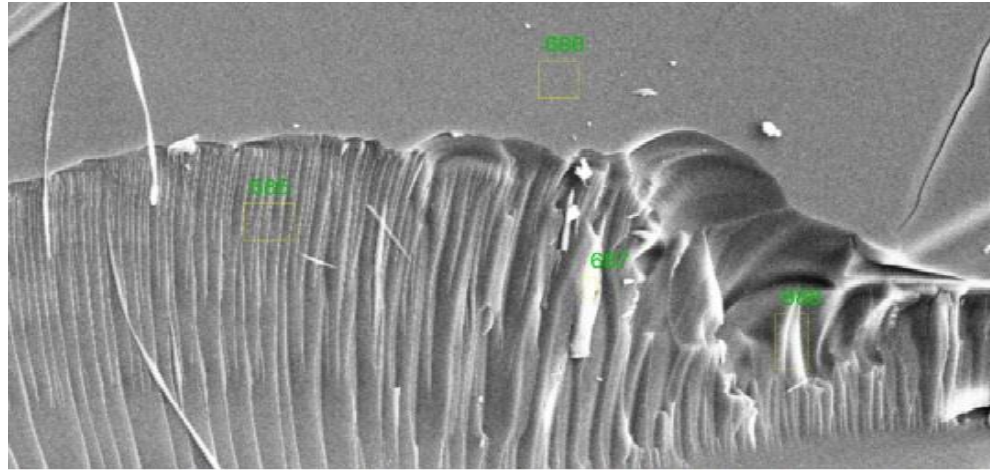
HC-19b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 680).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	29.75	44.24	57.06		0.00	13.56
Silicon	19.12	28.44	20.89	SiO2	60.84	2.56
Sodium	11.88	17.67	15.86	Na2O	23.82	2.42
Aluminium	3.22	4.80	3.67	Al2O3	9.06	0.62
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	0.90	1.33	0.70	K2O	1.60	0.25
Calcium	0.71	1.06	0.55	CaO	1.49	0.24
Iron	0.86	1.29	0.47	FeO	1.65	0.36
Chlorine	0.48	0.71	0.41		0.71	0.19
Magnesium	0.27	0.40	0.34	MgO	0.67	0.17
Sulfur	0.04	0.07	0.04	SO3	0.17	0.10
Total:	67.24	100.00	100.00			

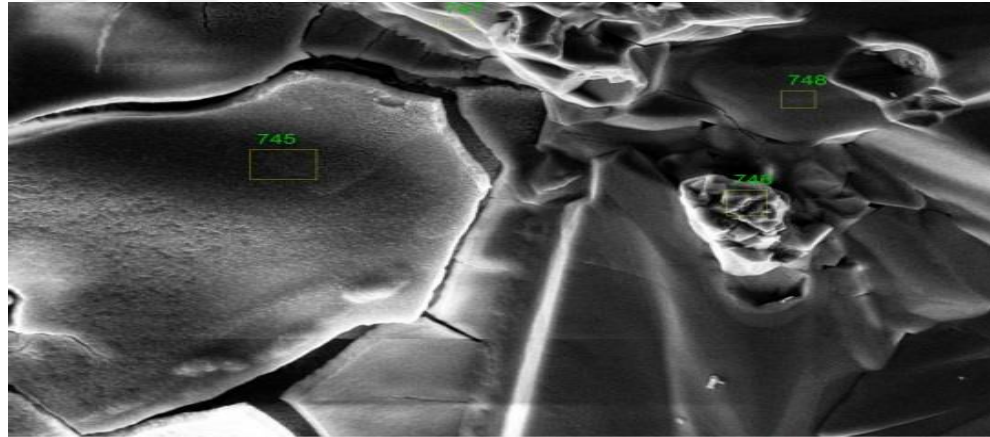
HC-20a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 486).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	37.49	41.71	55.55		0.00	16.85
Silicon	21.02	23.38	17.74	SiO2	50.03	2.80
Sodium	13.51	15.03	13.93	Na2C	20.26	2.73
Calcium	4.73	5.27	2.80	CaC	7.37	0.66
Potassium	4.29	4.77	2.60	K2C	5.75	0.60
Aluminium	3.57	3.97	3.14	Al2O3	7.51	0.67
Magnesium	3.12	3.47	3.05	MgC	5.76	0.68
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Iron	1.20	1.33	0.51	FeC	1.71	0.42
Chlorine	0.57	0.64	0.38		0.64	0.20
Phosphorus	0.38	0.43	0.29	P2O5	0.98	0.18
Total:	89.89	100.00	100.00			

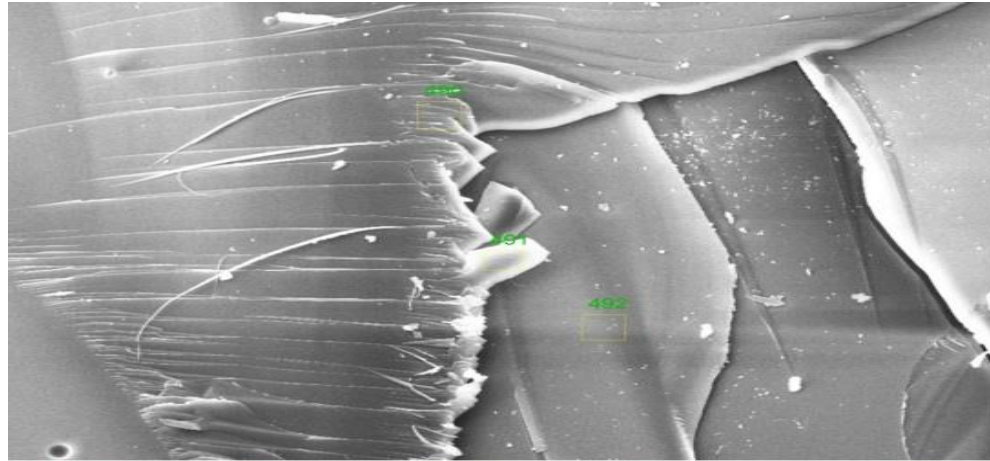
HC-20b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 685).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	40.08	45.21	60.77		0.00	17.68
Silicon	25.69	28.98	22.19	SiO2	62.00	3.43
Magnesium	12.86	14.51	12.84	MgO	24.06	2.26
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Arsenic	4.56	5.14	1.48		5.14	0.97
Zirconium	3.31	3.73	0.88	ZrO2	5.04	0.66
Sodium	0.73	0.83	0.77	Na2O	1.11	0.31
Calcium	0.67	0.76	0.41	CaO	1.06	0.25
Aluminium	0.74	0.83	0.67	Al2O3	1.58	0.27
Total:	88.64	100.00	100.00			

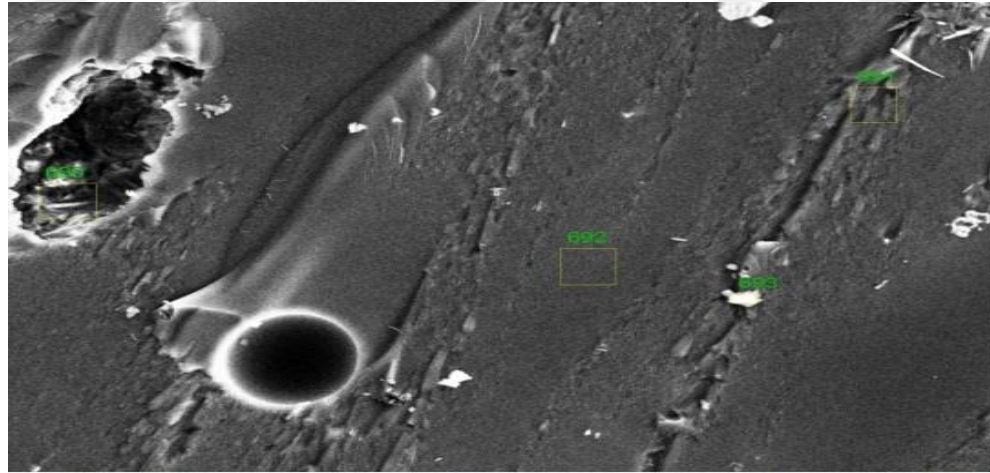
HC-20c cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 745).

EK-2 (devam)



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	13.38	34.47	25.42	SiO ₂	73.75	1.83
Oxygen	18.06	46.53	60.22		0.00	10.70
Sodium	3.94	10.15	9.14	Na ₂ O	13.68	0.92
Calcium	1.50	3.86	1.99	CaO	5.40	0.32
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	0.92	2.36	1.25	K ₂ O	2.85	0.24
Aluminium	0.55	1.41	1.08	Al ₂ O ₃	2.66	0.20
Magnesium	0.26	0.68	0.58	MgO	1.13	0.16
Chlorine	0.21	0.54	0.31		0.54	0.14
Total:	38.80	100.00	100.00			

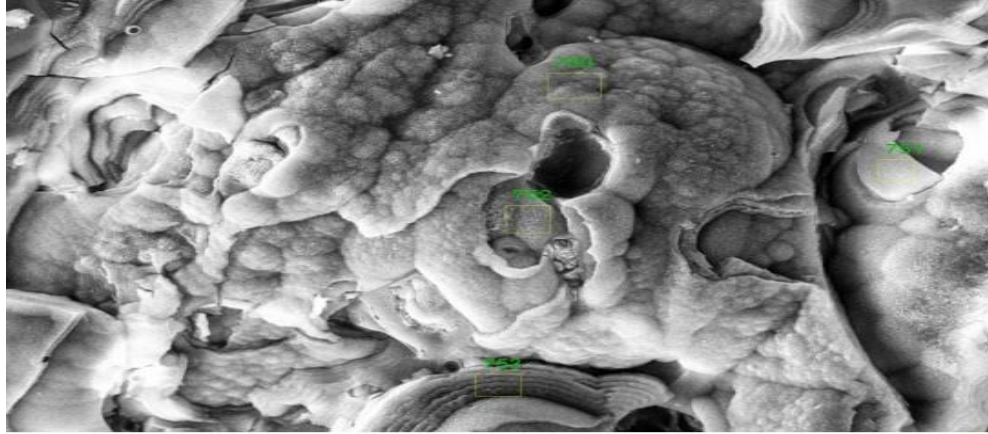
HC-21a cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 490).



Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	25.93	44.15	59.30		0.00	12.81
Silicon	16.28	27.73	21.21	SiC ₂	59.32	2.20
Calcium	8.73	14.66	7.97	CaO	20.79	1.02
Sodium	5.65	9.62	8.99	Na ₂ O	12.96	1.26
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	0.60	1.01	0.56	K ₂ O	1.22	0.21
Magnesium	0.45	0.77	0.68	MgO	1.28	0.21
Aluminium	0.16	0.28	0.22	Al ₂ C ₃	0.52	0.14
Phosphorus	0.14	0.24	0.17	P ₂ C ₅	0.56	0.13
Sulfur	0.79	1.34	0.90	SC ₃	3.35	0.23
Total:	58.72	100.00	100.00			

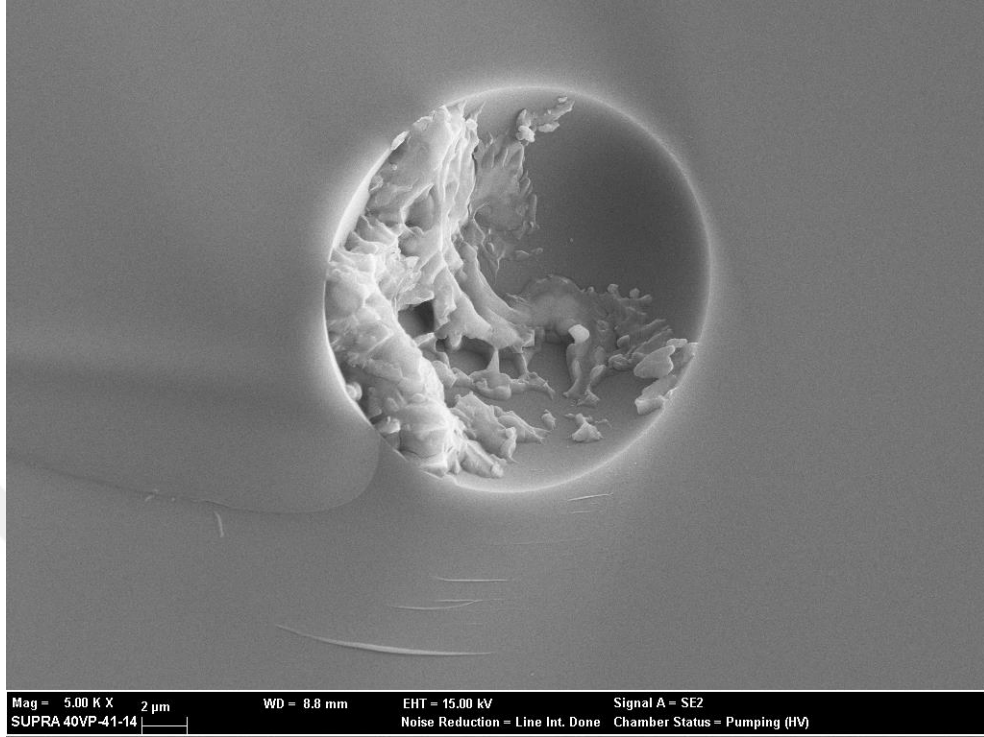
HC-21b cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 690).

EK-2 (devam)

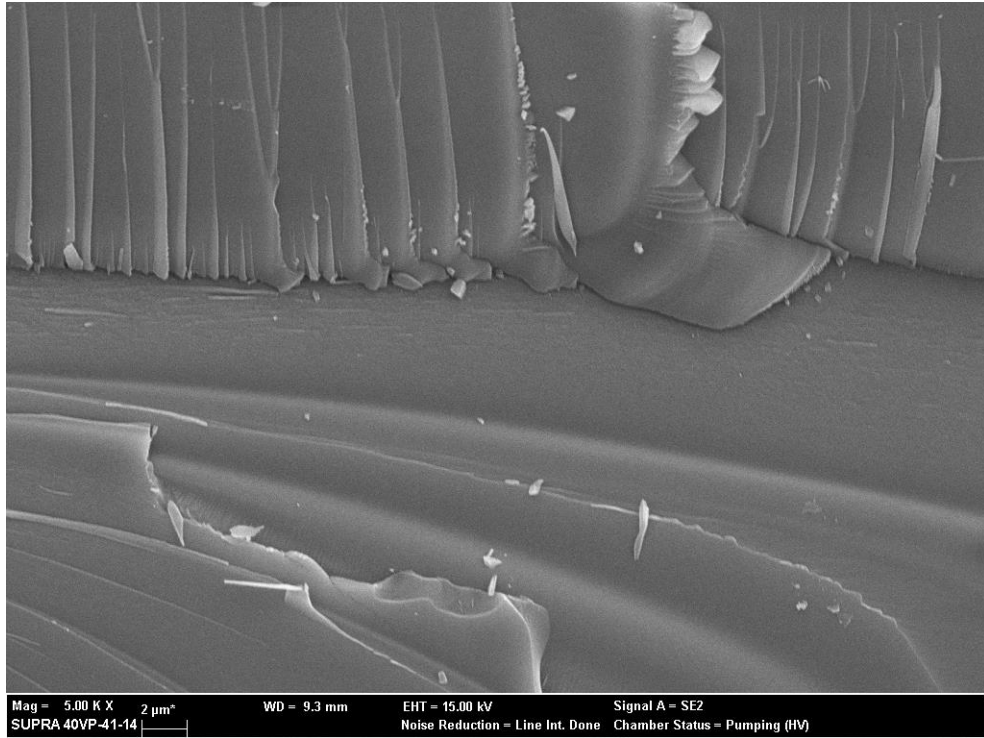


Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Silicon	12.22	32.48	25.39	SiO ₂	69.49	1.75
Oxygen	17.44	46.34	63.61		0.00	14.40
Zirconium	1.78	4.74	1.14	ZrO ₂	6.40	0.46
Aluminium	1.58	4.20	3.42	Al ₂ O ₃	7.93	0.40
Carbon	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Potassium	1.38	3.67	2.06	K ₂ O	4.42	0.34
Calcium	1.25	3.33	1.83	CaO	4.67	0.34
Magnesium	0.37	0.97	0.88	MgO	1.61	0.21
Iron	1.60	4.26	1.68	FeO	5.48	0.55
Total:	37.62	100.00	100.00			

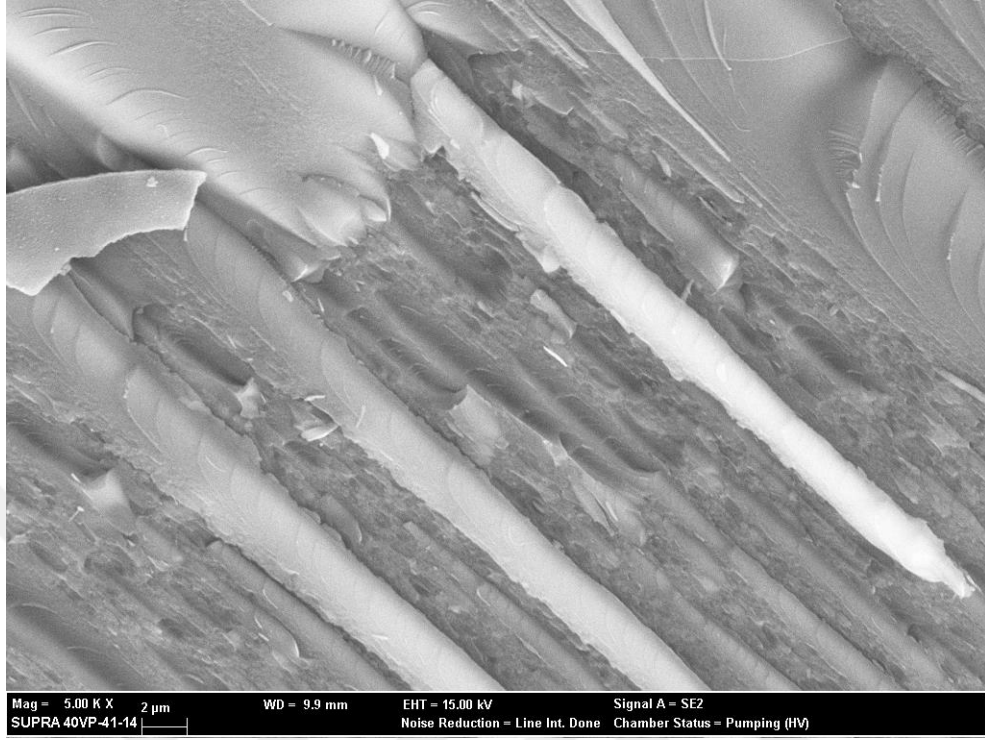
HC-21c cam örneğinin bölgesel EDX tarama sonuçları (Spektrum 750).

EK-3 Cam örneklerin yüksek büyütmeli SEM görüntüleri.

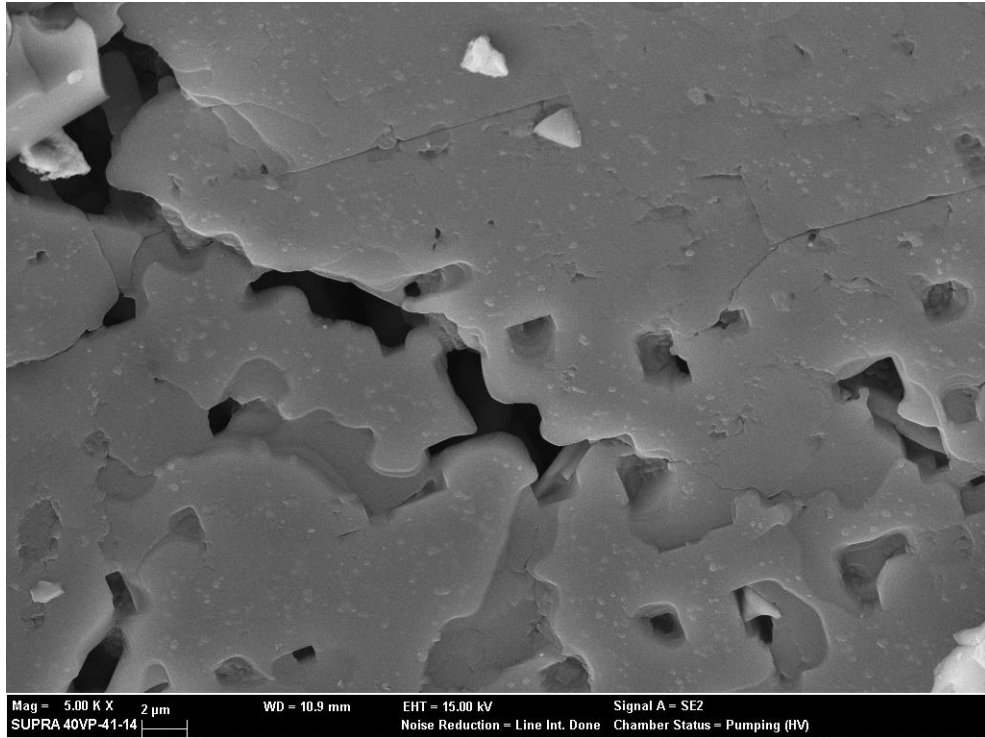
HC-1 yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



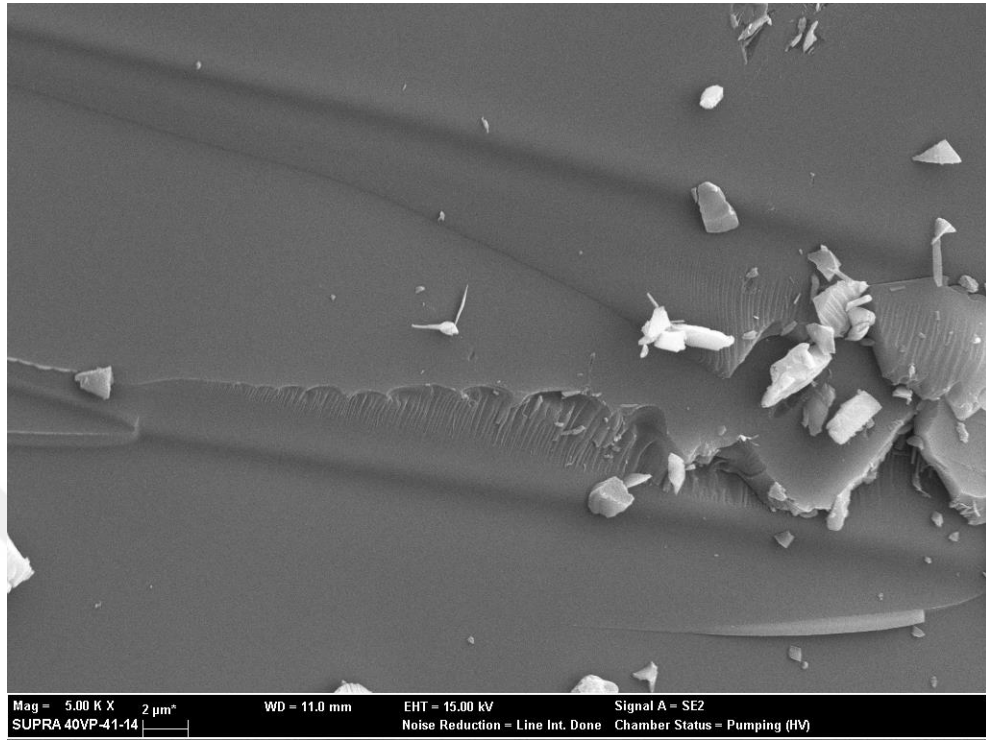
HC-2a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

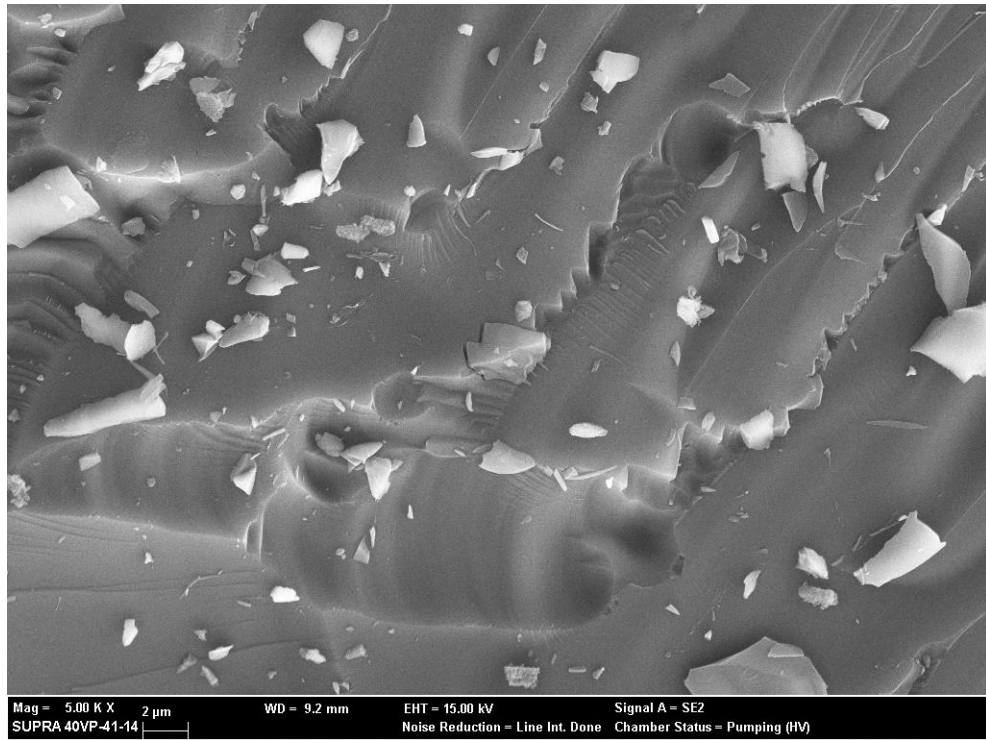
HC-2b yüksek büyötmeli SEM göröntüsü



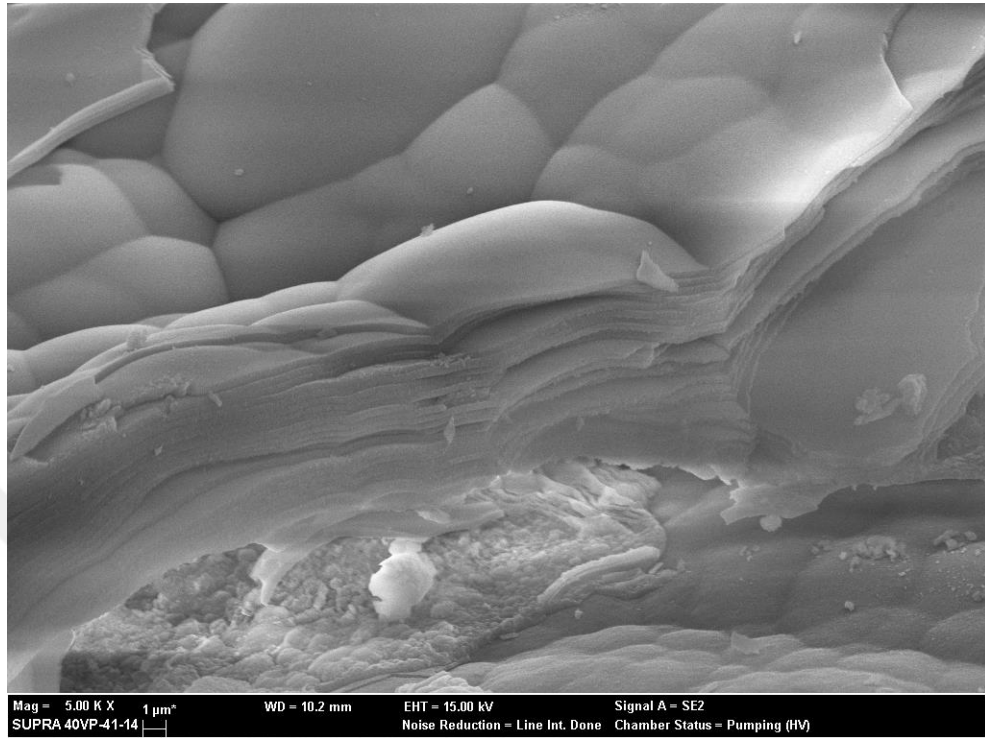
HC-3a yüksek büyötmeli SEM göröntüsü

EK-3 (devamı)

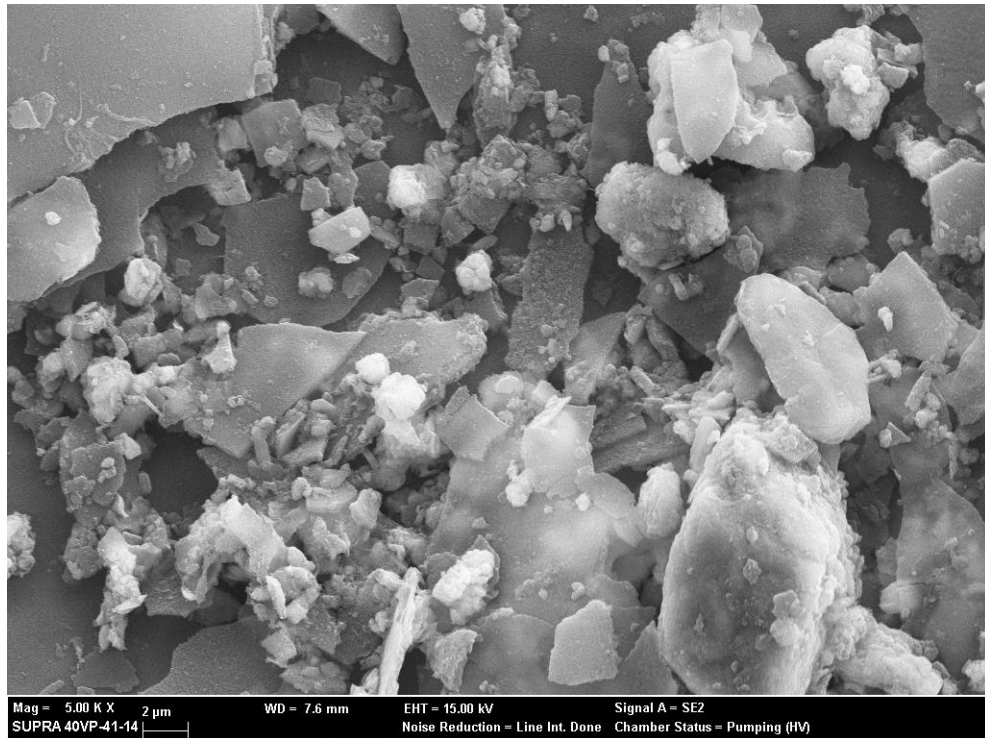
HC-4a yüksek büyötmeli SEM göröntüsü



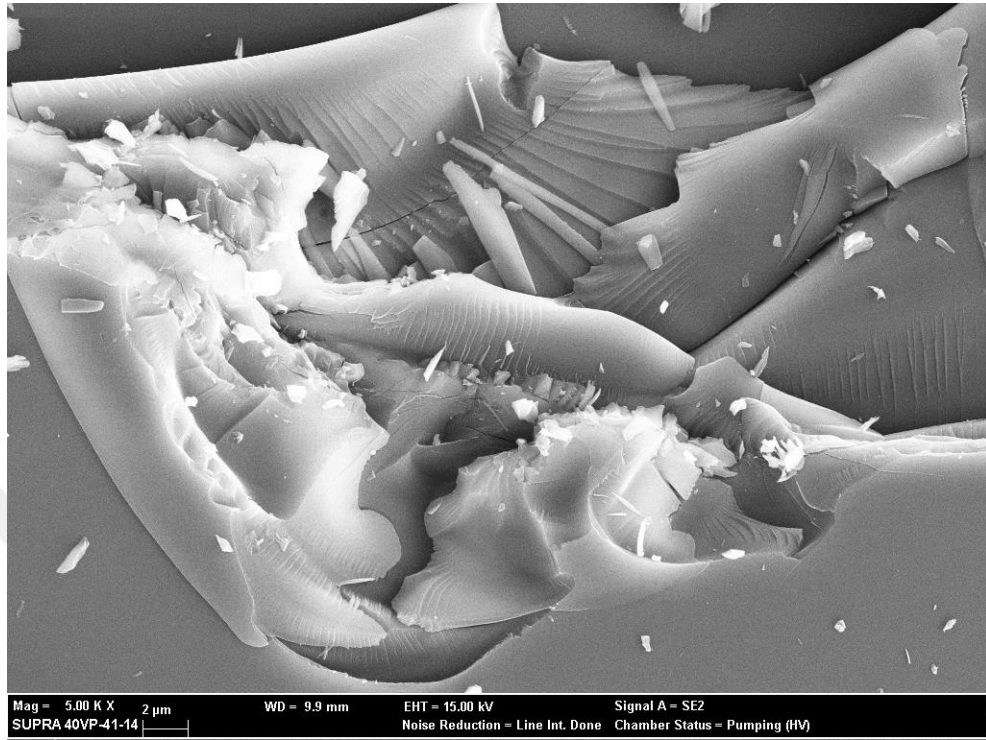
HC-4b yüksek büyötmeli SEM göröntüsü

EK-3 (devamı)

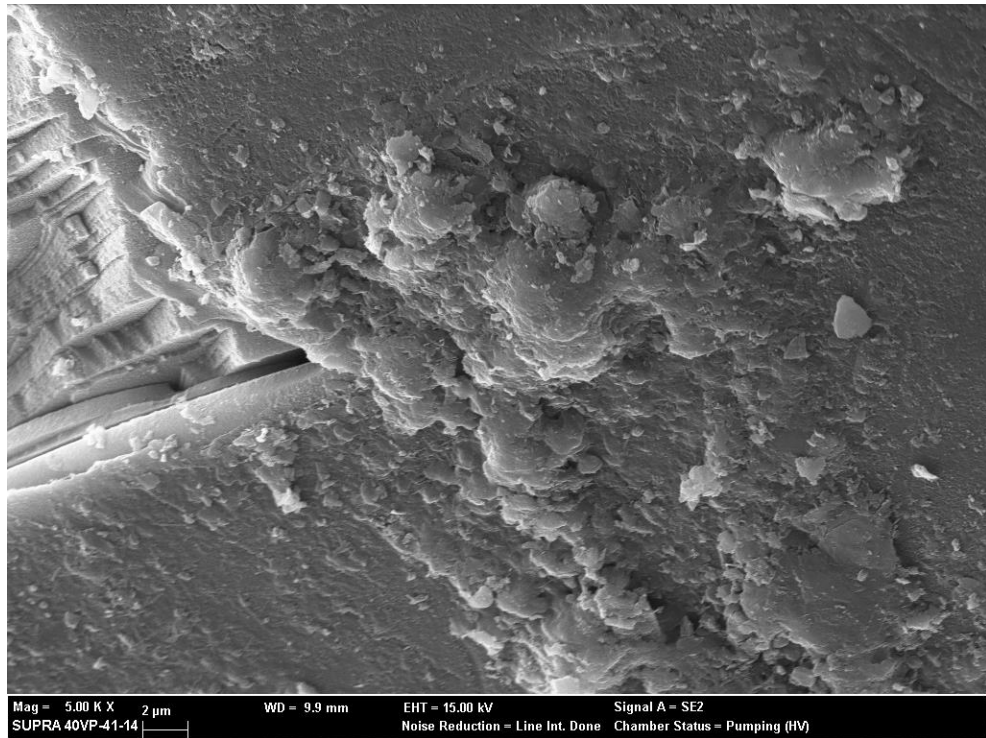
HC-5a yüksek büyötmeli SEM göröntüsü



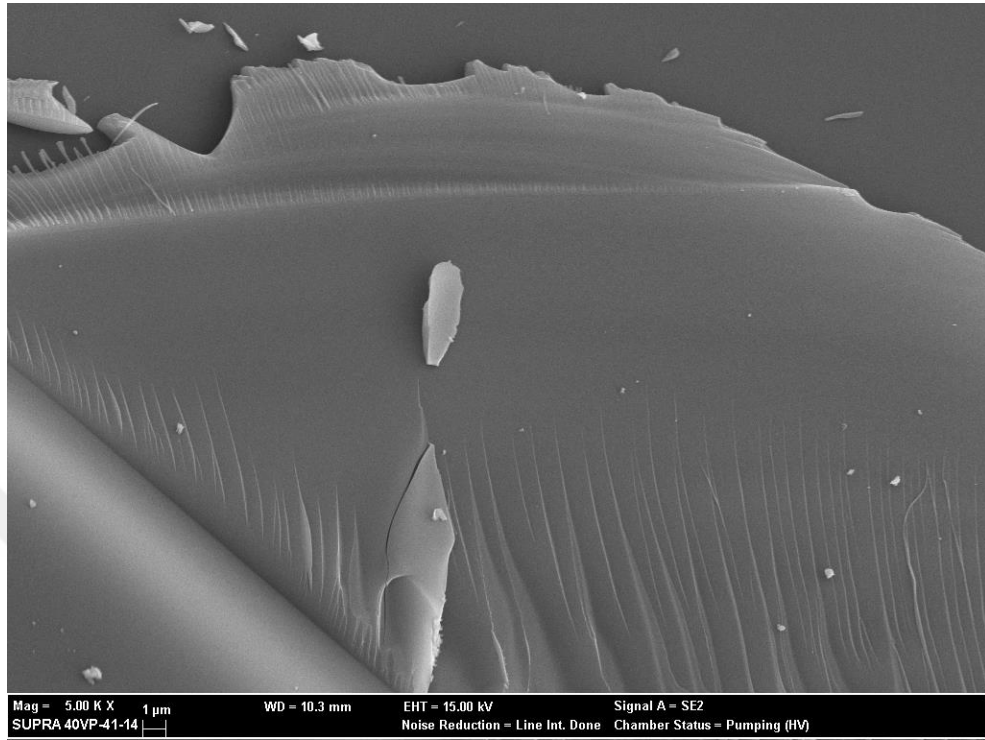
HC-5b yüksek büyötmeli SEM göröntüsü

EK-3 (devamı)

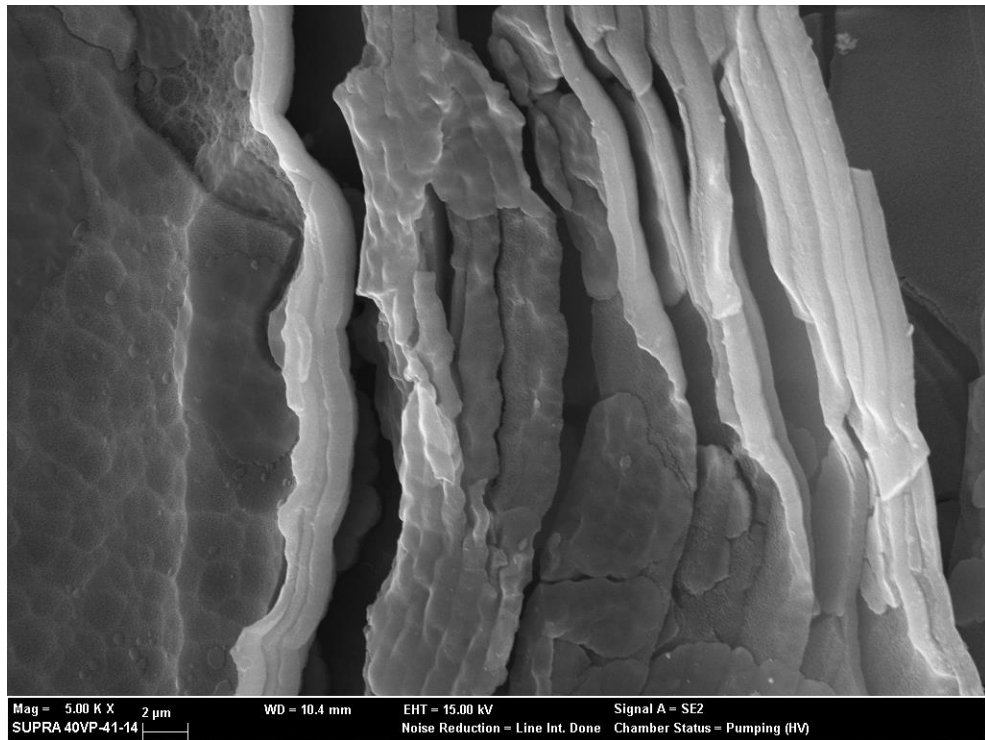
HC-5c yüksek büyütme SEM görüntüsü



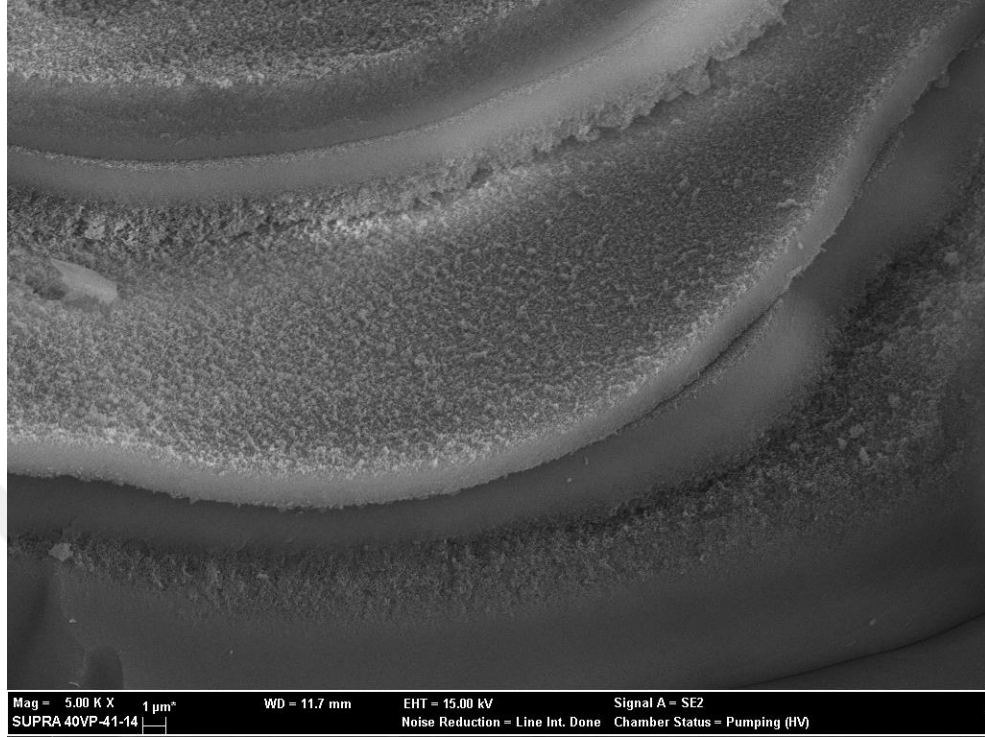
HC-6 yüksek büyütme SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

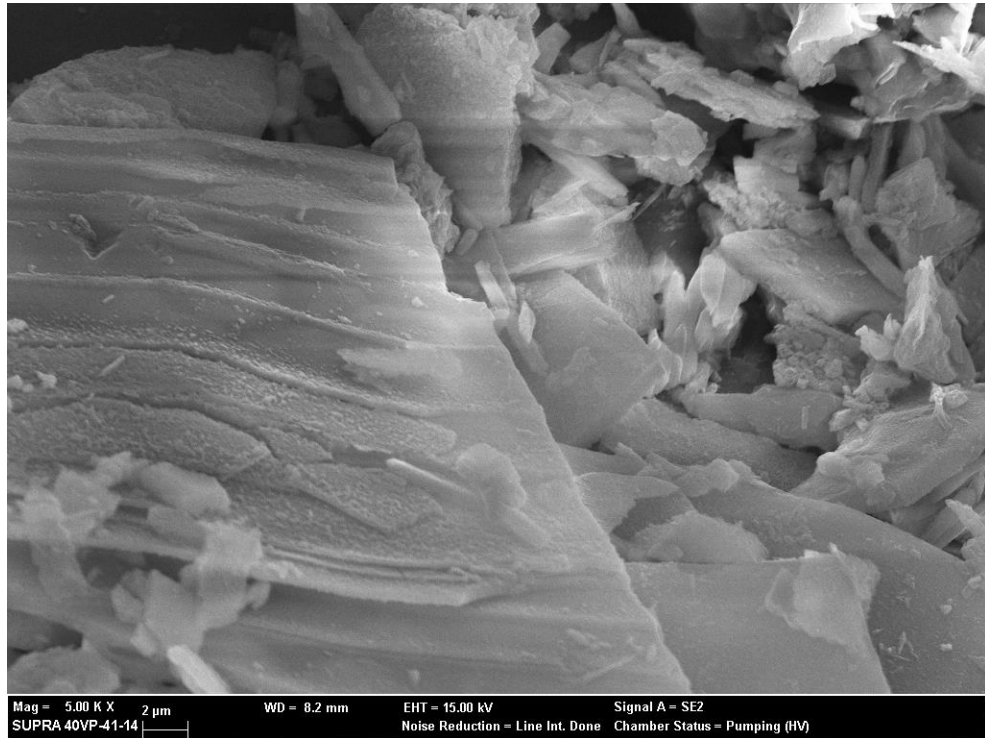
HC-7 yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



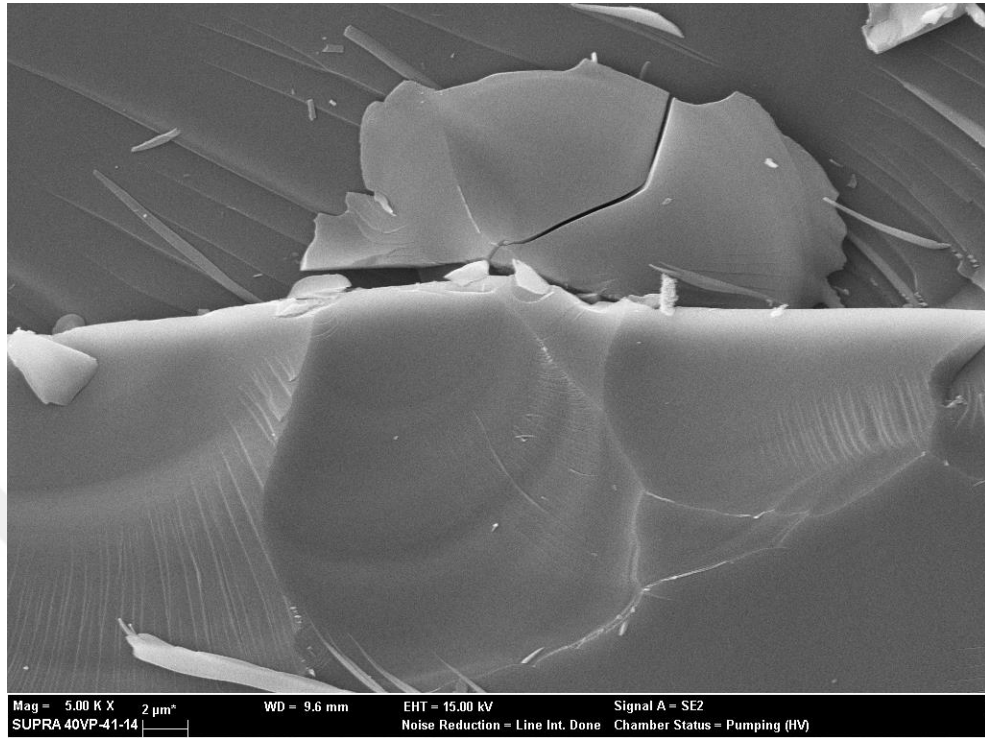
HC-8 yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

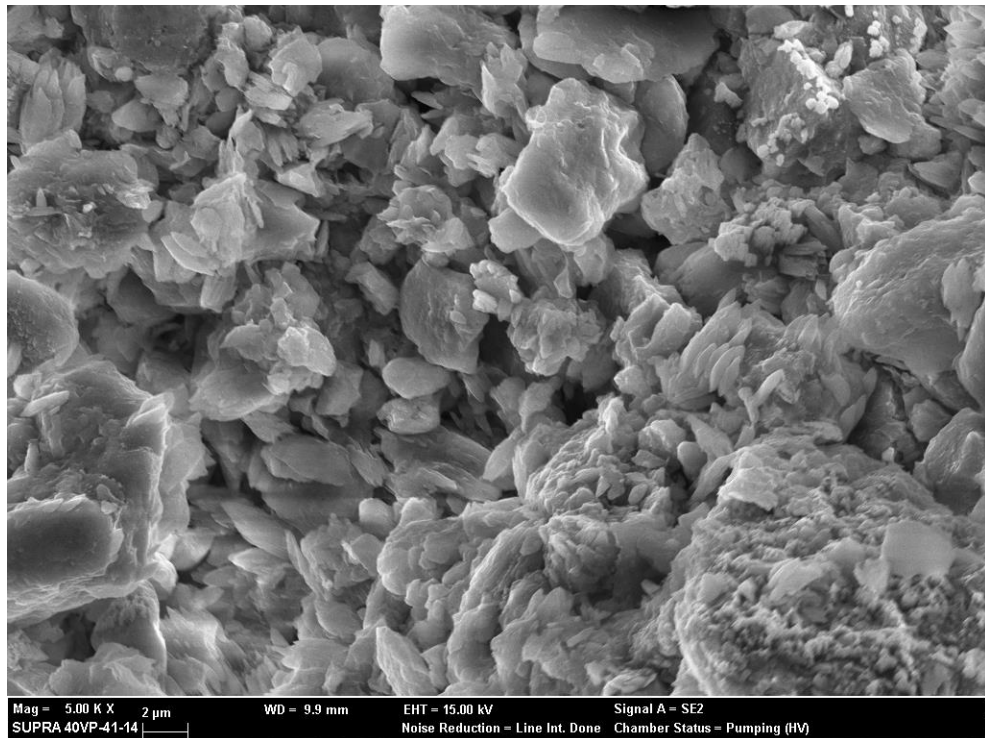
HC-9a yüksek büyütme SEM görüntüsü



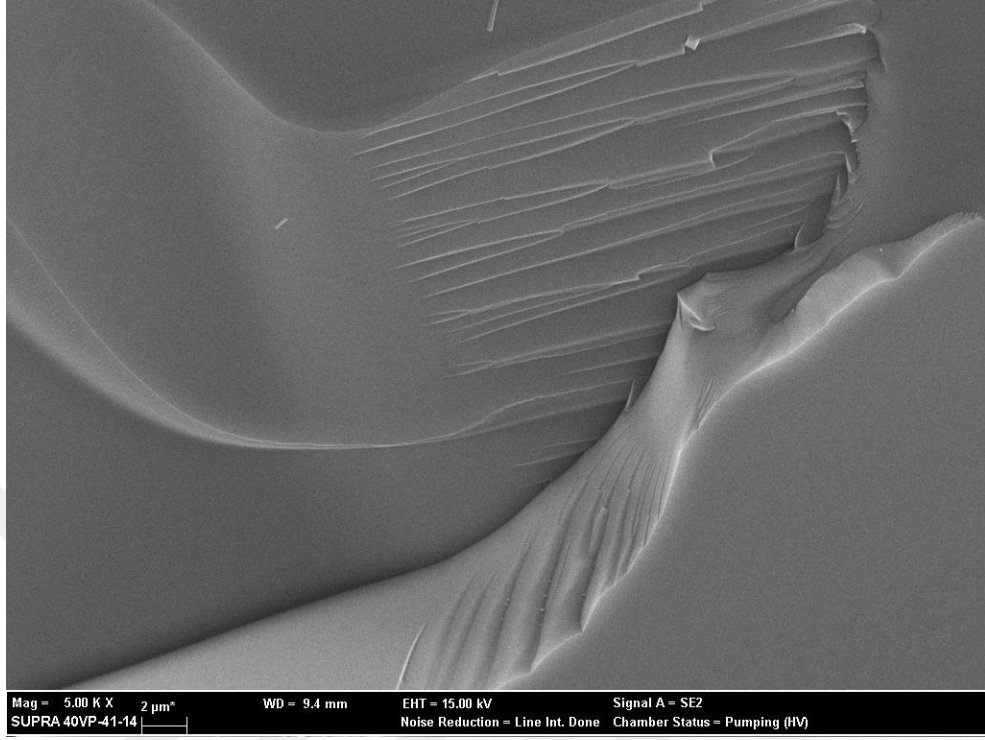
HC-9b yüksek büyütme SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

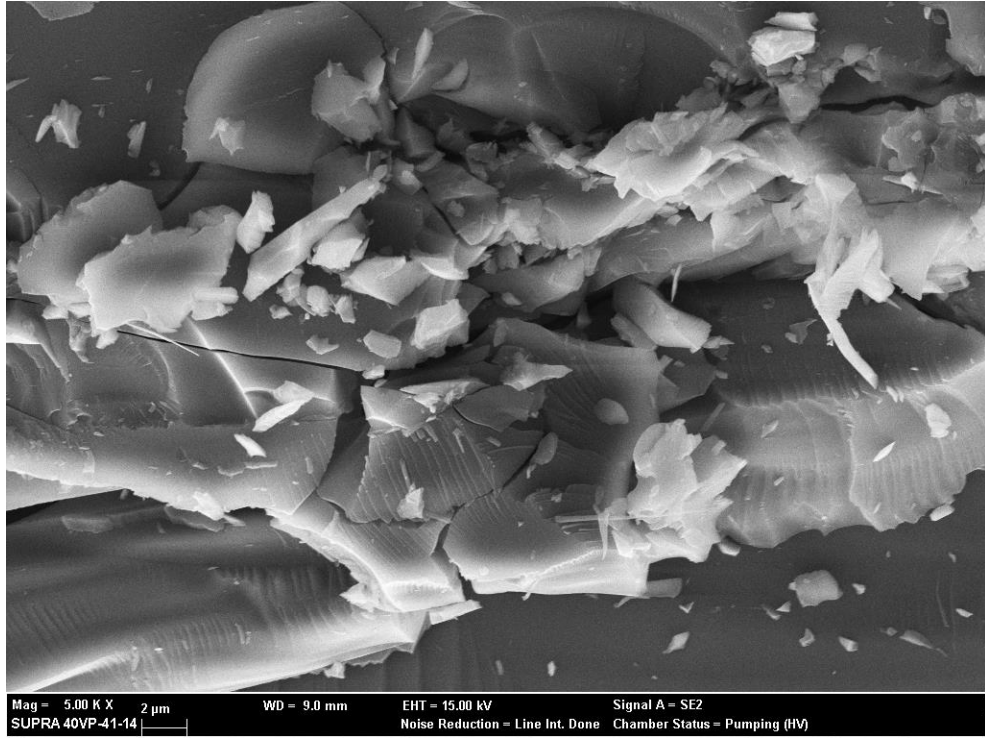
HC-10a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



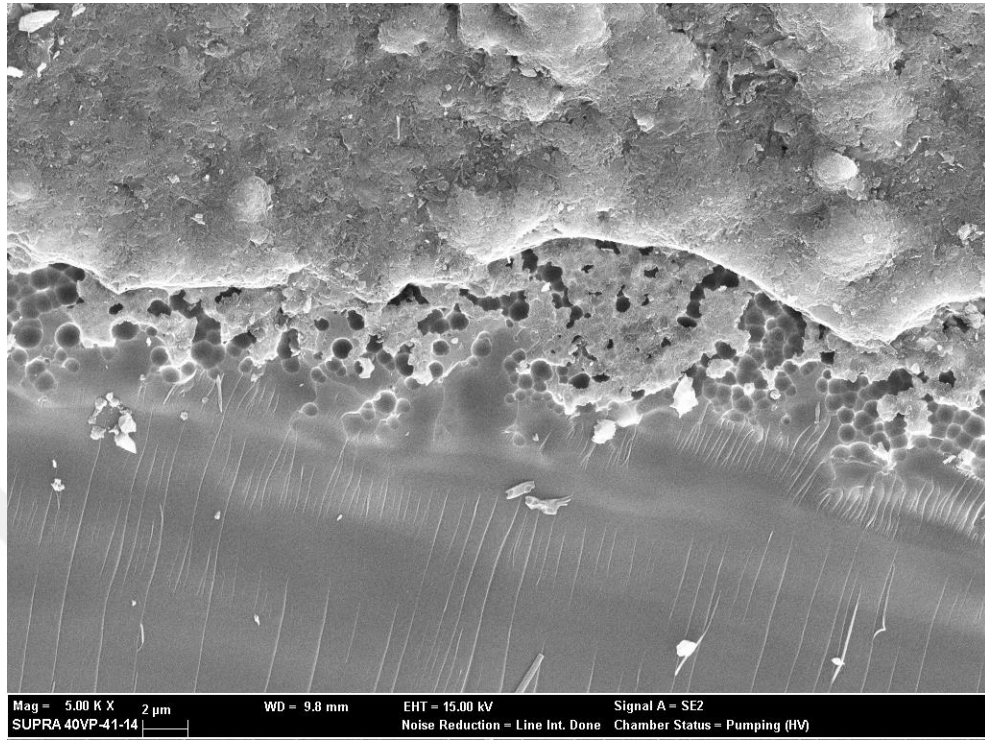
HC-10b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

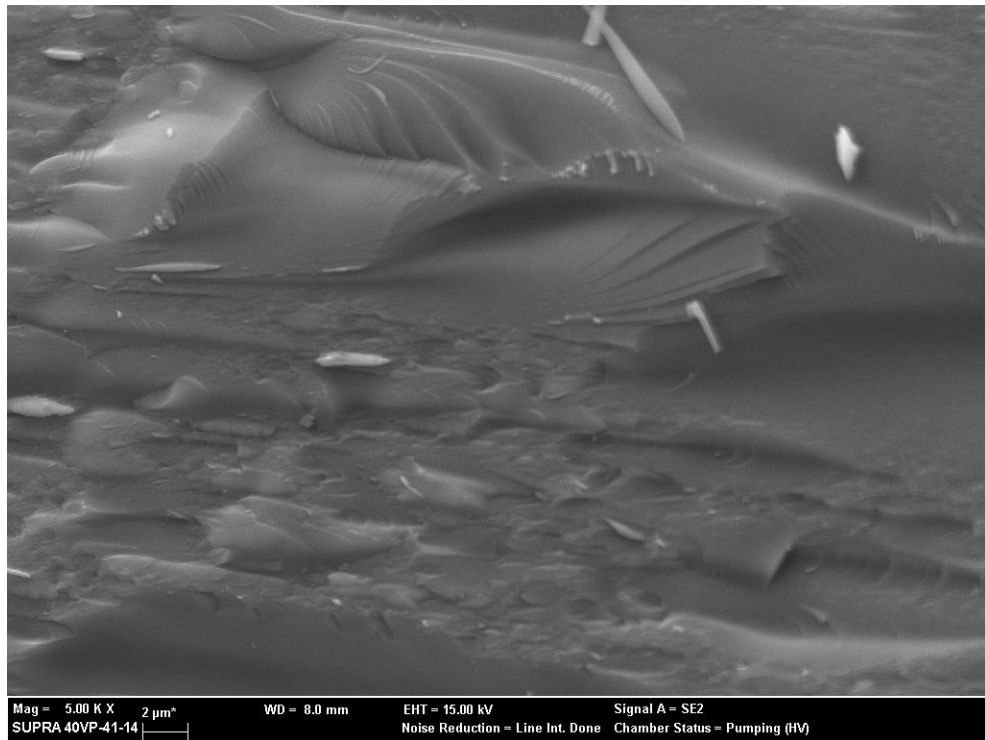
HC-11a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



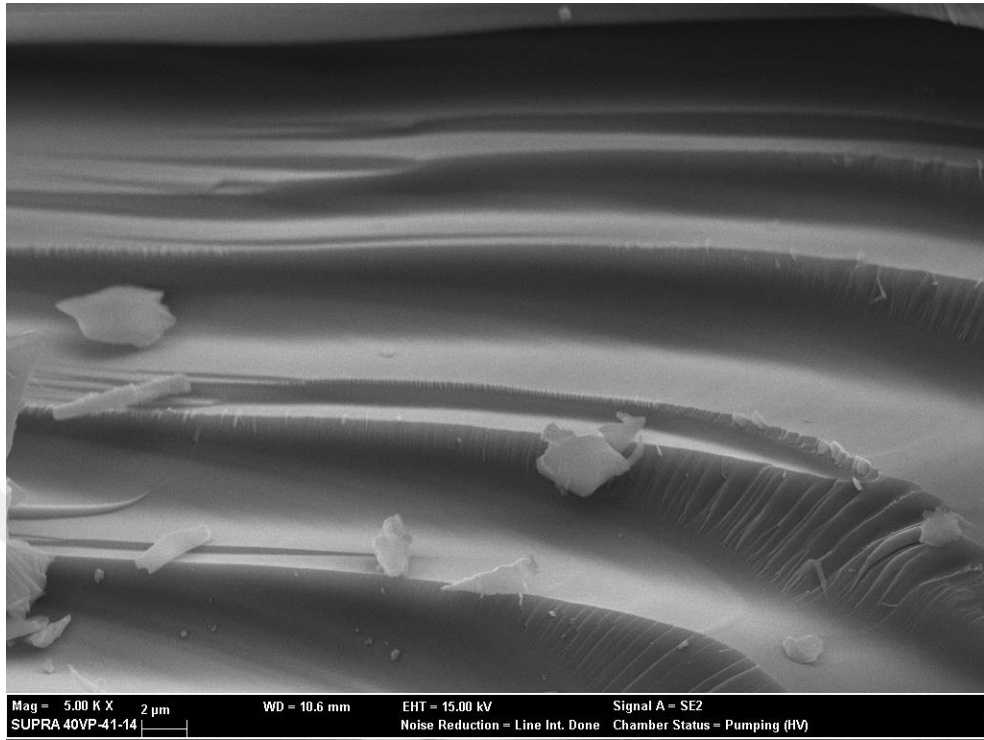
HC-11b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

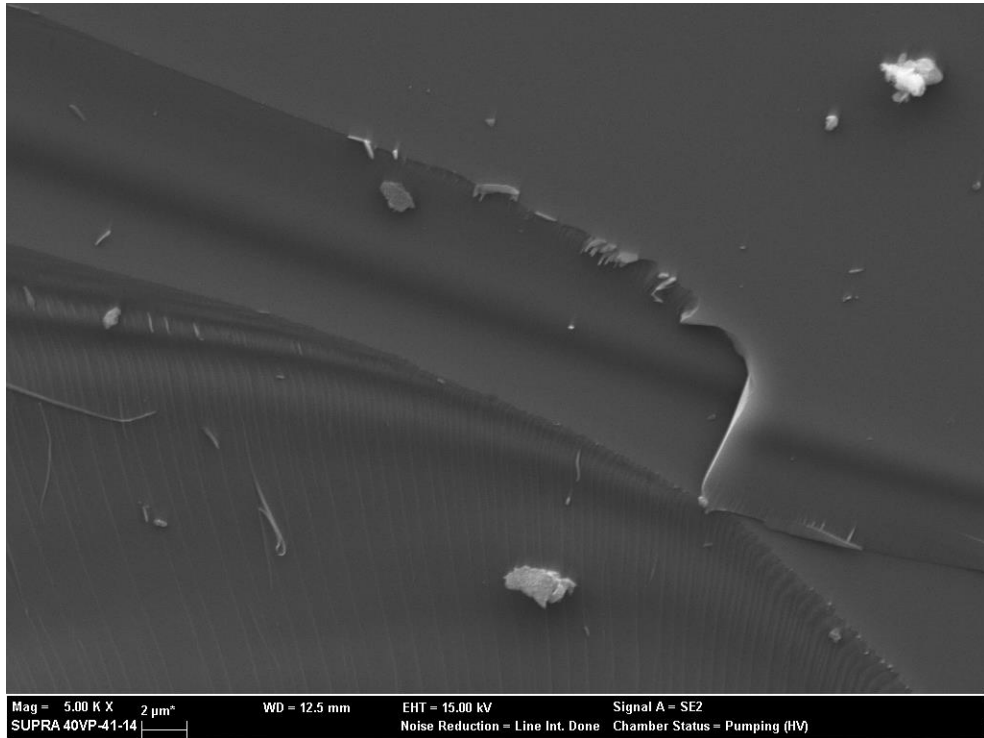
HC-11c yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



HC-12a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

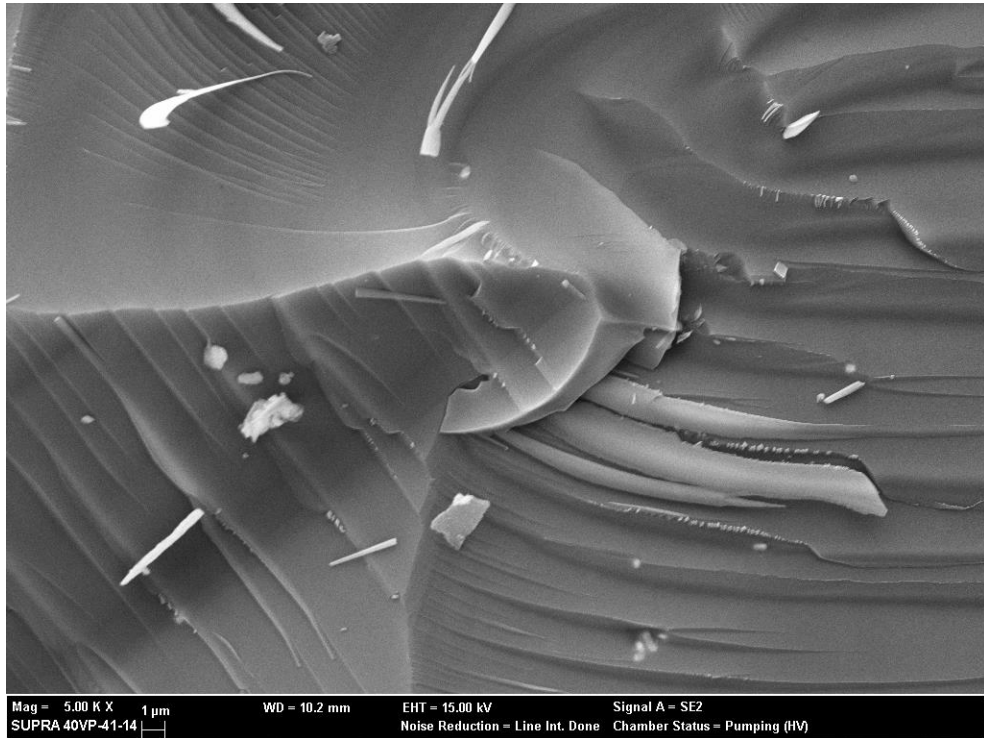
HC-12b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



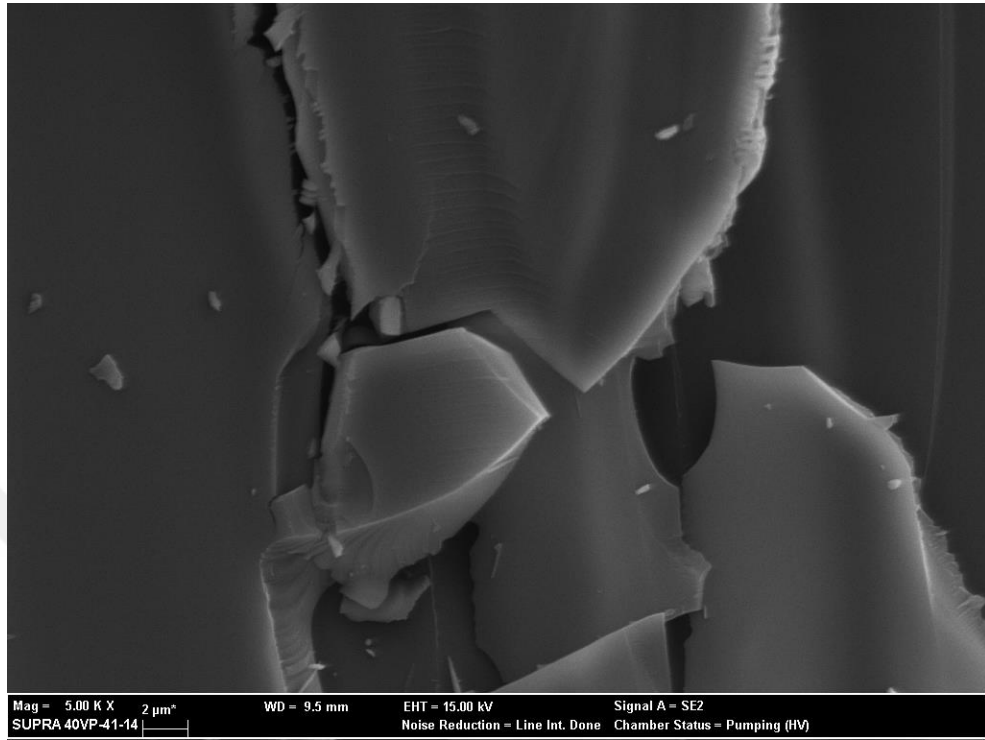
HC-13a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

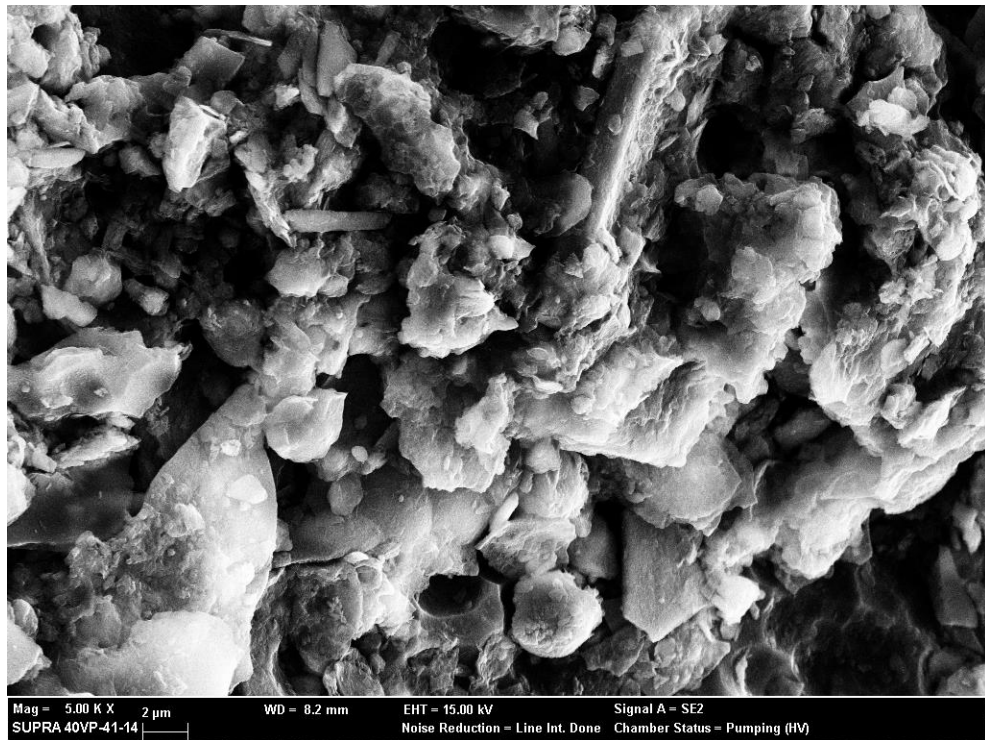
HC-13b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



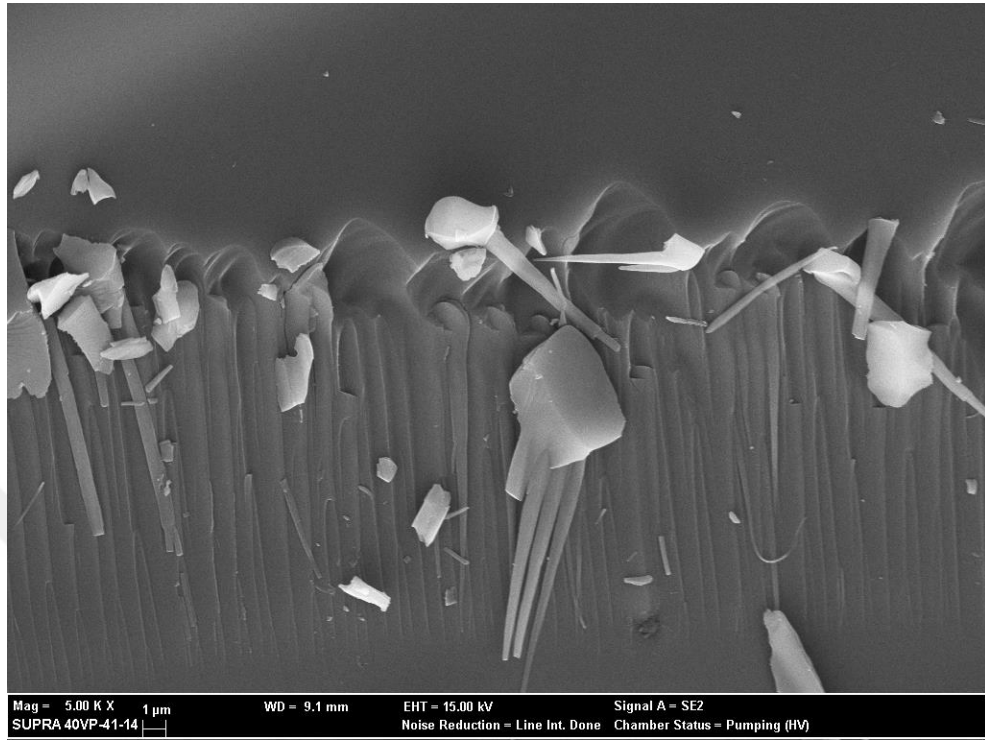
HC-13c yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

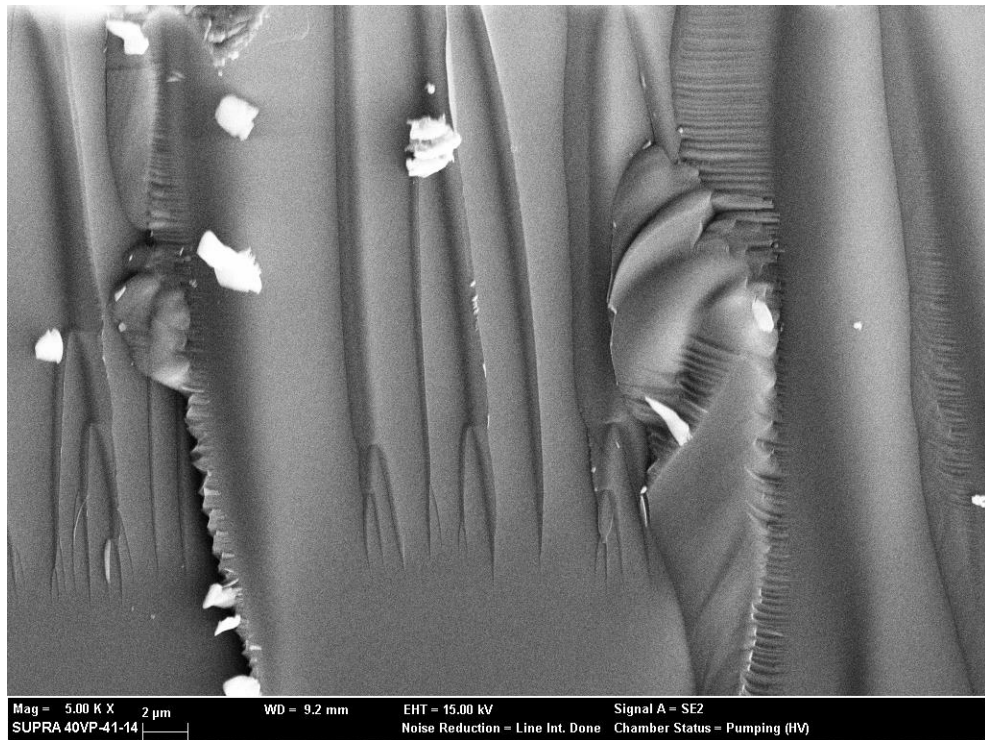
HC-14a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



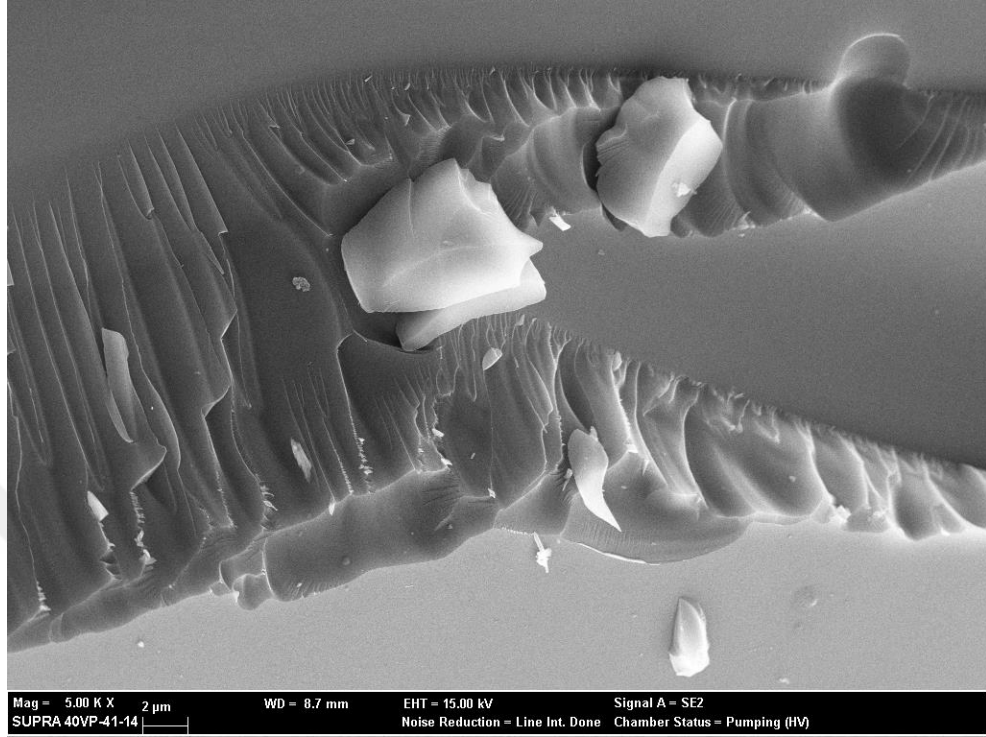
HC-14b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

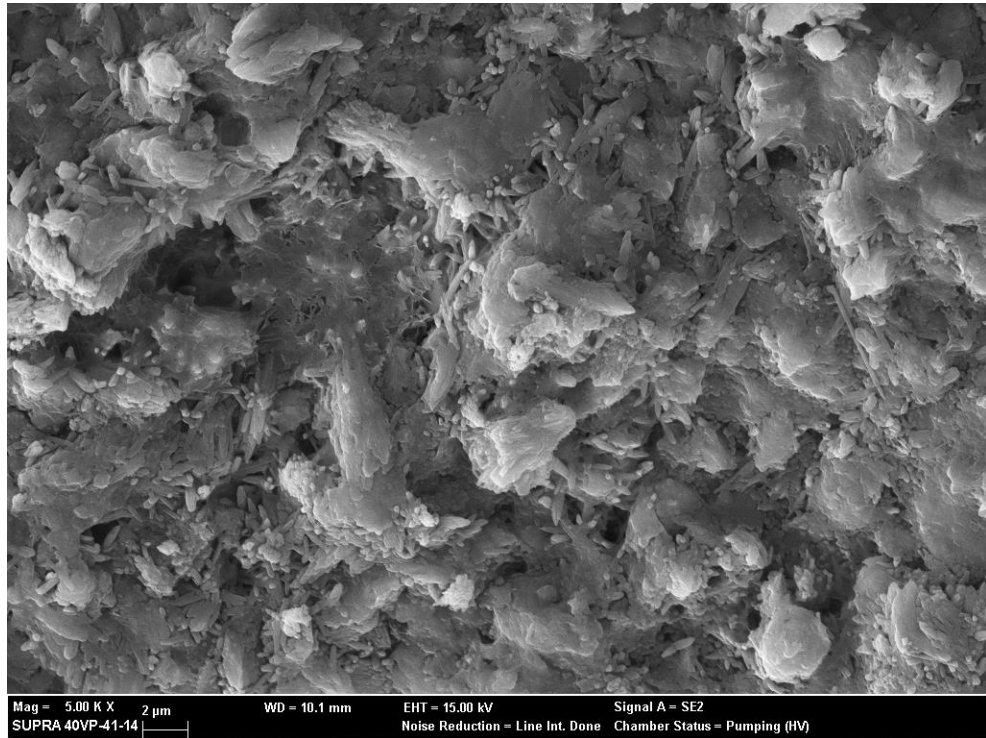
HC-15a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



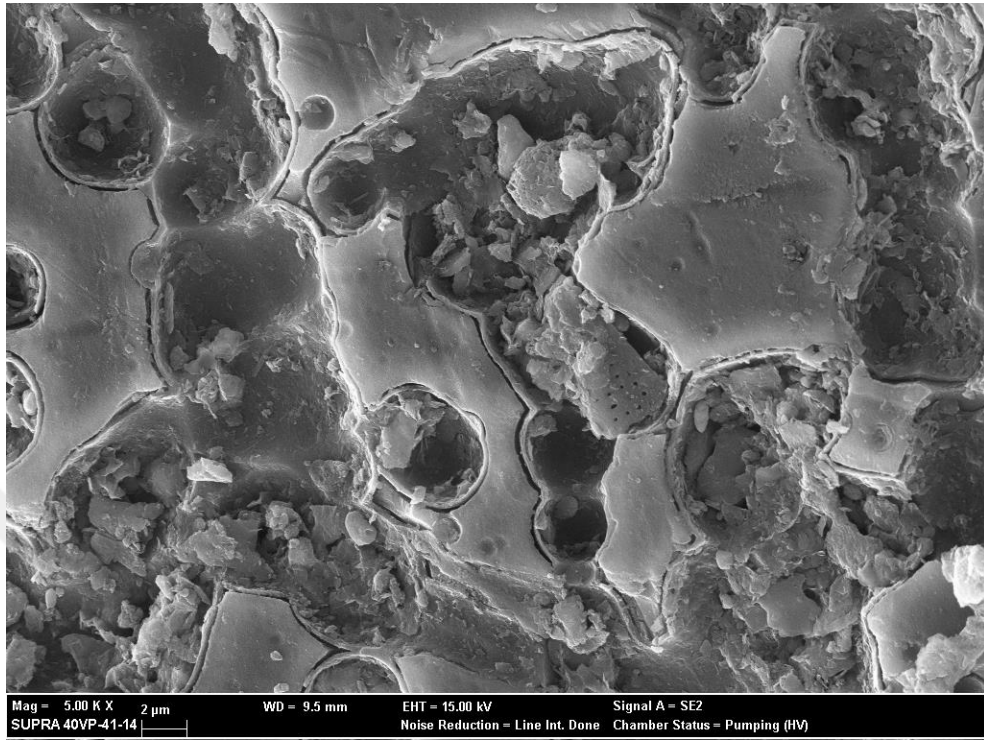
HC-15b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

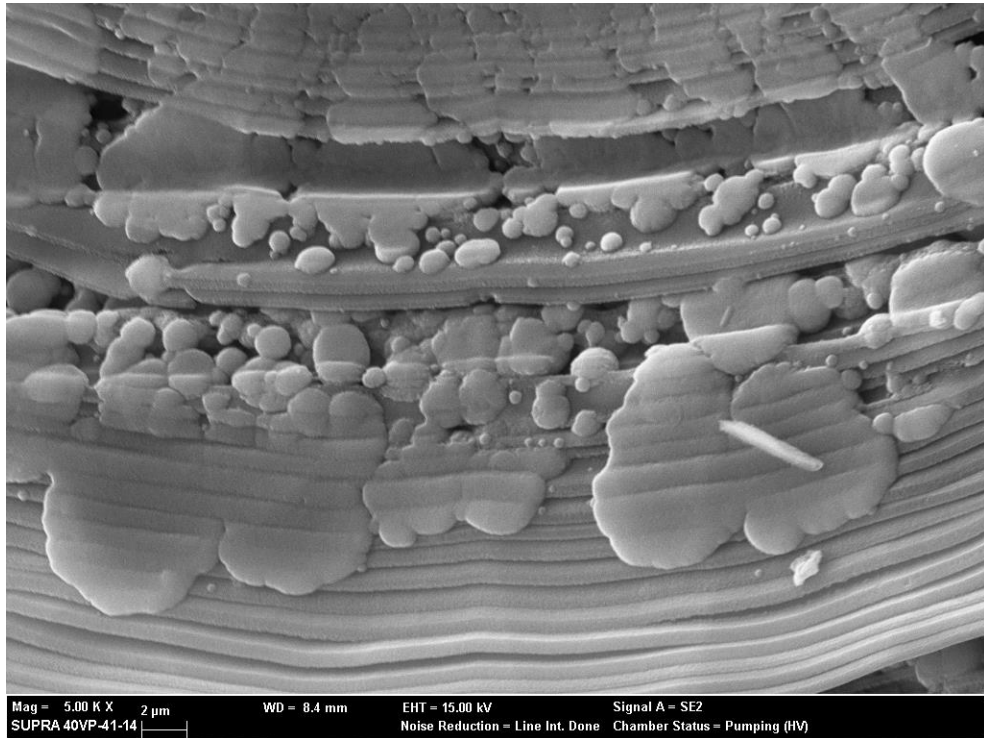
HC-15c yüksek büyütme SEM görüntüsü



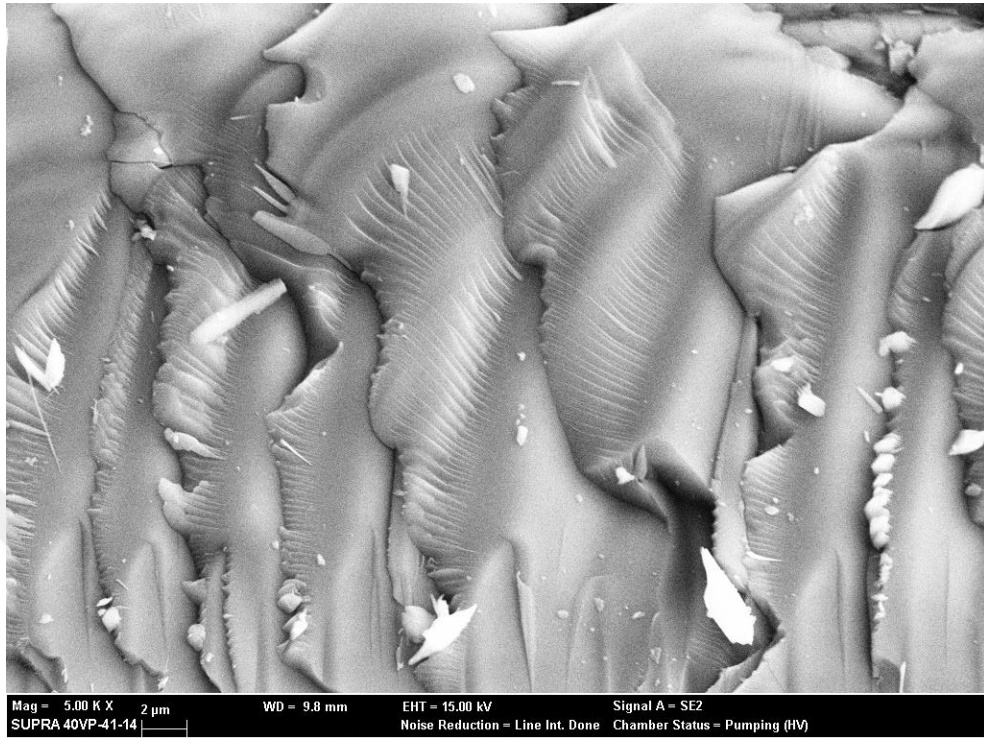
HC-15d yüksek büyütme SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

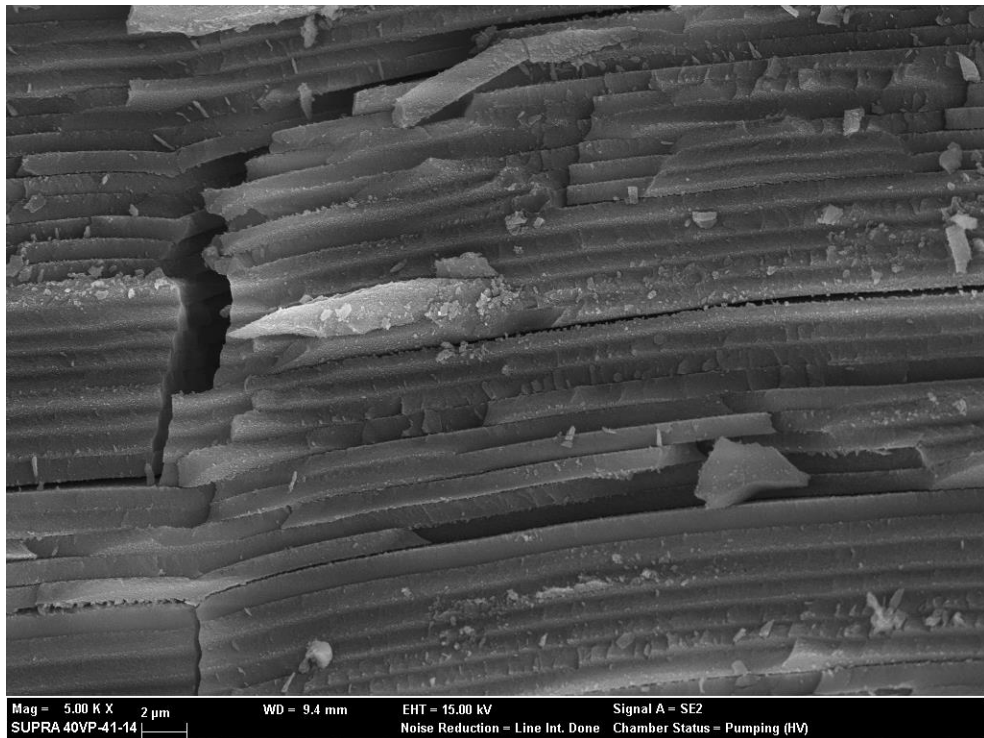
HC-15e yüksek büyütme SEM görüntüsü



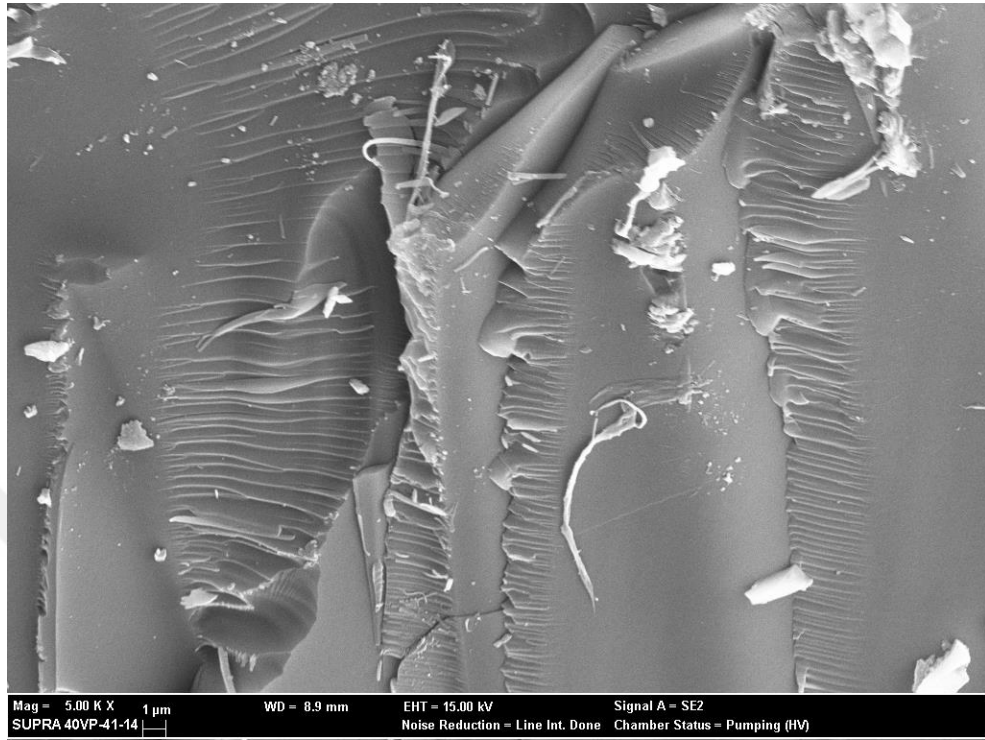
HC-16a yüksek büyütme SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

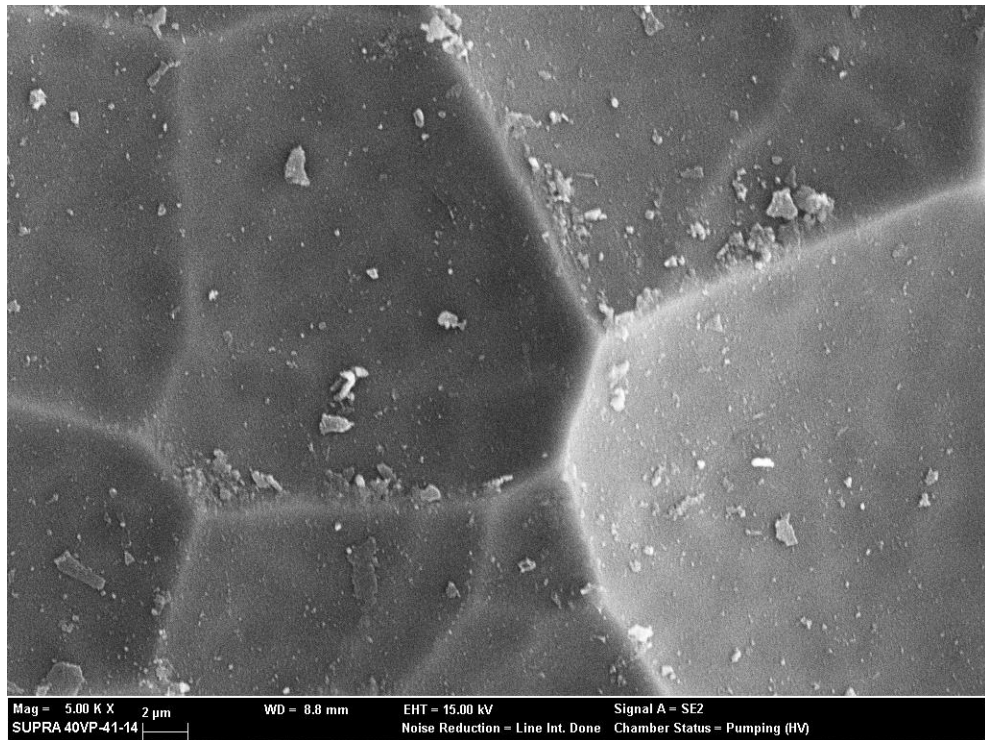
HC-16b yüksek büyütme SEM görüntüsü



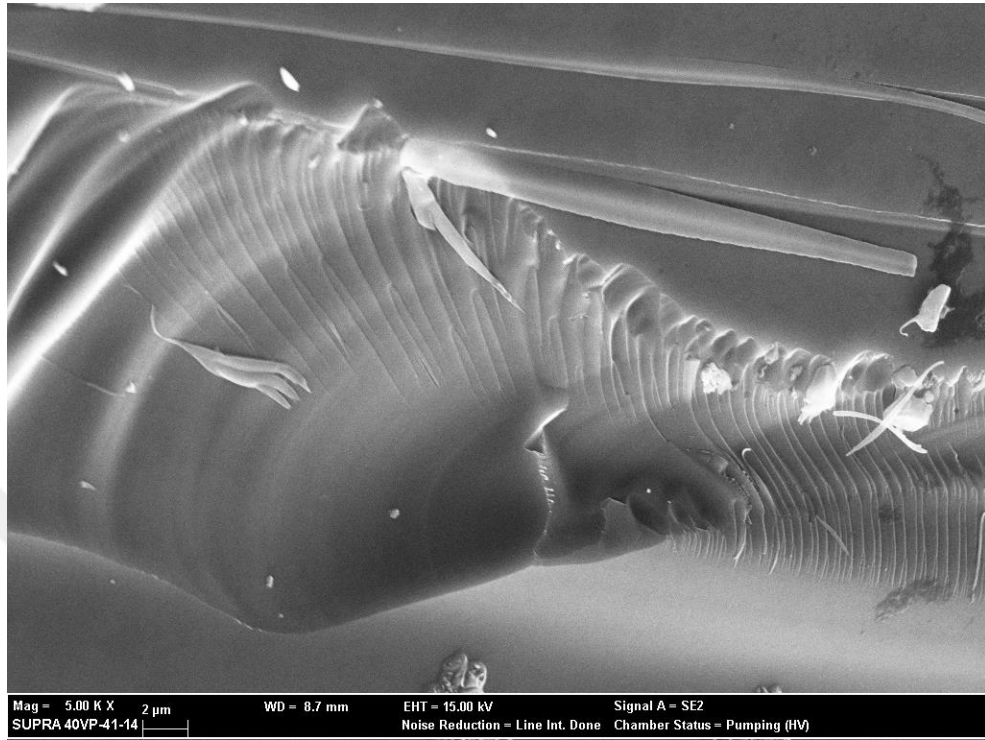
HC-17 yüksek büyütme SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

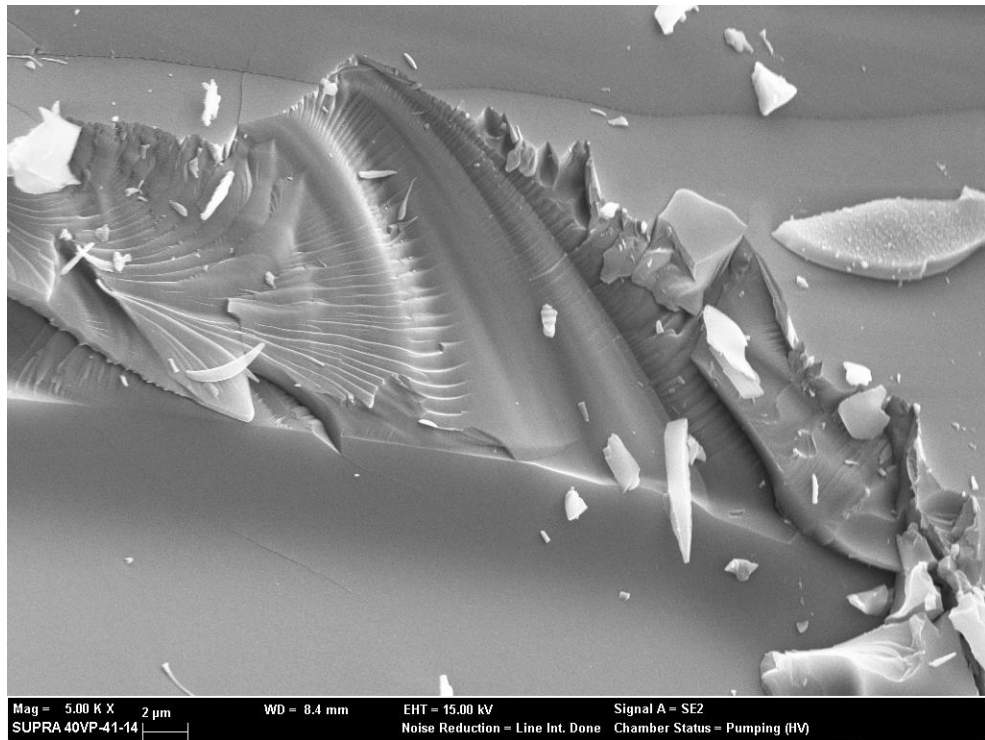
HC-18a yüksek büyütme SEM görüntüsü



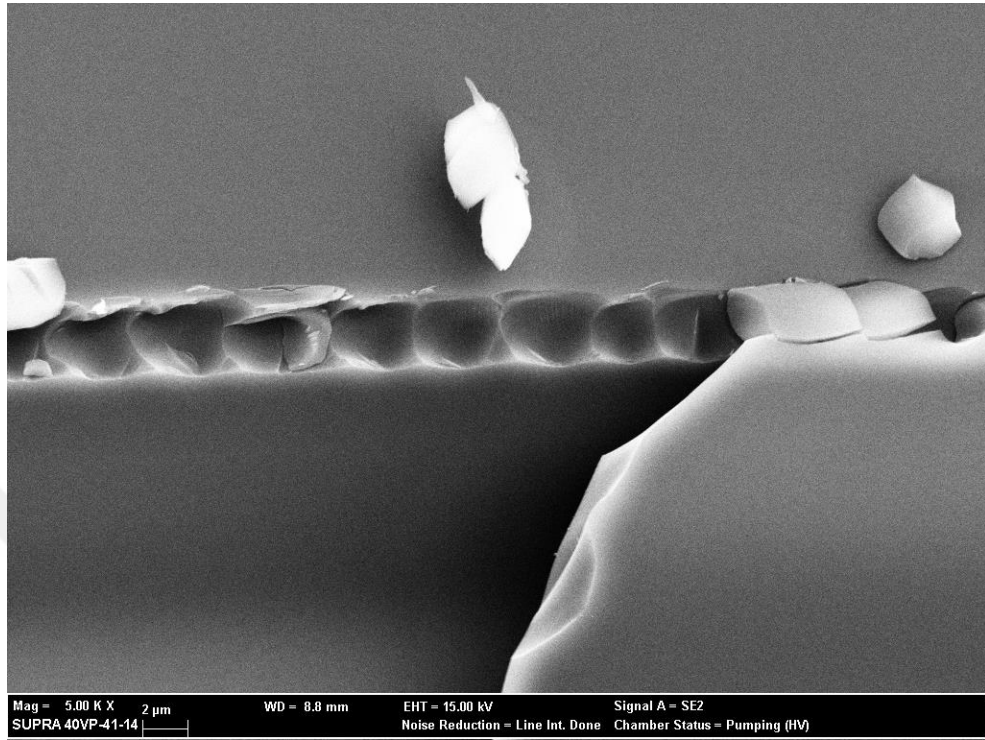
HC-18b yüksek büyütme SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

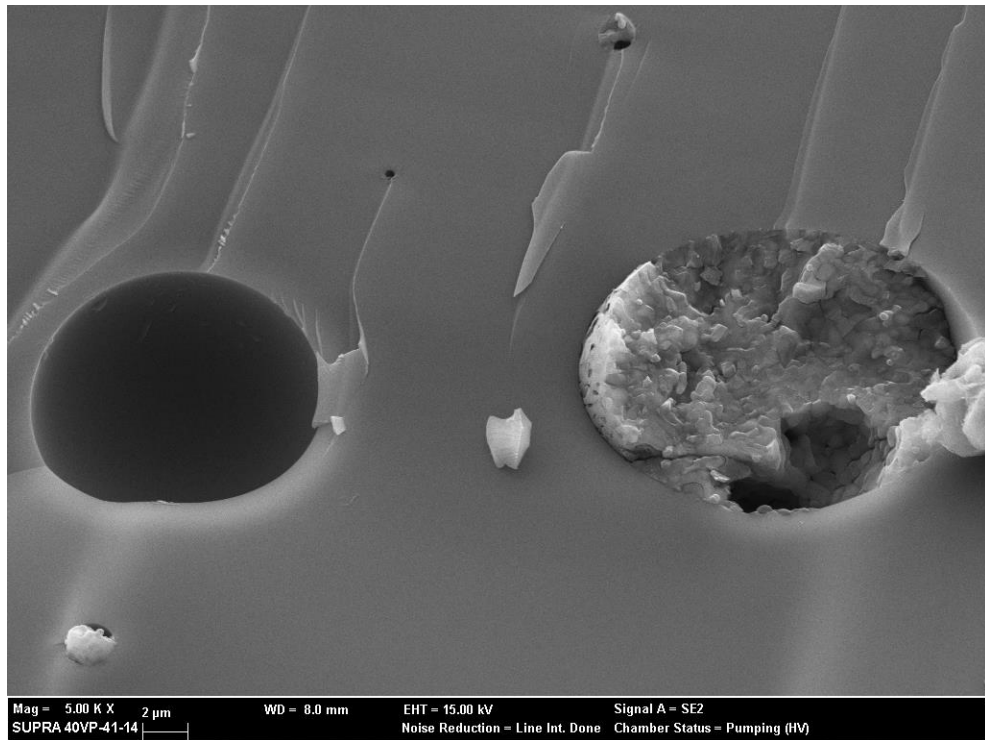
HC-18c yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



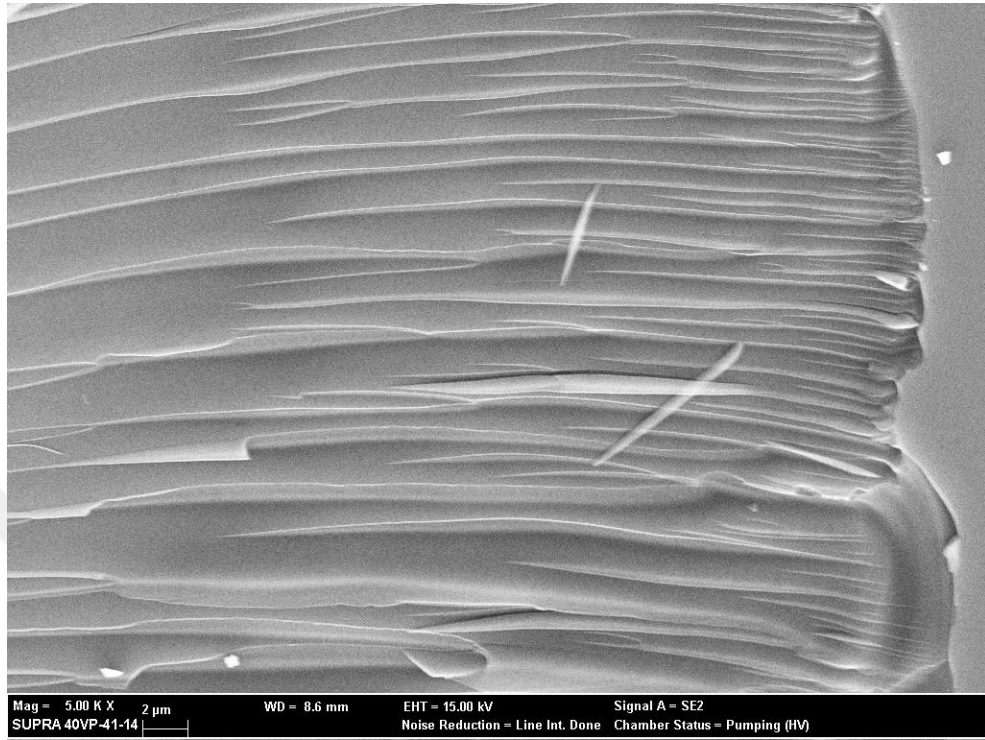
HC-19a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

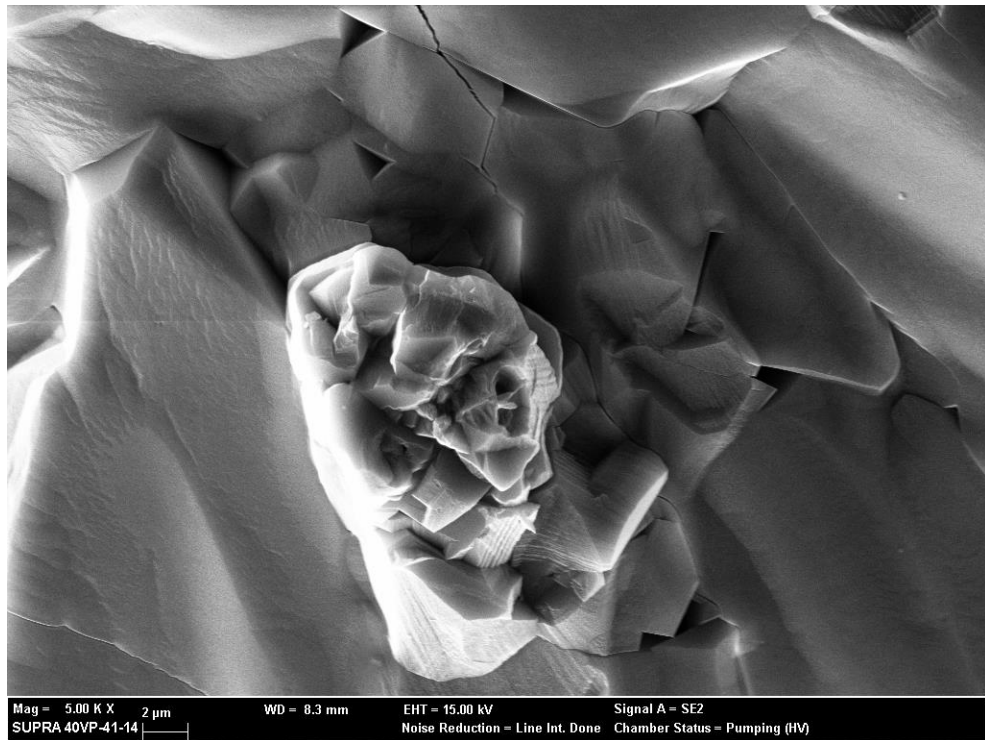
HC-19b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



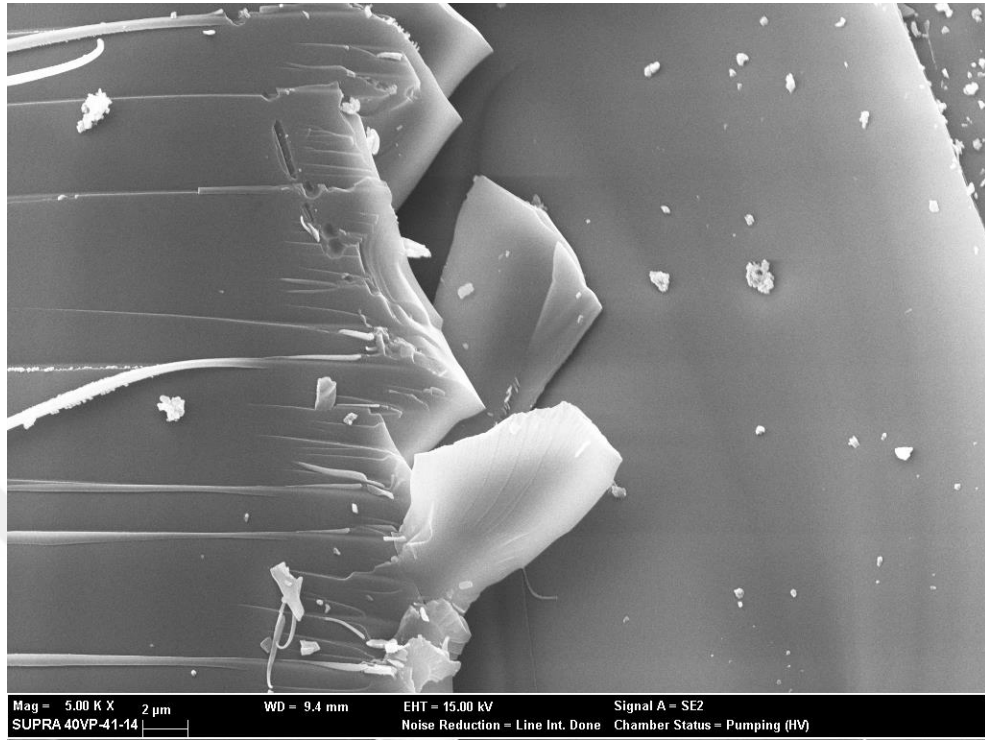
HC-20a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

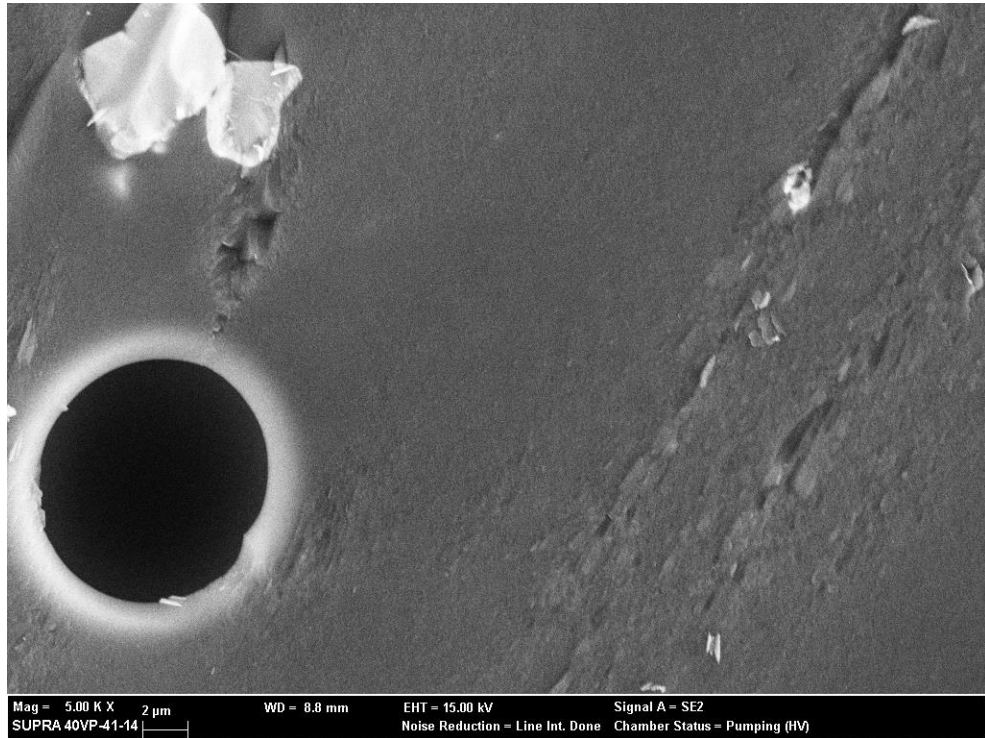
HC-20b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



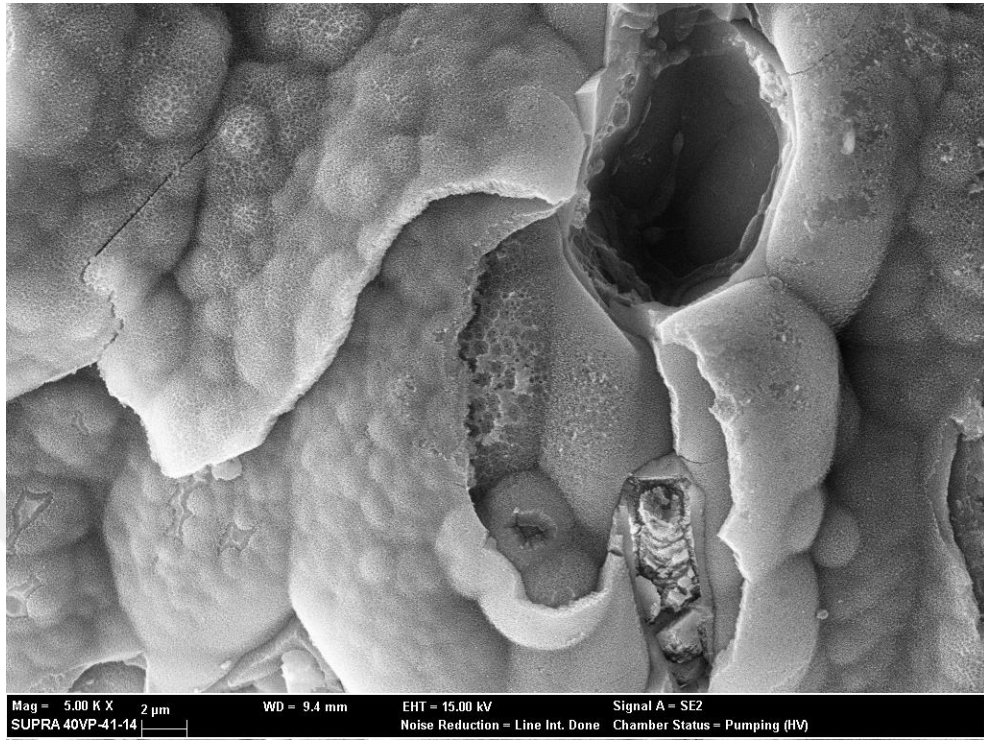
HC-20c yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

HC-21a yüksek büyütmeli SEM görüntüsü



HC-21b yüksek büyütmeli SEM görüntüsü

EK-3 (devamı)

HC-21c yüksek büyütme SEM görüntüsü

EK-4 PED-XRF, P-XRF ve SEM-EDX ile elde edilen sonuçlar*.

Kod	Cihaz	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	FeO
HC-1	PED-XRF	63.30	4.35	4.17	7.58	3.67	3.07	0.651
	EDX	63.30	4.42	5.93	2.30	1.88	1.63	1.25
	P- XRF	31.45	4.86	3.57	---	3.36	2.88	2.2047
HC-2a	PED-XRF	63.57	7.32	1.41	8.59	2.16	1.93	0.431
	EDX	73.19	10.17	0.38	10.74	1.93	1.70	---
	P- XRF	36.29	6.6196	1.46	---	1.64	---	0.4018
HC-2b	PED-XRF	63.33	7.44	1.47	8.42	2.21	1.89	0.419
	EDX	69.85	9.26	0.58	12.74	2.14	2.16	---
	P- XRF	39.2	6.6967	2.32		1.4963	---	0.4327
HC-3	PED-XRF	69.85	8.48	1.47	9.25	2.40	2.25	0.446
	EDX	17.77	1.57	3.04	36.25	2.49	1.57	1.80
	P- XRF	37.06	8.0069	1.68	---	1.7343	1.89	0.4182
HC-4a	PED-XRF	56.45	6.97	0.937	7.31	2.03	1.44	0.403
	EDX	73.97	11.30	0.23	10.87	2.00	1.63	---
	P- XRF	37.4	7.0674	1.93	---	1.4166	---	0.4155
HC-4b	PED-XRF	58.36	7.34	1.36	7.58	1.96	1.60	0.396
	EDX	69.48	9.03	0.57	13.33	2.10	2.27	---
	P- XRF	37.78	7.0574	2.53	---	1.3452	---	0.6
HC-5a	PED-XRF	62.34	4.65	2.53	10.12	3.95	3.07	0.512
	EDX	72.27	4.86	4.78	11.52	3.22	3.35	---
	P- XRF	34.75	4.8224	4.25	---	3.7117	1.85	0.5021
HC-5b	PED-XRF	59.80	5.03	1.05	4.20	1.52	1.18	0.394
	EDX	69.81	10.40	1.39	11.33	1.59	2.43	---
	P- XRF	37.43	6.2983	2.71	---	1.2849	1.64	0.5007

EK-4 (devamı)

Kod	Cihaz	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	FeO
HC-6	PED-XRF	55.54	4.13	4.80	8.52	1.74	1.78	2.48
	EDX	33.20	6.04	6.18	20.87	2.43	4.55	1.49
	P-XRF	29.92	4.941	5.33	---	1.7013	3.27	2.3415
HC-7	PED-XRF	53.58	4.45	4.97	11.59	2.48	2.60	1.28
	EDX	61.12	9.51	0.33	13.12	2.28	3.13	---
	P-XRF	96.07	9.9332	4.52	---	2.0712	2.16	1.367
HC-8	PED-XRF	61.64	8.57	1.23	8.69	2.87	2.25	0.393
	EDX	62.21	5.67	4.96	0.39	---	6.27	5.53
	P-XRF	28.33	10.1045	0.87	---	0.0739	---	0.3876
HC-9a	PED-XRF	63.84	8.54	1.64	2.83	1.61	1.70	0.699
	EDX	---	1.83	1.71	0.13	---	0.26	---
	P-XRF	37.37	7.414	0.72	---	0.3166	---	0.8999
HC-9b	PED-XRF	52.95	11.86	1.39	2.70	1.91	0.824	0.708
	EDX	75.57	16.25	2.82	---	---	2.57	1.88
	P-XRF	26.28	9.3	1.54	---	0.3594	1.29	1.3385
HC-10a	PED-XRF	61.89	8.59	1.64	7.80	2.92	2.28	0.398
	EDX	69.12	9.64	6.47	12.51	2.61	3.10	---
	P-XRF	19.23	---	2.62	---	1.7222	---	1.179
HC-10b	PED-XRF	43.08	4.47	3.08	3.90	1.07	0.530	0.482
	EDX	35.69	34.09	6.78	0.67	1.62	7.36	5.46
	P-XRF	29.11	3.2374	5.17	---	1.5897	1.11	0.9329
HC-11a	PED-XRF	57.81	3.31	6.46	13.79	2.45	1.61	1.33
	EDX	53.12	4.51	6.06	17.04	2.81	0.85	3.04
	P-XRF	32.93	3.8343	4.67	---	0.0182	1.74	1.3661

EK-4 (devamı)

Kod	Cihaz	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	FeO
HC-11b	PED - XRF	67.87	3.84	4.64	10.74	5.62	4.15	0.426
	EDX	63.30	4.42	5.93	2.30	1.88	1.63	1.25
	P- XRF	18.96	14.13	1.98	---	1.0043	4.59	1.362
HC-11c	PED - XRF	53.15	3.29	5.88	11.28	2.53	1.19	1.43
	EDX	73.19	10.17	0.38	10.74	1.93	1.70	---
	P- XRF	31.75	6.0945	3.96		2.3558	2.1	1.4039
HC-12a	PED - XRF	59.81	6.14	1.52	5.16	1.83	1.36	0.429
	EDX	69.85	9.26	0.58	12.74	2.14	2.16	---
	P- XRF	36.54	7.6372	2.22		1.5923	1.2	0.5117
HC-12b	PED - XRF	54.58	5.12	3.16	4.45	1.10	0.918	1.66
	EDX	17.77	1.57	3.04	36.25	2.49	1.57	1.80
	P- XRF	19.76	5.45	3.92		---	---	00085
HC-13a	PED - XRF	70.73	4.56	2.60	6.65	2.79	2.44	0.448
	EDX	73.97	11.30	0.23	10.87	2.00	1.63	---
	P- XRF	38.65	3.6929	1.73		2.1971	1.94	0.0108
HC-13b	PED - XRF	62.04	6.32	2.62	5.64	2.40	1.29	0.543
	EDX	69.48	9.03	0.57	13.33	2.10	2.27	---
	P- XRF	38.52	7.11	3.85		1.1328	---	0.002
HC-13c	PED - XRF	66.06	7.42	2.34	5.05	2.56	1.21	0.745
	EDX	72.27	4.86	4.78	11.52	3.22	3.35	---
	P- XRF	27.51	9.99	0.81		1.8112	---	0.002
HC-14a	PED - XRF	68.83	6.99	2.12	7.49	2.03	1.60	0.395
	EDX	69.81	10.40	1.39	11.33	1.59	2.43	---
	P- XRF	32.63	6.935	2.31		1.4999	1.18	0.0029

EK-4 (devamı)

Kod	Cihaz	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	FeO
HC-14b	PED-XRF	67.37	7.27	2.21	7.57	2.27	1.89	0.432
	EDX	63.30	4.42	5.93	2.30	1.88	1.63	1.25
	P-XRF	32.54	7.6	2.27	---	2.2525	1.16	0.4611
HC-15a	PED-XRF	68.56	1.65	6.50	12.05	1.73	0.638	1.49
	EDX	73.19	10.17	0.38	10.74	1.93	1.70	---
	P-XRF	34.34	1.1827	5.16	---	3.9068	1.04	1.6664
HC-15b	PED-XRF	61.69	3.61	4.42	7.12	2.26	1.51	1.31
	EDX	69.85	9.26	0.58	12.74	2.14	2.16	---
	P-XRF	27.56	7.7152	4.45	---	1.267	1.69	1.3866
HC-15c	PED-XRF	62.34	6.46	2.36	5.54	2.30	1.60	0.464
	EDX	17.77	1.57	3.04	36.25	2.49	1.57	1.80
	P-XRF	29.77	7.7	1.22	---	1.887	2.05	0.3664
HC-15d	PED-XRF	63.25	3.74	4.18	3.56	1.91	1.55	0.529
	EDX	73.97	11.30	0.23	10.87	2.00	1.63	---
	P-XRF	9.13	19.88	0.99	----	0.4712	---	0.5685
HC-15e	PED-XRF	69.07	6.26	2.19	5.30	2.27	1.51	0.516
	EDX	69.48	9.03	0.57	13.33	2.10	2.27	---
	P-XRF	35.72	8.1691	0.94	---	2.3729	2.26	0.5065
HC-16a	PED-XRF	62.88	6.04	1.74	6.62	1.84	1.48	0.418
	EDX	72.27	4.86	4.78	11.52	3.22	3.35	---
	P-XRF	36.18	7.8304	1.43	---	1.7362	1.86	0.4169
HC-16b	PED-XRF	75.32	7.79	1.62	8.19	2.31	1.99	0.440
	EDX	69.81	10.40	1.39	11.33	1.59	2.43	---
	P-XRF	33.92	7.5712	2.13	----	1.6106	---	0.4355

EK-4 (devamı)

Kod	Cihaz	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	FeO
HC-17	PED-XRF	72.77	6.34	1.65	4.11	1.60	0.94	0.474
	EDX	72.65	4.10	11.79	0.29	1.16	1.59	---
	P-XRF	37.08	8.27	1.79	---	1.7368	1.69	0.4782
HC-18a	PED-XRF	65.91	6.83	2.12	6.68	1.99	1.60	0.562
	EDX	72.95	9.96	0.57	11.58	1.75	1.87	---
	P-XRF	21.25	13.89	2.45	----	0.294	2.12	1.1035
HC-18b	PED-XRF	75.81	5.63	2.31	5.42	2.01	1.14	0.261
	EDX	70.34	8.91	1.64	11.71	2.30	2.25	---
	P-XRF	31.03	7.71	0.76	----	2.0756	1.75	0.2538
HC-18c	PED-XRF	76.66	2.86	1.37	6.25	2.81	1.41	0.577
	EDX	58.34	3.99	1.58	19.67	3.52	3.77	---
	P-XRF	24.52	2.879	3.66	---	1.2538	---	1.5325
HC-19a	PED-XRF	63.31	6.88	2.70	5.23	2.26	1.25	0.296
	EDX	71.95	14.82	0.36	8.60	2.23	0.26	---
	P-XRF	40.02	8.6	1.21	---	1.9588	2.36	0.2734
HC-19b	PED-XRF	70.09	5.70	1.96	5.66	1.82	1.45	0.372
	EDX	68.57	8.46	1.02	14.70	1.90	3.16	---
	P-XRF	36.96	7.734	0.77	---	1.764	2.07	0.3939
HC-20a	PED-XRF	73.62	1.79	4.42	7.43	1.41	0.536	1.57
	EDX	54.90	1.53	8.28	23.74	1.34	0.67	---
	P-XRF	36.61	1.2317	5.61	---	2.4639	0.99	1.686
HC-20b	PED-XRF	65.21	5.29	6.70	11.00	5.09	3.40	1.33
	EDX	50.58	6.74	7.28	20.69	5.65	6.29	1.27
	P-XRF	30.84	5.8215	6.2	---	1.812	1.23	1.6871

EK-4 (devamı)

Kod	Cihaz	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	FeO
HC-20c	PED-XRF	65.02	2.87	2.27	4.40	1.41	0.852	0.671
	EDX	28.10	51.78	0.78	0.82	---	12.44	---
	P-XRF	4.2206	39.63	0.88	---	0.1508	---	0.8113
HC-21a	PED-XRF	69.81	2.89	3.01	6.96	2.08	0.994	0.813
	EDX	70.92	4.72	2.99	16.78	2.38	1.40	---
	P-XRF	24.86	4.0748	4.75	---	2.2596	---	1.4862
HC-21b	PED-XRF	66.73	5.30	2.50	5.68	1.63	1.14	0.546
	EDX	67.60	10.33	0.60	12.99	1.98	1.94	---
	P-XRF	16.9	7.69	2.95	---	0.7853	3.72	3.5371
HC-21c	PED-XRF	62.42	6.30	6.96	6.20	4.79	3.06	1.07
	EDX	59.90	6.62	6.21	12.91	4.72	4.30	---
	P-XRF	---	---	---	---	---	---	---

** Portatif XRF verileri elementel içeriği göstermektedir (Si, Ca, Al vb.). Demir PED-XRF analizinde Fe₂O₃, EDX taramalarında FeO şeklinde belirlenmiştir.*

EK-5 Batman Müze Müdürlüğü, yüksek lisans tez çalışması izin belgesi

T.C.
BATMAN VALİLİĞİ
İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü
Batman Müze Müdürlüğü

Sayı : 95791141-155.03[155.03]-E.55140

17.01.2020

Konu : Öğrenci Çalışmaları

Sayın Yonca YALÇIN

İlgi : Yonca YALÇIN'ın 09.01.2020 tarihli başvurusu.

Batman Müzesi depolarında, vitrinlerinde ve Hasankeyf kazı deposunda bulunan Hasankeyf arkeolojik kazılarına ait envanterlik, erütlük cam eserler ve amorf cam objeler üzerinde, yapılacak analizler sonucu arkeometri alanında yüksek lisans tez çalışması yapma isteğini konu alan dilekçeniz müdürlüğümüze incelenmiştir.

Söz konusu analizler doğrultusunda yapacağımız yüksek lisans tezi ve bu tezden çıkacak anlamlı verilerin yayım haline getirilmesi (makale, bildiri, kitap, kitap bölümü vb.) noktasında yayım haklarının tarafınıza, yüksek lisans tez danışmanımız olan Dr. Öğretim Üyesi Murat BAYAZİT'e verilmesini ve yapacağımız analiz çalışmaları için gerekli izinlerin sağlanmasını içeren talebiniz;

Çalışmanın başlayacağı tarihin Müze Müdürlüğü'ne 1 hafta önceden bildirilmesi ve randevu alınarak çalışılması, Müze Müdürlüğü'nün belirleyeceği şartlara uyulması ve gerekli güvenlik önlemlerine riayet edilmesi, Müze Müdürlüğü'nce uygun görülen eserler üzerinde çalışılması ve teşhir düzeninin bozulmaması; koşulu ile 2020 yılında araştırma yapılması ve fotoğraf çekilmesi Müdürlüğümüze 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 basımların Müze Müdürlüğü'ne gönderilmesi gerekmektedir.

Söz konusu çalışmanın tamamlanamaması ve 2021 yılında da araştırmaya devam edilmesinin istenmesi halinde, öngörülen çalışma tarihinden 3 ay önce olmak üzere, 31 Aralık tarihine kadar araştırmacının mensubu bulunduğu bilimsel kurum veya kuruluş vasıtasıyla talepte bulunması hususunda;

Bilgi ve gereğini rica ederim.

e-imzalıdır

Şeyhanus GENÇ
Müze Müdürü V.

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

Belde Mah.Başı Bulvarı No:129/BATMAN
batmanmuze@kulttur.gov.tr Tel:214 10 51 Fax:214 10 54
e-posta : batmanmuze@kulttur.gov.tr

Bilgi için:Veysel AĞRAK
Restoratör
Telefon No:(312) 470 82 25



ÖZGEÇMİŞ KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Yonca YALÇIN

Uyruğu: T.C.

EĞİTİM

Derece Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise: Fatih Merkez,	BATMAN		2010
Üniversite: Batman Merkez,	BATMAN	(Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım)	2017
Yüksek Lisans: Batman Merkez	BATMAN	(Arkeometri)	2022

İŞ DENEYİ

1.BATMAN ÜNİVERSİTESİ KÜLTÜR VARLIKLARI BÖLÜMÜ – 2014

Restoratör

Bölüm laboratuvarında yapılacak sergi için etnografik eserlerin restorasyonu ve konservasyonu yapıldı.

2. BATMAN MÜZESİ LABARATUARI -2015

Staj –Restoratör

Seramik-metal eserlerin restorasyonu ve konservasyonu yapıldı.

3. BATMAN MÜZESİ LABARATUARI -2016

Restoratör- Seramik-metal eserlerin restorasyonu ve konservasyonu yapıldı.

4.SİİRT İLİ TİLLO İLÇESİ, TARİHİ MEZARLIK-2018

Restoratör-Temizlik ve Kurtarma kazısında çalışıldı.

5.SİİRT İLİ TİLLO İLÇESİ, TARİHİ MEZARLIK-2019

Restoratör-Temizlik ve Kurtarma kazısında çalışıldı.

UZMANLIK ALANI

--Arkeometri, Seramik, Restorasyon, Konservasyon.

YABANCI DİLLER

İngilizce (Başlangıç)

YAYINLAR