

TEKFUR SARAYI CAM BULUNTULARI ARKEOMETRİK ÇALIŞMALARI

ARCHAEOLOGICAL STUDIES OF THE GLASS FINDS FROM TEKFUR PALACE

Ali Akın AKYOL* - Yusuf Kağan KADIOĞLU**

Makale Bilgisi | Article Info

Başvuru: 31 Ekim 2015	Received: October 31, 2015
Hakem Değerlendirmesi: 2 Kasım 2015	Peer Review: November 2, 2015
Kabul: 30 Aralık 2015	Accepted: December 30, 2015

Özet

18. ve 19. yüzyıla tarihlenen cam buluntuları ile Tekfur Sarayı, İstanbul'da cam üretiminin gerçekleştiği birkaç merkezden biri olmalıdır. Bu çalışmada, 1995 ve 1999 yıllarında gerçekleştirilen Tekfur Sarayı kazısından ele geçen cam örnekler arkeometrik yönden incelenmiştir. Cam örnekler öncelikle form özelliklerini yansıtacak şekilde gruplandırılmış, fotoğraflanarak belgelenmiş ve kodlanmıştır. Cam örneklerinin yapım teknikleri hem çıplak gözle hem de Binoküler mikroskop altında habbe şekillerine göre belirlenmeye çalışılmıştır. Örnekler serbest üfleme, kalıba üfleme ya da kalıba döküm teknikleri ile üretilmiş olmalıdır. Örneklerin element ve mineralojik içerikleri X-ışınları floresans spektroskopisi (Mikro XRF ve PED-XRF) ve Raman spektroskopisi yöntemleri ile analiz edilmiştir.

Analiz sonuçları cam örneklerin tipik soda-kireç camı yapısında olduğunu göstermiştir. Örneklerin yüksek SiO₂ içerikleri, camların hem mekanik direnç ve dayanıklılığının, hem de ergime sıcaklığının yüksek oluşuna işaret etmektedir. Camlarda daha yüksek oranda olması beklenen Na₂O'nin örneklerde CaO'den daha düşük değerde oluşu camın yapısındaki Na ve Ca'nın zaman içinde yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Camlar serbest üfleme tekniği ile üretilmiş olmalıdır. Cam örneklerin bazılarının üretiminde bitki külü (K₂O ve/veya MgO) kullanılmıştır. Cam örneklerin Al₂O₃ içeriklerindeki farklılık örneklerin hammadde adresini ayrı kaynaklara dayandırmaktadır.

Cam örneklerde renk veren elementler; Fe, Mn, Co, Cu, As, Sn, Sb ve Pb'dir. Ayrıca genel olarak Pb içeriği oldukça yüksektir. Örneklerin XRF analizi ile belirlenen Sr ve Zr içerikleri göz önünde bulundurularak, camların üretiminde denizel ve karasal kökenli kumların birlikte kullanılmış olduğu düşünülmektedir. Ek olarak, Raman analizi ile de cam örneklerin karakteristik özellikleri ile renk ve hammadde içeriklerindeki farklılıklar anlaşılmasına çalışılmıştır. Uygulanan analizlerin sonucunda, en genel anlamda Tekfur Sarayı Kazıları ile ele geçen camların kendi içinde birbirlerinden oldukça farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip oldukları anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Osmanlı Camları, Cam Analizleri, İstanbul Tekfur Sarayı Camları, XRF Analizi, Raman Analizi

* Yrd. Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü / Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB), Gölbaşı Kampüsü, Gölbaşı / ANKARA, e-Posta: aliakinakyol@gmail.com

** Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM), Tandoğan Kampüsü, ANKARA, e-Posta: kadi@ankara.edu.tr

Abstract

Tekfur Palace with the glass finds from the 18th and 19th centuries may be one of the glass production centers of İstanbul. The glass samples from the Tekfur Palace excavations of the 1995 and 1999 campaigns were analyzed archaeometrically. The samples were primarily grouped visually according to their forms, then, were photographically documented and catalogued. The production techniques of the glass samples were estimated according to the pore shapes in their structures via binocular microscope analysis. The production technique of the glasses seemed to be the free blowing. The elemental and mineralogical structure of the glass samples were analyzed through X-ray fluorescence spectroscopy (Micro-XRF and PED-XRF) and Raman spectroscopy.

Complementary analysis showed that the glass samples were typical soda/lime glasses. The high SiO₂ content of the samples pointed out that not only the high mechanical strength and durability, but also they have high fluxing temperature. The diagenesis of Na and Ca in time is the reason for the lower Na₂O content compared to CaO. The plant ash (K₂O and/or MgO) should have also been added in some samples. The different rates of Al₂O₃ content of the glass samples addressed to the different source of the raw materials.

The elements of Fe, Mn, Co, Cu, As, Sn, Sb and Pb were the colorants in the glasses' composition. Very high Pb contents were measured in the samples. Sr and Zr contents of the samples as determined by PED-XRF analysis might be the indicator of the usage of coastal and terrestrial sediments for the production. Differences of the glass samples in terms of their colour and raw material characteristics have been analyzed by Raman analysis. Applied complementary archaeometrical analyses revealed that the uncovered glass finds from Tekfur Palace excavations were quite different from each others in their chemical and physical properties.

Keywords: Ottoman Glasses, Glass Analyses, İstanbul Tekfur Palace Glasses, XRF Analysis, Raman Analysis.

Giriş

Anadolu'daki cam üretiminin tarihçesi, yapısal özellikleri, yapım teknolojisi ve üretim merkezleri oldukça az bilinmektedir. Bunun nedeni de bu konudaki sistematik çalışmaların azlığıdır. Bugüne kadar gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki çalışmalarda cam buluntular görsel özellikleri üzerinden arkeoloji ve sanat tarihi yöntemleri ile incelenebilmiştir (Bakırer 1985: 61-67). Cam buluntuların yapım teknolojisinin anlaşılması hammadde kaynaklarının belirlenmesi ve kimyasal içeriğinin tanımlanması amacıyla arkeometrik yönden ele alınması gerekmektedir. Bu bağlamda Tekfur Sarayı arkeolojik alanından ele geçen cam buluntular arkeometrik yönden incelenmeye başlanmıştır.

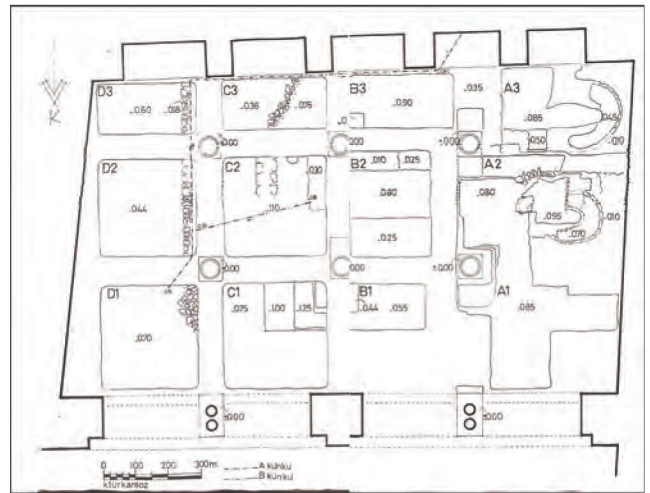
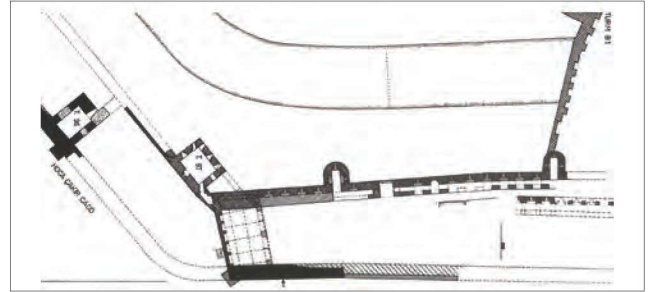
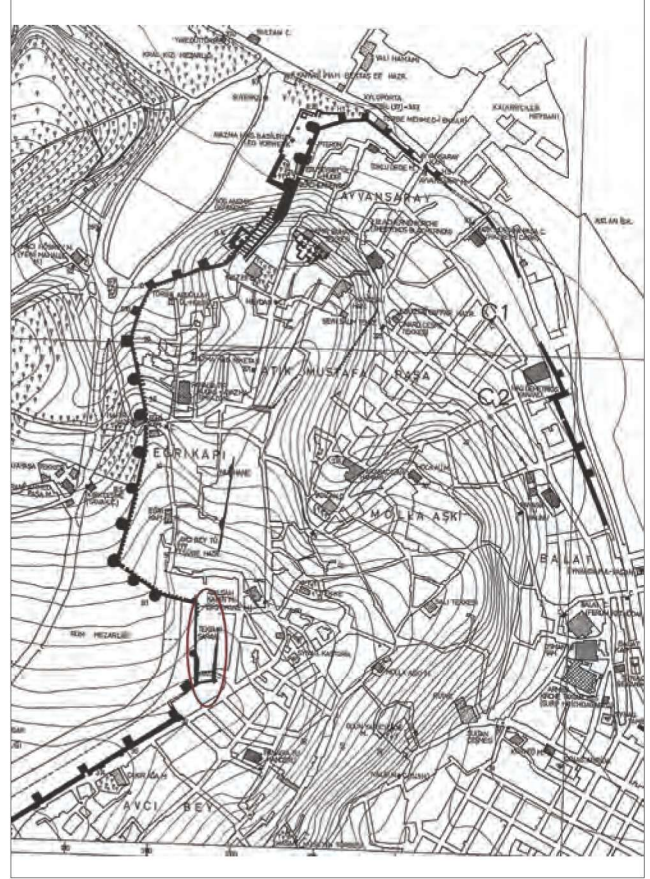
İstanbul'un Eyüp semtinde bulunan Tekfur Sarayı'nda 1995 ve 1999 yıllarında yapılan kazılarda, yapının doğu kenarında hem yüzey buluntusu olarak hem de A1, A2, A3, B1 ve C1 açmalarında 10-95 cm arasında değişen derinliklerde çeşitli form ve renkte cam buluntular ele geçmiştir (Şekil 1). Yapının kuzey ucunda olduğu tahmin edilen cam üretim fırınlarına ise henüz ulaşılamamış durumdadır (Bakırer 2001: 41-56; 2003: 42-48; 2012: 107-116; Yenişehirlioğlu, 2001: 329-344).

2011 yılında, Tekfur Sarayı Kazısı Başkanı Prof. Dr. Filiz Yenişehirlioğlu tarafından Ankara Üniversitesi Başkent M.Y.O. Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB) ve Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)'ne arkeometrik yönden incelenmek üzere cam örnekler iletilmiştir (Şekil 2). Biri dışında (İTS-G28) formu belli olmayan 46 adet cam parçası üzerinde gerçekleştirilen araştırmaların sonuçları burada sunulmaktadır.

Malzeme ve Analizler

Tekfur Sarayı Kazısı'dan ele geçen 17. yüzyıl ve sonrasında ait olduğu düşünülen Osmanlı Dönemi cam örneklerinden etütlük olarak ayrılmış 46 cam örnek üzerinde arkeometrik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle örnekler görsel olarak değerlendirilmiş, kalınlıkları (digital thicknessmeter) belirlenmiş, fotoğrafları çekilerek belgelenmiş ve kodlanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 2).

Cam parçalarının kalınlıkları dijital kalınlık ölçerle, hamur renkleri de kromametrik analiz ile belgelenmiştir (Tablo 1). Renk analizleri, standart CIE L*a*b* (Commission Internationale de L'Eclairage) renk sistemi kullanılarak yapılmıştır (Ohno 2007). 0 ile 100 değerleri arasında değişen (L) değeri rengin açıklık/koyuluk değerini (beyaz: 0 ve siyah: 100), (+a) değeri renkteki kırmızı yoğunluğunu, (-a) değeri rengin yeşil yoğunluğunu, (+b) değeri rengin sarı yoğunluğunu ve (-b) değeri de rengin mavi yoğunluğunu göstermektedir (Tablo 1).



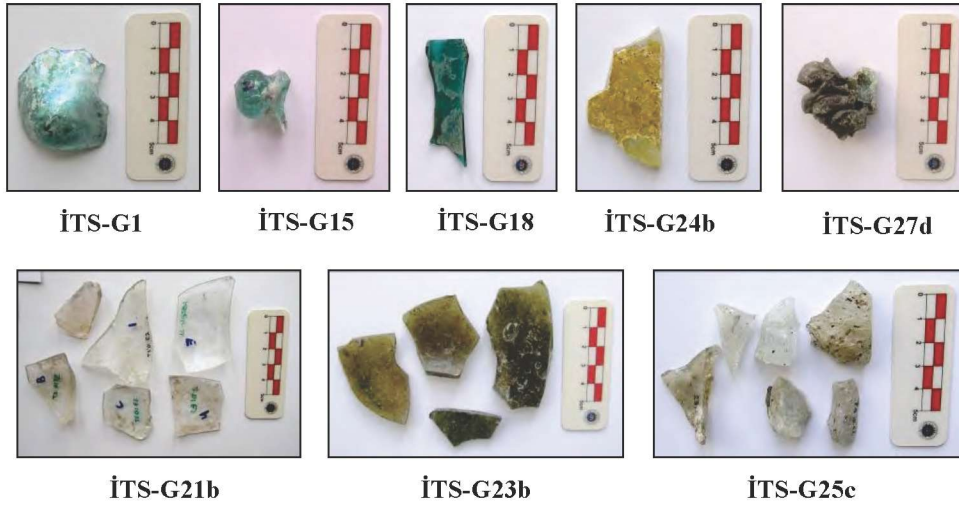
Şekil 1 - Tekfur Sarayı arkeolojik alanı. (Müller-Wiener, 2002: 244; Yenişehirlioğlu, 2001: 340) / Tekfur Palace Archeological Site. (Müller-Wiener, 2002: 244; Yenişehirlioğlu, 2001: 340)

Tablo 1 - Tekfur Sarayı Kazısı cam buluntuları açıklamaları ve fiziksel özellikleri / *Explanations and physical features of glass finds from Tekfur Palace Excavations*

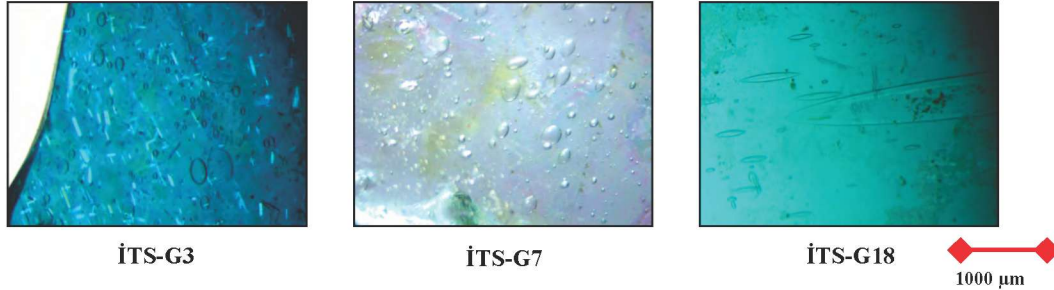
Örnekler	No/Bölge	Açıklamalar	Kalınlık (mm)	L	a	b	Görünen Renk
İTS-G1*	C3	Dip (noble izi)	2,70 (5,44)***	74,86	-20,92	-9,55	Mavi-yeşil
İTS-G2	C D A/2	Dip (noble izi)	4,43 (7,80)	79,19	-15,82	-2,95	Açık yeşil
İTS-G3	YC(?)D/6	Dip	2,40 (3,23)	11,17	-6,22	-12,03	Mavi-yeşil
İTS-G4	E2	Dip	6,28 (6,58)	41,06	-29,26	4,89	Yeşil
İTS-G5	Y/C	Ağız	4,04				Renksiz
İTS-G6	A/Y A/17	Gövde	1,75 (2,06)				Renksiz
İTS-G7	YC A/1	Gövde?	3,19 (3,95)	89,15	-17,07	-5,63	Açık yeşil
İTS-G8	C A1/A716	Ağız	3,95	61,10	-23,42	0,40	Açık yeşil
İTS-G9	A2, 50/70	Gövde?	2,61 (4,27)				Renksiz
İTS-G10	A2	Dip (kaide?)	5,58 (6,24)				Renksiz
İTS-G11	A2	Ağız	2,06 (4,42)				Renksiz
İTS-G12	D1	Ağız	4,62 (5,52)				Renksiz
İTS-G13	D3, A/19	Tabak (içe katlı)	6,91 (7,34)	64,34	-14,33	7,60	Açık yeşil
İTS-G14	E2	Kase (çatlaklı)	4,61 (6,01)	72,71	-19,11	8,10	Açık yeşil
İTS-G15	?	Kandil	3,43 (6,04)	79,17	-23,94	-3,11	Açık yeşil
İTS-G16	Yüzey	Dip (noble izi)	1,71				Renksiz
İTS-G17	A2, D1	Dip (kaide?)	4,35 (9,38)				Renksiz
İTS-G18	Yüzey	Gövde?	1,82	13,22	-13,11	-3,86	Yeşil
İTS-G19	Yüzey	Gövde?	1,27 (2,72)				Renksiz
İTS-G20	Yüzey	Gövde?	2,23 (3,35)				Renksiz
İTS-G21a	E2, Yüzey	Gövde Parçası	1,72 (9,54)	84,32	-21,89	4,58	Açık yeşil
İTS-G21b	E2, Yüzey	Gövde Parçası	2,55 (4,74)				Renksiz
İTS-G22	Yüzey	Dip	2,77 (7,23)	13,58	-13,49	19,68	Kahverengi
İTS-G23a	?	Gövde parçası	3,96 (6,39)	3,67	-3,70	5,43	Koyu yeşil
İTS-G23b	?		2,82 (7,10)	7,62	-6,80	11,29	Kahve-yeşil
İTS-G23c	?		3,60 (7,86)	11,24	-9,89	16,51	Kahve-yeşil
İTS-G23d	?		1,95 (3,64)	23,83	-18,50	31,97	Kahve-yeşil
İTS-G23e	?		3,30 (3,91)	24,39	-27,24	32,21	Yeşil
İTS-G23f	?		5,51 (7,00)	38,88	25,24	-63,25	Mavi
İTS-G23g	?		3,83 (2,78)	33,13	-25,78	8,98	Yeşil
İTS-G24a	?	Pencere camı	3,07 (6,33)				Renksiz
İTS-G24b	?		6,47	70,17	-12,37	44,61	Krem-sarı
İTS-G24c	?		5,60	2,85	6,37	4,38	Bordo
İTS-G24d	?		3,54	7,20	-8,71	10,62	Kahve-yeşil
İTS-G25a**	?	Üretim artığı	6,55 (11,23)	77,65	-24,11	-5,38	Açık yeşil
İTS-G25b**	?		4,54 (18,76)	89,43	-23,64	-3,21	Açık yeşil
İTS-G25c**	?		5,42 (10,58)				Renksiz
İTS-G25d**	?		13,25 (18,65)	15,24	-25,96	21,62	Yeşil
İTS-G26a**	?		6,53 (9,03)	83,26	-16,91	-3,32	Açık mavi
İTS-G26b**	?		6,74 (19,59)	14,68	-15,67	21,11	Kahve-yeşil
İTS-G27a**	?		6,25 (20,36)	81,83	-7,14	-18,75	Açık yeşil
İTS-G27b**	?		7,15 (20,12)	65,91	-23,07	14,18	Yeşil
İTS-G27c**	?		7,23 (13,02)				Renksiz
İTS-G27d**	?		19,62 (16,95)	17,70	-20,64	24,86	Kahve-yeşil
İTS-G27e**	?		8,09 (14,03)	66,28	-19,90	5,86	Yeşil
İTS-G28	?	Matara	2,76 (3,66)	77,62	-26,77	12,92	Açık yeşil

(*) Kodlama Ön Ek : İTS (= İstanbul Tekfur Sarayı Kazısı Camları)

(**) Amorf örnekler, (***) Amorf örneklerde maksimum kalınlık



Şekil 2 - Tekfur Sarayı Kazısı cam ve üretim örnekleri / Glass and glass production samples from Tekfur Palace Excavations



Şekil 3 - Tekfur Sarayı Kazısı camları binoküler mikroskop altı cam hamuru habbe şekilleri / The view of pore shapes of glass frit from Tekfur Palace Excavations under binocular microscope

Cam örneklerin üretim teknolojisi cam hamuru içinde hapsolmuş habbe (hava keseleri) şekillerinden anlaşılma çalışılmıştır. Bu amaçla camların binoküler mikroskop altı fotoğraflamaları yapılmıştır (Şekil 3).

Cam örnekleri üzerinde yapılan arkeometrik incelemelerin odağını, kimyasal bileşim analizleri oluşturmaktadır. Camı oluşturan temel, az ve iz elementler, X-Işını Floresans Spektroskopisi (Noktasal Mikro-XRF ve Polarized Energy Dispersive-XRF) yöntemiyle tayin edilmiştir (Shackley 2011). Analizler 1-3 gram ağırlığa sahip toz haline getirilmiş örnekler üzerinde SPECTRO XLAB 2000 Model PED-XRF cihazı yardımıyla yapılmıştır. Cihaz azot soğutmalı Si(Li) dedektörüne sahiptir. Rezolasyon değerleri <150 eV Mn Ka, 5000 cps'dir. PED-XRF analizi, miktar açısından uygun olan 21 örnek üzerinde uygulanabilmektedir (Tablo 2 ve Şekil 4a).

Ayrıca tüm cam örneklerine (46 adet), yüzeylerinden doğrudan uygulamaya imkân veren Noktasal M-XRF analizi uygulanmıştır (Şekil 4b-4e,5). Analiz, örneklerin yüzey safsızlığı (iridasyon) bulunmayan bölgelerine uygulanmıştır.

Cam örneklerin hamur bileşimini oluşturan mineral ve bileşik türlerinin belirlenmesi için Raman spektroskopisi

yöntemi uygulanmıştır (Edwards ve Chalmers 2005). Çalışmada, Bruker Senterra Dispersive Raman Spektrometre kullanılmıştır. Seçilmiş iki cam örneğinin (İTS-G2 ve İTS-G23a) Raman spektrumları Şekil 6'da verilmiştir.

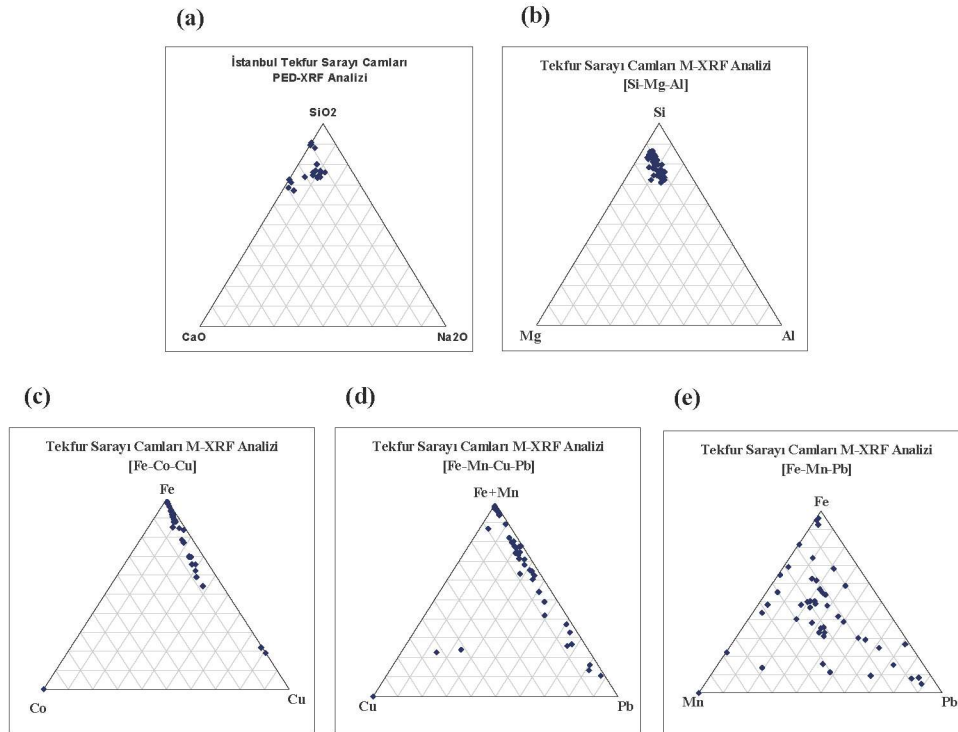
Analiz Sonuçları Ve Bulgular

Tekfur Sarayı Kazısı'ndan ele geçen 46 cam örneğinin çoğunluğu (29 örnek) ya yüzey buluntusu ya da buluntu yeri tanımlanamayan örneklerdir. Camlar tür, form ve fonksiyon özellikleri bağlamında değerlendirildiğinde ise sadece birinin (İTS-G28) formu (matara) belirlenebilmiş durumdadır. Cam örneklerinden birer tanesi kandel, tabak, kase, 4'ü ağız parçası, 8'i dip, 4'ü pencere camı, 11'i üretim artığı ve geriye kalan 15 örnek de profil vermeyen gövde parçaları olmalıdır (Tablo 1 ve Şekil 2). Düzgün ve amorf yapıdaki cam parçalarının kalınlıkları 1,27 ile 20,36 arasında değişim göstermektedir (Tablo 1).

Cam örneklerin çoğunluğunun görünen renkleri yeşil ve mavinin çeşitli tonlarında, bir kısmı da sarı-krem ve kahverenginin ara tonlarındadır. Örneklerin 14'ü renksiz biri de bordo renklidir. Renklerin daha hassas şekilde belgelenebilmesi için kromametrik analiz uygulanmış, renkler L*a*b* renk kodu değerleri ile ifade edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 2 - Tekfur Sarayı Kazısı cam örneklerinde PED-XRF analizi ile elde edilen ana/esor element dökümü (ortalama değerler) / The major elements-trace elements inventory of glass samples from Tekfur Palace Excavations retrieved by PED-XRF analysis (Average values)

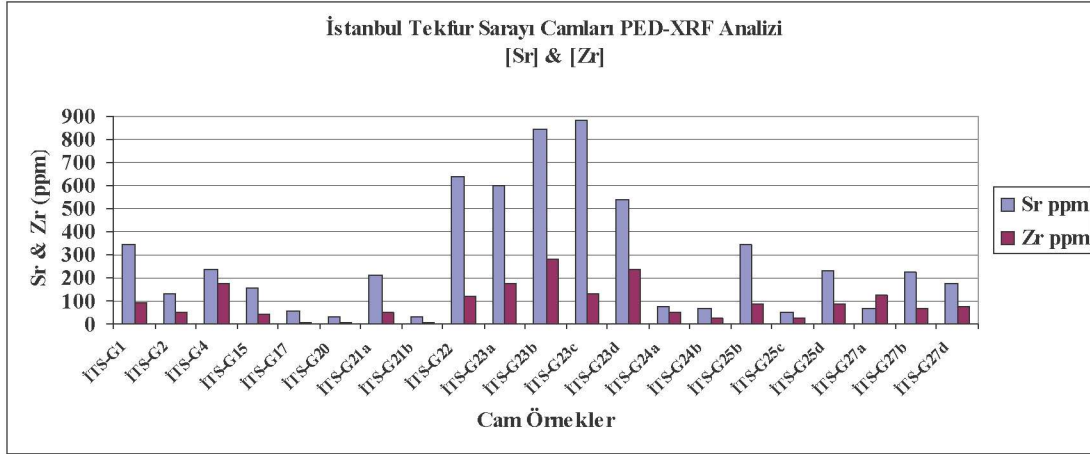
Element	Ortalama (%)	Element	Ortalama (ppm)	Element	Ortalama (ppm)
Na ₂ O	5,74	Co	11,6	Sn	30,2
MgO	1,37	Ni	9,8	Sb	22,3
Al ₂ O ₃	0,692	Cu	43,1	Te	1,3
SiO ₂	65,44	Zn	79,0	I	2,7
P ₂ O ₅	0,438	Ga	2,5	Cs	4,4
SO ₃	0,309	Ge	0,8	Ba	617,3
Cl	0,296	As	436,7	La	10,5
K ₂ O	4,34	Se	0,6	Ce	16,4
CaO	13,71	Br	6,0	Hf	9,2
TiO ₂	0,102	Rb	56,3	Ta	5,9
V ₂ O ₅	0,006	Sr	282,9	W	5,3
Cr ₂ O ₃	0,005	Y	3,1	Hg	1,5
MnO	0,284	Zr	90,6	Tl	3,0
Fe ₂ O ₃	0,638	Nb	5,0	Pb	471,8
		Mo	5,0	Bi	2,6
		Cd	1,0	Th	4,3
		In	1,0	U	9,5



Şekil 4 - Tekfur Sarayı Kazısı camlarının Mikro-XRF analizi element içeriklerine göre gruplandırmalar (Triangle Plotting): (a) Ana elementler; Si-Ca-Na ve (b) Si-Mg-Al ile renk veren elementler; (c) Fe-Co-Cu (d) Fe-Mn-Cu-Pb (e) Fe-Mn-Pb / Groups of element contents of glass finds from Tekfur Palace Excavations according to Micro-XRF analysis (Triangle Plotting): (a) Major elements; Si-Ca-Na and (b) Si-Mg-Al and colorant elements; (c) Fe-Co-Cu (d) Fe-Mn-Cu-Pb (e) Fe-Mn-Pb

Cam örneklerin habbe şekilleri üretim teknolojisi hakkında bilgiler vermektedir (Şekil 3). Özellikle pencere camları belli bir çerçeve içine dökülüp, yüzey gerilimi alınarak silindirden geçirilerek inceltilmekte, serbest üfleme tekniği ile form verilmekte, kalıba dökülmekte ya da kalıba üflenmektedir. Bu işlemler sırasında

cam hamurunda bulunan habbeler de daireselken gittikçe uzayan elips şekilleri alabilmektedirler (Şekil 3; İTS-G18). Pencere camları diğer formlardan daha homojen bir hamur yapısına sahipken savurma ve serbest üfleme tekniklerinde merkezden dışa doğru habbe şekilleri gittikçe uzamaktadır. Seçilmiş örnekler



Şekil 5 - Tekfur Sarayı Kazısı cam örneklerinde PED-XRF Analizi sonucunda belirlenen Sr ve Zr içerikleri / Sr and Zr contents of glass samples from Tekfur Palace Excavations according to PED-XRF analysis

üzerinden, İTS-G3 (dip parçası) ve İTS-G7 (gövde parçası) örneklerinin habbe şekilleri benzer büyüklük ve dairesel forma yakın elips şekilliyken, İTS-G18 (gövde parçası) örneğinin habbe boyutları diğer iki örnekten daha iri ve şekilleri de daha geniş bir elips formundadır (Şekil 3). Pencere camı dışındaki örneklerin habbe şekilleri değerlendirmeleri, camların serbest üfleme tekniği ile şekillendirildiklerine işaret etmektedir.

Arkeolojik kazılardan ele geçen cam buluntuların genel olarak kum, soda ve kireçten oluşan bir karışımın yüksek sıcaklıkta ısıtılması ve yavaşça soğutulması ile elde edildiği düşünülmektedir. Bu nedenle yaygın kullanımı olan cam, hammadde içeriği açısından “soda-kireç camı” olarak tanımlanmaktadır. Tipik bir soda-kireç camında, camın temel maddesi olan kumun (SiO_2) yanında ergitici olarak alkali karbonatlar (Na_2CO_3 ve K_2CO_3 gibi) ve dayanım artırıcı olarak toprak alkali karbonatlar (CaCO_3 ve MgCO_3 gibi) kullanılmaktadır (Aksoy 2006; Akyol vd. 2009; Akyol vd. 2012; Akyol vd. 2014; Aydın vd. 2015; Bamford 1962; Beşer 2008; Beşer vd. 2010; Freestone vd. 2002). En genel anlamda soda/kireç camı olarak nitelenen camın kimyasal içeriğini; SiO_2 (%73), Na_2O (%12), CaO (%10), MgO (%4) ve Al_2O_3 (%1) oluşturmaktadır.

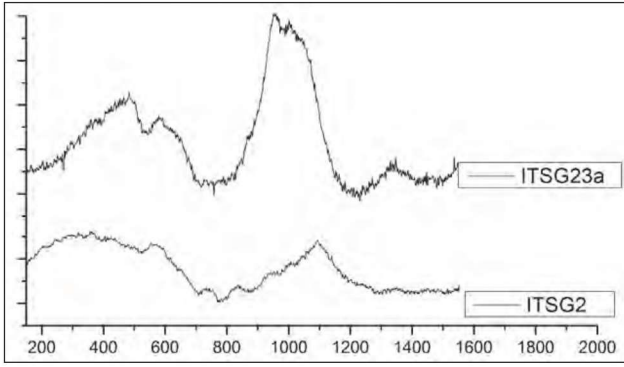
Camların kimyasal içeriği XRF analizleri ile belirlenmiştir. 21 cam örneği üzerinde gerçekleştirilen PED-XRF analizi sonucunda örneklerin temel bileşenlerinin SiO_2 (ortalama %65,44), CaO (ortalama %13,71) ve Na_2O (ortalama %5,74) olduğu anlaşılmıştır. Örneklerin tümüne uygulanan Noktasal Mikro-XRF analizi ile yüzeylerinden doğrudan belirlenen SiO_2 içerikleri %69,60 ile %85,34 arasında (ortalama %78,15) değişim göstermektedir. Camların Si-Ca-Na içeriklerine genel olarak değerlendirildiğinde, örneklerin tümü tipik soda/kireç cam içeriğini yansıtır niteliktedir. Camın temel maddesi olan SiO_2 'nin yüksek değerinde oluşu camların mekanik direncinin yüksekliğine, dayanıklılığına ve ergime sıcaklığının yüksek oluşuna işaret etmektedir.

En genel anlamda örneklerin/yörenin cam üretim teknolojisinin gelişmişliği konusunda fikir vermektedir. Bir diğer temel bileşen olan Na_2O miktarı örneklerde benzer ve düşük orandadır. Daha yüksek değerinde olması beklenen Na_2O , CaO 'den oldukça düşük değerdedir. Bu durum zaman içinde camın yapısındaki Na^+ 'un çevre toprağına geçmesi ve yerine Ca^{2+} 'un yerleşmesi şeklinde açıklanabilmektedir (Freestone vd. 2002: 257-272).

Cam örneklerin yüksek orandaki K_2O ve MgO içerikleri, camın üretiminde bitki külünün kullanılmış olduğu olasılığını artırmaktadır (Freestone vd. 2002: 257-272; Henderson 2013: 320-325). Tekfur Sarayı cam örneklerinde genel olarak K_2O içerik genel itibarı ile yüksek (ortalama %4,34), MgO (ortalama %1,37) içerik ise düşüktür. İTS-G17, İTS-G20, İTS-G21b ve İTS-G25a (üretim artığı) örneklerinde %12-13 oranında oldukça yüksek K_2O içerik bulunmaktadır.

Cam üretiminde kullanılan Al_2O_3 , genellikle silis kaynağı olarak kullanılan hammaddeden kaynaklanmaktadır. Al_2O_3 miktarının benzerliği kullanılan kum ve/veya kuvarsın aynı kaynaktan geldiğini düşündürür (Freestone vd. 2002: 257-272). Çalışılan cam örneklerin Al_2O_3 içerikleri oldukça farklılaşan biçimde 0,013-2,80 arasında (ortalama %0,69) değişim göstermektedir. Örneklerin Al_2O_3 içeriklerindeki bu değişkenlik farklı hammadde kullanımına işaret eder niteliktedir (Şekil 4b). Örneklerden sadece 7'sinde (İTS-G4, İTS-G22, İTS-G23a, İTS-G23b, İTS-G23c, İTS-G23d ve İTS-G27d) %1-2 oranında Al_2O_3 içerik belirlenmiştir.

Tekfur Sarayı cam örneklerinde renkle ilgili elementler Fe, Mn, Co, Cu, As, Sn, Sb ve Pb'dir (Şekil 4c-4e). Örneklerde Fe^{2+} iyonlarının varlığı cama sarı renk kazandırmaktadır. Çözeltide $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ oranı azaldıkça renk yeşile doğru yönelmektedir. Çünkü Fe^{3+} iyonları sarı ve kırmızı renk yaratmaktadır (Bamford 1962). (İTS-G4, İTS-G22, İTS-G23a, İTS-G23b, İTS-



Şekil 6 - Tekfur Sarayı Kazısı ITS-G2 ve IT-G23a cam örneklerinde Raman Analizi / Results of Raman Analysis on glass samples ITS-G2 and IT-G23a from Tekfur Palace Excavations

G23c ve ITS-G23d) örneklerinde diğer örneklerden daha yüksek miktarda Fe_2O_3 içerik bulunmaktadır. Demir (Fe_2O_3) ve mangan oksitlerin (MnO) birlikteliği kahverengini oluşturur. ITS-G23c örneği buna örnektir. Bu örnekte diğer örneklerden daha yüksek oranda bakır (Cu) içerik de bulunmaktadır. Örnekler içinde mor renk MnO 'in Fe_2O_3 'den daha fazla miktarda bulunuyor olmasını gerektirir. Bu durumu yansıtan örnek bulunmamaktadır. Mavi renkle ilgili elementin kobalt (Co) olduğu düşünülmelidir. Mavi renkli örneklerde (ITS-G23f gibi) Co miktarı diğer örneklerden daha yüksek miktarda bulunmuştur. Yeşil renk içeren ITS-G1, ITS-G23c ve ITS-G25b örneklerinde diğer örneklerden daha belirgin oranda yüksek miktarda antimon (Sb) ve kurşun (Pb) içerik bulunması, renk verici madde olarak cama Sb ve Pb eklendiğini göstermektedir (Tablo 2). Örnekler renk içeriğini oluşturan temel elementler ile değerlendirildiğinde oldukça farklılaşan bir yapı sergilemektedir (Şekil 4c-4e). Bu durum farklı hammadde kullanımını, üretim tekniğinin değişkenliğini ya da bölgedeki üretim çeşitliliğini işaret ediyor olmalıdır.

Örneklerin hammadde kökeni açısından stronsiyum (Sr) ve zirkonyum (Zr) içeriklerinin bilinmesi önemlidir. Sr jeokimyasal olarak Ca 'ya benzer ve kireç içeren maddeler (deniz kabuğu, kireçtaşı, bitki külü gibi) içerisinde bulunur. Kireçtaşı içeren karasal kumlarda ise Sr miktarı genellikle 150 ppm'den azdır. Sr 'nin 400 ppm'den fazla olması camın yapımında kullanılan kumun denizel olduğunu düşündürmektedir (Freestone 2003). Bununla beraber üretimde karasal kumun kullanılması halinde Zr 'nin 160 ppm'den fazla olması beklenmektedir. Çalışılan cam örneklerden oldukça azının (ITS-G22, ITS-G23a ve ITS-G23c) Sr içeriği (ortalama 283 ppm) 400 ppm'den büyük olmasına rağmen cam örneklerden sadece 3'ünün (ITS-G4, ITS-G23b ve ITS-G23d) Zr içeriğinin (ortalama 81 ppm) 160 ppm'in üzerinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Bu sonuçların ışığında, örnek setine ait camların üretiminde denizel kökenli daha yüksek olmak üzere denizel ve karasal kumun birlikte kullanıldığı düşünülmektedir.

Cam örneklerinin Raman spektrometre ile ayrıntılı çalışmalarının yapılmasına başlanmıştır (Şekil 5). Sonuçlar değerlendirildiğinde farklı tondaki mavi renkli örneklerin spektrumları birbirine benzer bulunmuştur. Örneklerde 600 ve 1100 cm^{-1} enerji düzeylerinde $Si-O$ titreşimi ile ilintili sırasıyla bükülüm titreşimi (bending vibration; 600 cm^{-1}) ve gerilme titreşimi (stretching vibration; 1100 cm^{-1}) hareketlerini gösteren doruklar açıkça belirlenmiştir (Şekil 6). Açık (ITS-G2) ve koyu yeşil renkli (ITS-G23a) örneklerde gerilme titreşiminin enerji düzeyinin renk koyulaştıkça 1000 cm^{-1} düzeyine kaydığı görülmektedir. Bu farklılık hem ITS-G23a örneğinin ana element içeriğinden (daha yüksek CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ile daha düşük SiO_2 içeriği) hem de renk veren maddelerden kaynaklanıyor olmalıdır. Camın amorf yapı ve camlaşma derecesi burada önemli bir role sahiptir.

Sonuçlar

Tekfur Sarayı Kazısı ile ele geçen cam örnekler belgelenmiş, arkeometrik olarak incelenmiş ve tanımlanmıştır. Örneklerin fiziksel (kalınlıkları, renkleri, cam hamuru habbe şekilleri) ve kimyasal özellikleri, camı oluşturan temel/eser elementler ile renk veren elementler halinde belirlenmiştir. Kimyasal tanımlamalarda XRF ve Raman analizleri kullanılmıştır.

Tekfur Sarayı camlarının tipik soda-kireç camı olduğu ve benzeşen element içeriğine sahip oldukları anlaşılmıştır. Camın temel maddesi olan SiO_2 'nin örneklerde yüksek değerlerde oluşu hem mekanik dirençlerinin yüksek olduğuna ve dayanıklılığına, hem de ergime sıcaklığının yüksek oluşuna işaret etmektedir. Camlarda daha yüksek oranda olması beklenen Na_2O 'nun bazı örneklerde CaO 'den oldukça düşük değerlerde oluşu, camın yapısındaki Na^+ 'un çevre toprağına aktarıldığını ve yerine Ca^{2+} 'un yerleşmiş olduğunu düşündürmektedir. İçerdiği habbe şekillerine göre serbest üfleme tekniği ile üretilmiş olması gereken cam örneklerin çoğunluğunun üretiminde bitki külü (yüksek K_2O içerikleri ile) kullanılmış olmalıdır. Cam üretiminde kullanılan Al_2O_3 'in örneklerin içeriğinde görülen farklılığı; özelde silis kaynağı olarak kullanılan kum ve/veya kuvars kaynağının farklılığını, genelde de üretimde farklı hammadde kaynağının kullanımını ifade etmektedir.

Cam örneklerde renk veren elementler Fe , Mn , Co , Cu , As , Sn , Sb ve Pb 'dir.

Tüm örneklerin eser element içeriklerinde Sr ve Zr değerinin göz önüne alınarak, camların üretiminde denizel ve karasal kumun birlikte kullanıldığı düşünülmektedir.

Raman analizi ile cam örneklerin karakteristik özellikleri ile renk ve hammadde içeriklerindeki farklılıklar anlaşılmasına çalışılmıştır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde farklı tondaki mavi renkli örneklerin spektrumları birbirine benzer bulunmuştur.

Açık ve koyu yeşil renkli örneklerde gerilme titreşiminin enerji düzeyinin renk koyulaştıkça 1000 cm^{-1} düzeyine kaydığı belirlenmiştir.

İstanbul'un Eyüp semtinde, 1995 ve 1999 yıllarında Tekfur Sarayı'nda gerçekleşen kazılarda ele geçen sınırlı sayıdaki cam örnekleri, arkeometrik yünden ilk defa ele alınmış, elde edilen verilerin ışığında bölgenin cam üretimi hakkında malzemeye dönük ilk bilgilere ulaşmak mümkün olabilmektedir. Aynı bölgede gerçekleştirilecek sistematik kazılar ile ele geçecek cam buluntular, İstanbul'un diğer bölgeleri ile bu bölgeyi üretim teknolojisi açısından değerlendirilebilir kılacak, bölgenin üretim merkezi kimliği daha açık bir şekilde açığa çıkarılacaktır. Gerçekleştirilen arkeometrik çalışmalar ile Tekfur Sarayı camları için bu hedefe dönük bir alt yapı hazırlanmaya çalışılmıştır.

Teşekkür

Yazarlar, Tekfur Sarayı Kazısı cam buluntuları üzerinde arkeometrik araştırmaların yapılmasına imkan sağlayan kazı başkanı Prof. Dr. Filiz Yenişchirlioğlu'na, cam malzemelerin değerlendirilmesinde Prof. Dr. Ömür Bakirer ve Dr. Çiğdem Gençler Güray'a, örneklerin analizlere hazırlanmasında yardımcılarından dolayı Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB) proje asistanı M.A. Gülşen Albuz ile Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Ph.D. Kıymet Deniz'e, analizler için Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)'ne teşekkürü bir borç bilirler.

Kaynaklar

AKSOY, U.B., 2006, Archaeometric Analysis on the Selected Samples of Glass Artifacts Recovered in the Excavation at Alanya Castle", ODTÜ Arkeometri ABD Yüksek Lisans Tezi.

AKYOL, A.A., GÜRAY, Ç.G., KADIOĞLU, Y.K., DEMİRCİ, Ş., 2009, "Elaiussa-Sebaste Cam Örnekleri Arkeometrik Çalışmaları", 24. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayın No: 3173 / Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Yayın No: 132, Ankara, 13-28.

AKYOL, A.A., KADIOĞLU, Y.K., DEMİRCİ, Ş., ÖZGÜMÜŞ, Ü., 2012, "İstanbul Yeni Cami Hünkar Kasrı Camları Üzerine Arkeometrik Çalışmalar", ODTÜ FBE Arkeometri Anabilim Dalı 2. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı – Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar Bildiri Kitabı, Ankara, 159-171.

AKYOL, A.A., KADIOĞLU, Y.K., ÖZGÜMÜŞ, Ü., KANYAK, S., 2014, "İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi Camları Arkeometrik Analizleri", Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 9/11 Fall 2014, 1-13.

AYDIN, M., AKYOL, A.A., ERTEN, E., 2015, "Olba Kazısı Camları Arkeometrik Çalışmaları", Selevcia Ad Calycadnm, Olba Kazısı Yayınları, Sayı: V-2015, 197-206.

BAKIRER, Ö., 1985, "Cam Buluntuların Değerlendirilmesinde Arkeometrik Araştırmaların Önemi", VII. Kazı Sonuçları, I. Arkeometri Toplantısı Bildiriler Kitabı, Ankara, 61-67.

BAKIRER, Ö., 2001, Tekfur Sarayı Cam Buluntuları, V. Ortaçağ ve Türk Dönemi Kazı ve Sanat Tarihi Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 41-56.

BAKIRER, Ö., 2003, Tekfur Sarayı Kazı Buluntularından Bir Cam Kap, VII. Ortaçağ ve Türk Dönemi Kazı ve Sanat Tarihi Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, (Der. G. Köroğlu), İstanbul, 42-48.

BAKIRER, Ö., 2012, Glass Finds Recovered in the Excavation at Tekfur Sarayı, Türkiye'de Arkeometrinin Ulu Çınarları, (Der. A.A. Akyol, K. Özdemir), Homer Kitabevi Yayınları, İstanbul, 107-116.

BAMFORD C.R., 1962, "The application of the field theory to colored glasses", Physics and Chemistry of Glasses 3, 189-202.

BEŞER, E., 2008, "Archaeometrical Investigation of some Medieval Glass Samples from Alanya Region", ODTÜ Arkeometri ABD Yüksek Lisans Tezi.

BEŞER, E., UZUN, A., DEMİRCİ, Ş., AKYOL, A.A., KADIOĞLU, Y.K., 2010, "Archaeometry of the Glass from Alanya", Late Antique/ Early Byzantine Glass in the Eastern Mediterranean, (Ed. Ergün Lafli), TÜBİTAK Yayını, 213-233.

FREESTONE, I.C., PONTING, M., 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., THIRWALL, M., 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, No. 1, 19-32.

HENDERSON, J., 2013,
Ancient Glass An Interdisciplinary Exploration, Cambridge University Press, 320-325.

MÜLLER-WIENER, W., 2002,
İstanbul'un Tarihsel Topografyası, (Çev. Ü. Sayın), Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 244.

OHNO, Y., 2007,
Spectral Colour Measurement, in CIE Colorimetry: Understanding the CIE System, J. Schanda, Ed., Ch. 5., Wiley, New York.

SHACKLEY, M.S. (Ed.), 2011,
X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology, DOI 10.1007/978-1-4419-6886-9-2, Springer Publication.

YENİŞEHİRLİOĞLU, F., 2001,
Tekfur Sarayı Çini Fırınları Kazısı 1995-2001, 24. Kazı Sonuçları Toplantısı, Cilt 1, T.C. Kültür Bakanlığı, Ankara, 329-344.