

# GAZİANTEP UNIVERSITY JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES

Journal homepage: <http://dergipark.org.tr/tr/pub/jss>



## Araştırma Makalesi • Research Article

### Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra ve Balneum Kazılarında Ait Pencere Camı Örneklerinde Arkeometrik Analizler<sup>1</sup>

*Archeometric Analyses on Window Glass Samples From Metropolis Lower Bath-Palaestra and Balneum Excavations*

Ali Akın AKYOL<sup>a\*</sup> Emine AKKUŞ KOÇAK<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Prof. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, Ankara / TÜRKİYE  
ORCID: 0000-0002-4174-575X

<sup>b</sup> Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, Yozgat / TÜRKİYE  
ORCID: 0000-0001-7365-0029

#### MAKALE BİLGİSİ

*Makale Geçmişi:*

Başvuru tarihi: 30 Mayıs 2023

Kabul tarihi: 27 Kasım 2023

*Anahtar Kelimeler:*

Arkeometri,  
Antik camlar,  
Metropolis kazısı camları,  
Kromametrik Analiz,  
XRF Analizi.

#### ARTICLE INFO

*Article History:*

Received: May 30, 2023

Accepted: November 27, 2023

*Key Words:*

Archaeometry,  
Window panes,  
Metropolis,  
Chromometric Analysis,  
XRF Analysis.

#### ÖZ

Camın üretimi ve kullanımı antik çağlardan itibaren gerçekleşse de yapı malzemesi olarak kullanımı ancak Roma dönemine denk düşmektedir. Dönemin pencere olarak kullanılan açıklıkların cam levhalar kullanılarak kapatılmasına M.S. 1. yüzyılda ilk defa rastlanmaktadır. Roma İmparatorluk Dönemi'nde pencere camının yoğunlukla hamam yapılarının sıcak odaları olan caldarium'larda ve dönemin konutlarında kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra ve balneum kazılarında ele geçen Geç Roma dönemine ait pencere camı örnekleri arkeometrik yönden incelenmiştir. Örnekler öncelikle kataloglanıp fotoğraflanarak belgelendikten sonra mikroskop altında incelenerek fiziksel özellikleri ve üretim teknolojileri belirlenmeye çalışılmıştır. Camların kimyasal yapısı Polarize Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektroskopisi (PED-XRF) analizi ile belirlenmiştir. Analiz sonucunda camların, döneminin en fazla örneğini oluşturan soda/kireç camı türünde olduğu anlaşılmıştır. Örneklerin yüksek SiO<sub>2</sub> içerikleri, camların hem mekanik direnç ve dayanıklılığın hem de ergime sıcaklığının yüksek oluşuna işaret etmektedir. Aşağı Hamam-Palaestra yapısının pencere camları silindirik üfleme iken balneum'da tespit edilenler döküm tekniğinde üretilmiştir. Yüksek orandaki K<sub>2</sub>O içeriği ile camlara bitki külünün eklenmiş olduğu anlaşılmıştır. Cam örneklerde renk veren elementler Fe, Mn, Cu ve Pb'dir. Ayrıca renksizleştirici olarak Sb'nin de örneklerin çoğunluğunun yapısına eklendiği görülmüştür. Camların yapımında safsızlık olarak camın yapısına taşınan hammaddelerden biri olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarının örneklerde benzerliği, kullanılan kum ve/veya kuvarsın (SiO<sub>2</sub>) aynı kaynaktan geldiğine işaret etmektedir. Örneklerin Sr ve Zr içeriklerinin ışığında, örnek setine ait camların tümünün üretiminde çoğunlukla denizel kökenli kum kaynağının kullanıldığını söylemek mümkündür.

#### ABSTRACT

The first use of window glass in buildings can only be found in the 1st century AD during the Roman period. It is known that window glass was mostly used in the caldariums, which are the warm rooms of the baths, and in the residences of the period during the Roman Imperial Period. In this study, window glass samples from the Late Roman period, obtained from the Metropolis Lower Bath-Palaestra and balneum excavations, were examined archeometrically. The samples were cataloged, photographed and documented. Their physical properties and production technologies were tried to be determined by microscopic studies. The chemical structure of the glasses was determined by PED-XRF analysis. As a result of the analysis, it was understood that the glasses were of the soda/lime glass type, which constitutes the most examples of the period. The high SiO<sub>2</sub> contents of the samples indicate that both the mechanical resistance and durability and the melting temperature of the glasses are high. While the window panes of the Lower Bath-Palaestra were cylindrical blown, those found in balneum were produced by casting technique. It was understood that plant ash was added to the glasses with its high K<sub>2</sub>O content. Colorants in glass samples are Fe, Mn, Cu and Pb. In addition, it was observed that Sb was added to the structure of most of the samples as a decolorizer. The similarity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and/or SiO<sub>2</sub> ratios, one of the main raw materials of glass, indicates that the raw materials comes from the same source(s). In the light of the Sr and Zr contents of the samples, it is possible to say that mostly marine origin sand source was used in the production of all the glasses of the sample set.

<sup>1</sup> Çalışmanın bir kısmı "Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra Kazısı Pencere Camları Arkeometrik Analizleri" başlığı ile 39. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu'nda sunulmuştur (22-26 Mayıs 2017), anılan sempozyumda veya başka bir mecrada yayınlanmamıştır.

## EXTENDED ABSTRACT

Metropolis archaeological site is located on a hill and its slopes between Yeniköy and Özbey villages, within the borders of Torbalı district of İzmir province. The city dominates the Kaystros (Küçük Menderes) plain, 30 km from Ephesos and 40 km from İzmir. These plains irrigated by the ancient Kaystros river and its location on the trade route between İzmir and Ephesos made Metropolis a rich city (Aybek et al., 2009).

Window glass, which is considered one of the most important developments in glass production technology, has been used in three different techniques in its production in ancient and late antiquity, starting from the early dates of the Roman Imperial Period. These are casting, cylinder blowing and crown glass production techniques. The samples that constitute the subject of this study contain window glass pieces produced by casting and cylinder blowing techniques (Özgümüş, 2013, s. 15-17).

Window panes selected for analysis were visually evaluated and window panes produced by cylinder blowing (Figure 2a) and casting techniques were separated from each other (Figure 2b). It is thought that 12 of the samples were produced in the cylinder blowing technique and 9 of them were produced in the casting technique (Table 1). It can be said that the thickness of these two physically different types of glass, made by blown technique, varies between 0.96 mm and 2.61 mm (average 1.86 mm), and both surfaces of the glasses are quite smooth and have approximately the same thickness all over the plates (Table 1). However, traces of rounding can also be observed on the short edges of the plate, which were cut open while being rolled, by being cut open and fired. On the other hand, the wall thicknesses of the window panes in the casting technique vary between 1.95 mm and 5.65 mm (average 3.48 mm) (Table 1). The edges of these glasses, which were shaped by pouring into a table, were either thicker and blunt or shaped as upwards, as they coincided with the corners of the table, unlike those made in the blown technique. As a result of the rapid cooling of the glass, it is also seen that in some examples, a smooth rectangle cannot be formed as a result of the molten glass cooling before it reaches the table edges.

The colors of the window glass samples were recorded digitally (chromametric analysis). Color analysis was performed using the standard CIE L\*a\*b\* (Commission Internationale de L'Eclairage) color system (Ohno, 2007). Due to the light color of the samples, the "L" values are high. The "-a" value indicating green intensity was determined in all samples except MTR-G35 (light brown). The light blue colors of the samples are "-b", and the ones with green and yellow/color tones have a high "+b" value (Table 2 and Figure 2).

The shapes of the air sacs (habbe) resulting from the production in the frit give information about the production technology of the glasses. Habbe shapes were photographed and evaluated by binocular submicroscope imaging of glass samples (Figure 3). Habbe contents of the frits of MTR-G19 (cylinder blowing) and MTR-G39 (casting) samples selected according to the production techniques among the window glass samples are elliptical and shuttle-shaped (Figure 3).

Archaeometric examinations of archaeological glass samples were evaluated with the XRF analysis and their basic and trace element contents. The amount of SiO<sub>2</sub>, which is the basic material of glass, is at the level of 60% (less than 65-70%) in the samples, indicates that the mechanical resistance and durability are average in these samples. In the glass sample set, the MTR-G23 sample differs from the other samples with its very low SiO<sub>2</sub> content (48.16%) (Table 3 and Figure 4).

The Na<sub>2</sub>O (soda) and CaO (lime) contents of the examined window glass samples are close to the ratios predicted for soda/lime glass (Table 4). On the other hand, the Na<sub>2</sub>O and CaO ratios of some samples are very close to each other (especially MTR-G19, MTR-G24 and MTR-G32 produced in cylinder-blowing technique) or an inversely proportional relationship between them (such as MTR-G23). This situation is explained as the release of Na<sup>+</sup> in the structure of the glass in the soil reservoir into the surrounding soil and the replacement of Ca<sup>2+</sup> (diagenesis) over time (Freestone, 2001).

The fact that the K<sub>2</sub>O content of the samples is generally close to 1% (average 0.74%) increases the possibility that plant ash was used in their production (especially in MTR-G20 and MTR-G38 samples) (Freestone, 2001). In addition, the main element contents of the glasses using plant ash (60-70% SiO<sub>2</sub>, 12-14% Na<sub>2</sub>O and 6-9% CaO) show compatibility for the sample set examined (Henderson, 2013, s. 28) (Table 3).

Aluminum (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in the structure of the glass is directly related to the silicon source of the glass. The similarity of the amount of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> suggests that the sand used comes from the same source. (Freestone, 2001). Although it seems possible to address Metropolis window glass samples to the same raw material source with close Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents, MTR-G24, MTR-G25 and MTR-G31 samples produced by cylinder-blowing technique from different places and MTR-G30, MTR-G31 produced by casting technique. MTR-G36 and MTR-G38 samples differ significantly from each other with their trace element contents such as high copper (Cu), antimony (Sb) and lead (Pb) (Table 3).

In the light of the Sr and Zr contents of the samples, it is possible to say that mostly marine origin sand was used in the production of the glasses belonging to the sample set.

In the light of the archaeometric data obtained from the examination of glass samples obtained from the Metropolis Lower Bath-Palaestra Complex and balneum excavations, the first information about the glass production of the nearby region has been reached, starting from the ancient city. This information obtained will serve to provide information about the production technology of the period about the relevant geography and Anatolian glass production comparatively.

## Giriş

Metropolis arkeolojik alanı, İzmir ili Torbalı ilçesi sınırlarında, Yeniköy ve Özbey köyleri arasındaki bir tepe ve yamaçlarında konumlanmaktadır. Kent, Ephesos'a 30 km, İzmir'e ise 40 km uzaklıkta Kaystros (Küçük Menderes) ovasına hâkim konumdadır. Antik Kaystros nehrinin suladığı bu ovalar ve İzmir-Ephesos arasında ticaret yolu üzerindeki konumu Metropolis'in zengin bir kent olmasını sağlamıştır (Aybek vd., 2009). Roma İmparatorluk döneminin getirdiği barış ve refah döneminde belli bir seviyeye ulaşmış olan Metropolis'in en görkemli yapılarından biri Aşağı Hamam-Palaestra kompleksidir (Şekil 1).

2003-2018 yılları arasında yapılan kazılarla ortaya çıkarılan Aşağı Hamam-Palaestra Kompleksi, 6000 m<sup>2</sup>'lik geniş bir alanı kaplayan düz bir araziye inşa edilmiştir (Şekil 1). Yapı mimari olarak farklı dönemlerde değişimler geçirmiştir. İlk evrede *caldarium*, *tepidarium* ve *frigidarium*'dan oluşan 35 x 12 m ölçülerinde küçük bir yapıdır. Antoninus Pius zamanında (M.S. 138-161) büyük bir değişim geçiren yapıya yeni bir *caldarium*, servis koridorları, taberna, kare planlı 40 x 40 m boyutlarında bir palaestra ve mozaikli portikolar eklenmiştir. Üçüncü ve son evre ise M.S. 4. yüzyıl ve sonrası olarak değerlendirilebilir. Bu evrede mimari birimler çeşitli onarımlar geçirmiş, yapıda işlev değişiklikleri olmuş ve Erken Bizans Dönemi'nde su sistemleriyle desteklenen bir atölye alanına dönüşmüştür (Aybek, 2016, s. 109-124).

Metropolis antik kenti Hamam-Palaestra Kompleksi'nde yapılan çalışmalar sırasında mavi, yeşil, mavimsi, yeşil ve sarımsı renklerde silindir üfleme tekniğinde pencere camı parçalarına (toplamda 4798,5 gram) rastlanmıştır. Bu pencere camlarının kompleksin hangi mekânlarına ait oldukları değerlendirildiğinde; hamamın *caldarium* bölümünün güney ve batı havuzu etrafına, *tepidarium*'un güney havuzu, *frigidarium*'un batı kenarında bulunan havuzun etrafına, kuzey mozaikli salonun batısında bulunan 1,5 x 2 m'lik mekânın içi, güney servis koridorunun ön bölümü ve batı servis koridorunun güney ucuna ait oldukları anlaşılmıştır (Akkuş Koçak, 2021, s. 359-370). *Balneum*'a ait döküm tekniğindeki pencere camı örnekleri ise 2009-2011 yılları arasında kazısı yapılan *caldarium* ve *tepidarium* bölümlerindedir.

Çalışma kapsamında, Aşağı Hamam-Palaestra buluntusu pencere camlarına ek olarak karşılaştırma amaçlı renk, doku, üretim tekniği ve tarihleme açısından farklılık gösteren *balneum*'a ait pencere camları da değerlendirilmiştir. Çalışmanın örnekleme, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB) ile Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Laboratuvarlarında 2017 yılından itibaren analiz edilmeye başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında ele geçen pencere camları üzerine elde edilen ilk arkeometrik veriler paylaşılmaktadır. Ülkemizde cam buluntular üzerinde gerçekleşen arkeometrik çalışmaların azlığı da bu çalışmayı değerli kılmaktadır (Akyol vd., 2009; Akyol vd., 2012; Akyol vd., 2014; Akyol ve Kadioğlu, 2015; Akyol ve Erten, 2016; Akyol vd., 2021, Aydın vd., 2015; Beşer vd., 2010; Çolak Büyüksoy vd., 2021; Genç ve Akyol, 2021).

## Yöntem ve Analizler

Analiz için seçilmiş örnekler, kazılar sırasında yoğun pencere camı buluntularının tespit edildiği alanlardan, çeşitlilik gösteren gruplar arasından seçilmiş, hamam mimarisi ile ilişkili olabilecek parçaları içermektedir. Gerçekleştirilen arkeometrik analizlerde, Aşağı Hamam-Palaestra ve *balneum*'un farklı bölümlerinden ele geçen pencere camları incelenmiştir (Tablo 1).

Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra ve *balneum*'da saptanan kazısı pencere camlarından analiz için değerlendirmeye alınan 21 örnek içinde döküm veya silindir tekniğinde üretilen parçalar öncelikle birbirlerinden ayrılmışlardır. Bunlar başlangıçta görsel olarak değerlendirilmiş, çizimleri yapılmış, dijital kumpas ile ölçüleri alınmış, fotoğrafları çekilerek belgelenmiş ve kodlanmıştır. Kodlamada Metropolis'in kısaltması olan "MTR" ön kod olarak yazılmış ve ardından cam için "G" harfi kullanılmıştır (Tablo 1).

Pencere camı örneklerinin renkleri dijital olarak (kromametrik analiz) kaydedilmiştir. Renk analizi, standart CIE L\*a\*b\* (Commission Internationale de L'Eclairage) renk sistemi kullanılarak yapılmıştır (Ohno, 2007). Bu analizde; rengin açıklık/koyuluk değeri "L", kırmızı renk tonları "+a", yeşil renk tonları "-a", sarı renk tonları "+b" ve mavi renk tonları da "-b" ile belirtilmiştir (Tablo 2 ve Şekil 2).

Cam hamuru içinde üretimden kaynaklanan hava keselerinin (habbe) şekilleri camların üretim teknolojisi hakkında bilgi vermektedir. Cam örneklerin binoküler mikroskop altı görüntülemeleri ile habbe şekilleri fotoğraflanarak değerlendirilmiştir (Şekil 3).

Antik cam örnekler X-ışını Floresan Spektroskopisi (XRF) yöntemi kullanılarak kimyasal yönden karakterize edilmiştir (Shackley, 2011) (Tablo 3 ve Şekil 4). Örnekler Spectro XLab 2000 Model XRF cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Cihazın rezolüsyon değerleri <150 eV Mn K $\alpha$ , 5000 cps'dir.

### Antik Pencere Camları

Arkeolojik kazılar ve antik kaynaklar yoluyla elde edilen bilgiler, pencere camlarının yalnızca geç antik çağ cam üretim teknolojisi açısından değil, döneminde mimari bir öge olarak kullanımının da oldukça yaygın olduğunu göstermektedir. Bugün olduğu gibi antik dönemde de pencere açıklıkları, mekânlarda yalıtım ve aydınlanmayı sağlamak için ışığı geçiren aynı zamanda yaşam alanlarının sıcak ve soğuktan da etkilenilmesini engelleyen malzemelerle de kapatılmaktaydı. Bu amaçla üz cam plakaların yanı sıra mika ve selenit gibi saydam ve doğal mineral plakalar, metal, ahşap, seramik, arap zamkına batırılmış parşömen, inceltilmiş hayvan derisi ve hatta sığır midesine kadar uzanan çok farklı uygulamaların da dönemin pencere açıklıklarında kullanıldığı da bilinmektedir (Erten, 2015, s. 155; Freestone, 2008, s. 77-100; Stern, 2007; Strabon, 2015, XII.2.10).

M.S. 1. yüzyılın yaşam alanlarında ilk defa pencere açıklıklarının cam levhalar kullanılarak kapatılması uygulamalarına rastlanılmıştır. Roma İmparatorluk Dönemi'nde pencere camlarının çoğunlukla hamam yapılarının sıcak odalarında (*caldarium*) kullanımı söz konusu olsa da konutlarda da kullanıldığı bilinmektedir. Hamamların camla kaplanmış pencere açıklıkları sadece hamamın iç mekânlarının aydınlatılması için değil, aynı zamanda ısınmaya yardımcı olması açısından da döneminin yapısal malzemeleri arasında düşünülmesine neden olmuştur (Erten, 2011, s. 29-50).

Aşağı Hamam-Palaesta'nın *caldarium*'unda bulunan güney ve batı havuzların etrafından pencere camlarının ele geçmemiş olması Vitruvius'un hamamlar için belirttiği; "*hamamlarda sıcak ve ılık mekanların güneybatıdan ışık alması gerekir, ya da yerin doğası müsait değilse en azından güneyden ışık almalıdır, çünkü yıkanma için en uygun zaman öğle ile akşam arasındır*" akla getirmektedir. (Vitruvius, 2015, V.10.1). En genel anlamda büyük pencerelerin güney ve batıya bakacak şekilde konumlandırılması da güneşin gün içi döngüsünden en üst seviyede yararlanmanın bir yoludur. Ancak asıl amaç aydınlanma ve yalıtım sağlamak olduğu için Roma döneminde pencere camlarının tümüyle saydam olmadığı, modern camlarla karşılaştırıldığında sadece "ışığı geçirgen" nitelikte olduğu söylenebilir (Erten, 2015, s. 158). Çünkü döküm tekniği kullanılarak yapılan pencere camlarının hem bir

yüzünün mat diğer yüzünün de parlak olması hem de renkli üretilmesi ile dışarıdan bakanın görüşü engellenebilmektedir (Whitehouse, 2001, s. 35).

Cam üretim teknolojisinin en önemli gelişmelerinden biri sayılan pencere camı, Roma İmparatorluk Dönemi'nin erken tarihlerinden başlayarak antik ve geç antik dönemlerde üretiminde üç farklı teknik kullanılmaktadır. Bunlar döküm (casting), silindir üfleme (cylinder blowing) ve göbekli (crown) cam üretim teknikleridir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan örnekler döküm ve silindir üfleme tekniklerinde üretilmiş pencere camı parçalarını içinde barındırmaktadır. Döküm pencere camları eriyik camın dikdörtgen kalıplara dökülerek merdane yardımıyla ileri geri ezilmesi sonucu elde edilmektedir. Silindir üfleme tekniğindeki pencere camları ise üfleme çubuğunun ucuna alınmış cam topağının serbestçe üflenmesi, bir alet yardımıyla silindirik biçime sokulması, nobleye geçirilerek makasla yandan uzunlamasına kesilmesi ve ısıtılarak düzleştirilmesiyle elde edilmektedir (Özgümüş, 2013, s. 15-17).

Antik camların kalınlıkları, içerdikleri habbe şekilleri, yoğunlukları ve yönelimleri ile yüzey durumları gibi özelliklerin, döküm veya silindir üfleme arasında bir ayırım yapabilmesine yardımcı olmaktadır (Erten, 2015; Whitehouse, 2001; Harden, 1959, s. 158; Bonn, 1966, s. 42). Buna göre silindir üfleme tekniğinde üretilen pencere camları daha inceyken ve her iki yüzleri de parlakken, döküm pencere camları 6 mm kalınlığa kadar ulaşabilmektedir. Bununla beraber eriyik camın üzerine döküldüğü tablaya değen alt yüzleri mat, üst yüzleri de parlak olmaktadır.

### Bulgular ve Değerlendirmeler

Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra ve *balneum* kazılarında ele geçen pencere camları arasından seçilen 21 örnek arkeometrik yönden ele alınmıştır. Bu örnekler hamamın batı servis koridoru, *caldarium* (sıcaklık), mozaikli salon (*taberna*), hamam'ın ön bölümü ve palaestra alanından ele geçmiştir. Ayrıca palaestranın hemen kuzey doğu köşesinde yer alan *balneum*'un *caldarium* ve *tepidarium* bölümlerinden ele geçmiş pencere camı buluntuları arasından seçilmiş 6 adet örnek de Aşağı Hamam-Palaestra buluntularıyla renk, doku ve kalınlık açısından farklılık gösterdiği için karşılaştırma amaçlı bu analize dahil edilmiştir (Tablo 1).

Analiz için seçilmiş pencere camları görsel olarak değerlendirilerek silindir üfleme (Şekil 2a) ve döküm tekniğinde üretilmiş pencere camları birbirinden ayrıştırılmıştır (Şekil 2b). İncelenen örnekler içinde 12'sinin silindir üfleme tekniğinde, 9'unun da döküm tekniğinde üretildiği düşünülmektedir (Tablo 1). Fiziksel olarak farklılık gösteren bu iki tip camdan, üfleme tekniğinde yapılmış olanların kalınlıklarının 0,96 mm ile 2,61 mm arasında (ortalama 1,86 mm) değişmekte olduğu ve camların iki yüzeyinin de oldukça düzgün ve plakaların her yerinde yaklaşık aynı kalınlıkta olduğu söylenebilir (Tablo 1). Bununla birlikte levhanın silindirlenirken kesilerek açılmış kısa kenarlarında, kesilerek açılma ile ateşe tutularak yuvarlatma izleri de gözlemlenebilmiştir. Döküm tekniğindeki pencere camlarında ise cidar kalınlıkları 1,95 mm ile 5,65 mm arasında (ortalama 3,48 mm) değişkenlik göstermektedir (Tablo 1). Bir tablaya dökülerek şekillendirilmiş olan bu camların kenar kısımları üfleme tekniğinde yapılanların aksine tablanın köşelerine denk geldiği için ya daha kalın ve küt ya da yukarı bakar şekilde biçimlenmiştir. Camın hızlı soğumasının bir sonucu olarak bazı örneklerde eriyik camın tabla kenarlarına ulaşmadan soğuması sonucu düzgün bir dörtgen oluşturulamadığı da görülmektedir.

Cam örneklerin renk değerleri kromametre kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin açık renkli oluşu nedeniyle "L" değerleri yüksektir. Yeşil yoğunluğunu gösteren "-a" değeri MTR-G35 (açık kahve renkli) dışındaki tüm örneklerde belirlenmiştir. Örneklerin açık mavi renkleri "-b", yeşil ve sarı renkli/renk tonlu olanların da "+b" değeri yüksektir (Tablo 2).

Pencere camı örnekleri arasından üretim tekniklerine göre seçilen MTR-G19 (silindir üfleme) ve MTR-G39 (döküm) örneklerinin cam hamurlarının habbe içerikleri eliptik ve mekik şeklindedir (Şekil 3). Genel anlamda camların üretim teknikleri hakkında fikir veren habbe şekilleri silindir-üfleme tekniği ile üretilmiş örneklerde uzayan elipsler hâlinde mikroskop altı görüntüler sunmaktadırlar.

Arkeolojik cam örneklerinin arkeometrik incelemeleri uygulanan XRF analizi ile temel ve eser element içerikleri ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda camın yapısını oluşturan temel elementlerden silisyum/kum ( $\text{SiO}_2$ ), ergitici olarak kullanılan sodyum/soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ve daha kararlı hâle getirmek için kullanılan kalsiyum/kireç ( $\text{CaO}$ ) ile renk veren eser elementlerin (Cu, Co, Fe, Mn, Pb, Sn ve Sb gibi) oranlarına (ana elementlerde %, eser elementlerde de ppm olarak) ulaşılmıştır (Tablo 3 ve Şekil 4).

Camı oluşturan temel bileşen  $\text{SiO}_2$ ; silindir-üfleme tekniği ile üretilmiş örneklerde %48,16 ile %65,98 arasında (ort. %61,38), döküm tekniği ile üretilmiş örneklerde ise %52,98 ile %67,42 arasında (ort. %59,81) değişmekte, ergitici  $\text{Na}_2\text{O}$ ; silindir-üfleme tekniği ile üretilmiş örneklerde %7,37 ile %15,17 arasında (ort. %10,82), döküm tekniği ile üretilmiş örneklerde ise %8,91 ile %14,36 arasında (ort. %11,42) değişmekte, dayanım veren  $\text{CaO}$ ; silindir-üfleme tekniği ile üretilmiş örneklerde %5,26 ile %8,68 arasında (ort. %7,04), döküm tekniği ile üretilmiş örneklerde ise %6,04 ile %9,40 arasında (ort. %7,56) değişmektedir (Tablo 3). Örnekler ana element içerikleri ile oldukça homojen bir yapı sergileyen tipik soda-kireç camı kategorisindedirler (Şekil 4).

Camın temel maddesi olan  $\text{SiO}_2$  miktarının örneklerde %60'lar seviyesinde (%65-70 seviyesinden düşük) oluşu mekanik direnç ve dayanıklılığın bu örneklerde ortalama değerde olduğunun göstergesidir. Cam örnek seti içinde MTR-G23 örneği oldukça düşük  $\text{SiO}_2$  içeriği ile (%48,16) diğer örneklerden farklılaşmaktadır (Tablo 3 ve Şekil 4). Örneklerin  $\text{SiO}_2$  içeriğinin nispeten düşük oranda oluşu ergime sıcaklığının da buna bağlı olarak yüksek oluşuna işaret edeceğinden, cam üretim teknolojisinin bu örneklerin ışığında ortalama kalitede standart bir üretimi yansıttığını söylemek mümkündür (Tablo 4).

İncelenen pencere camı örneklerinin  $\text{Na}_2\text{O}$  (soda) ve  $\text{CaO}$  (kireç) içerikleri soda/kireç camı için öngörülen oranlara yakındır (Tablo 4). Bazı örneklerin ise  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{CaO}$  oranları birbirine oldukça yakın (özellikle silindir-üfleme tekniğinde üretilmiş MTR-G19, MTR-G24 ve MTR-G32 gibi) ya da aralarında ters orantılı bir ilişki (MTR-G23 gibi) göze çarpmaktadır. Bu durum, zaman içinde toprak rezervuarda bulunan camların yapısındaki  $\text{Na}^+$ 'un çevre toprağına salınması ve yerine  $\text{Ca}^{2+}$ 'un yerleşmesi olarak (diagenesis) açıklanmaktadır (Freestone, 2001).

Örneklerin  $\text{K}_2\text{O}$  içeriklerinin genel olarak %1'e yakın değerlerde (ort. %0,74) oluşu üretimlerinde (özellikle MTR-G20 ve MTR-G38 örneklerinde) bitki külünün kullanılmış olma olasılığını artırmaktadır (Freestone, 2001). Bununla beraber bitki külü kullanılan camların ana element içerikleri de (%60-70  $\text{SiO}_2$ , %12-14  $\text{Na}_2\text{O}$  ve %6-9  $\text{CaO}$ ) incelenen örnek seti için uyumluluk göstermektedir (Henderson, 2013, s. 28) (Tablo 3).

Camın yapısında bulunan alüminyum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) birebir olarak camın silisyum kaynağı ile de ilişkilidir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  miktarının benzerliği kullanılan kumun aynı kaynaktan geldiğini düşündürmektedir. (Freestone, 2001). Metropolis pencere camı örneklerini, birbirlerine yakın  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içerikleri ile aynı hammadde kaynağına adreslemek mümkün gibi görünse de silindir-üfleme tekniği ile üretilmiş farklı mekânlara ait MTR-G24, MTR-G25 ve MTR-G31 örnekleri ile döküm tekniği ile üretilmiş MTR-G30, MTR-G36 ve MTR-G38 örnekleri yüksek bakır (Cu), antimon (Sb) ve kurşun (Pb) gibi eser element içerikleri ile birbirlerinden belirgin şekilde farklılaşmaktadırlar (Tablo 3).

Cam örneklerinde renk veren ana elementler; bakır (Cu), demir (Fe) ve mangan (Mn) olarak görülmektedir. Ayrıca antimon (Sb) renksizleştirmek (Jackson, 2005), kurşun (Pb) da yüksek Cu içerikli camlarda rengi güçlendirmek adına hammaddenin yanında kullanılan katkılardandır. Örnek seti içinde;

Fe oranı (genel ort. %0,99) yüksek örnekler; MTR-G30, MTR-G31, MTR-G34, MTR-G37, MTR-G38 ve MTR-G41,

Mn oranı (genel ort. %1,04) yüksek örnekler; MTR-G19, MTR-G27, MTR-G30, MTR-G31, MTR-G33, MTR-G34, MTR-G35, MTR-G36 ve MTR-G37,

Cu oranı (genel ort. 58,5 ppm) yüksek örnekler; MTR-G24, MTR-G25, MTR-G30, MTR-G31, MTR-G36 ve MTR-G38,

Sb oranı (genel ort. 695,8 ppm) yüksek örnekler; MTR-G18, MTR-G20, MTR-G22, MTR-G24, MTR-G25, MTR-G34, MTR-G35, MTR-G36, MTR-G38 ve MTR-G41,

Pb oranı (genel ort. 96,2 ppm) yüksek örnekler; MTR-G24, MTR-G25, MTR-G30, MTR-G31, MTR-G36, MTR-G38 ve MTR-G41'dir (Tablo 3).

Camda  $Fe^{2+}$  iyonları cama sarı,  $Fe^{3+}$  iyonlarının varlığı da sarı ve kırmızı renk vermektedir.  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  oranı azaldıkça renk yeşile doğru yönelmektedir. Camda kırmızı renk  $Fe^{3+}$ 'ün  $Fe^{2+}$ 'ye oranla daha fazla olduğuna da işaret etmektedir. Kahve ve mor renkler manganın (Mn) Fe'den daha fazla miktarda bulunuyor olmasını gerektirmektedir. Bakır (Cu) cama yeşil ve yeşilimsi-mavi tonlarda renk vermektedir (Caley, 1947). Roma camlarında bakıra (Cu) paralel olarak kurşun (Pb) oranı da yüksektir (Tablo 3,4).

Camların hammadde değerlendirmelerinde stronsiyum (Sr) ve zirkonyum (Zr) içerikleri önemli bir gösterge sayılmaktadır. Sr'nin 400 ppm'den fazla olması camın yapımında kullanılan kumun denizel kökene sahip olduğunu düşündürmektedir (Freestone vd., 2003). Bununla beraber kireçtaşı içeren karasal kumlarda ise Sr miktarı genellikle 150 ppm'den azdır. Buna karşın üretimde karasal kumun kullanılması hâlinde Zr'nin 160 ppm'den fazla olması beklenmektedir. Pencere camı örneklerinin Sr içeriği 400 ppm'den büyük (genel ort. 532 ppm), Zr içeriklerinin de 150 pp'den oldukça düşük (genel ort. 88 ppm) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Diğer örneklerden farklılık gösteren döküm tekniği ile üretilmiş olan MTR-G30 ve MTR-G37 örneklerinin Zr içeriği bir miktar anılan değerlerden fazladır. Bu sonuçların ışığında, örnek setine ait camların üretiminde yoğunlukla denizel kökenli kumun kullanıldığını söylemek mümkündür.

### Sonuçlar

Çalışma kapsamında Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra Kompleksi ve *balneum* kazılarında ele geçen pencere camları arkeometrik yönden incelenmiştir. Öncelikle örneklerin belgelemeleri yapılmış; kodlanan örneklerin renkleri ve kalınlıkları belirlenmiştir. Camlar çoğunlukla açık yeşil/yeşilimsi ve açık mavi/mavimsi renktedirler, *balneum* buluntuları arasında bu renklere ek olarak yoğun şekilde sarımsı-kahve tonunda pencere camı parçaları da görülmektedir. Camların üretim teknikleri; buluntu yerleri, örneklerin üzerindeki izler ve mikroskop altı görüntülemeler ile anlaşılmasına çalışılmıştır. Aşağı Hamam-Palaestra'ya ait pencere camları silindir üfleme ve *balneum*'a ait olanlar ise döküm tekniklerinde üretilmiş olmalıdırlar.

Pencere camı örneklerinde, camı oluşturan temel ve eser elementler ile renk veren elementler XRF yöntemi ile belirlenmiştir. Camların antik cam içerikleri ile uyumlu tipik soda-kireç camı olduğu anlaşılmıştır. Cam üretiminde bitki külünün ( $K_2O$  içeriği ile) de kullanıldığı düşünülmektedir. Cam örneklerde renk veren elementler Fe, Mn, Cu ve Pb'dir. Ayrıca

renksizleştirici olarak Sb'nin de örneklerin çoğunluğunun yapısına eklendiği görülmektedir. Camların yapımında safsızlık olarak camın yapısına taşınan hammaddelerden Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarının örneklerde benzerliği, kullanılan kum ve/veya kuvarsın aynı kaynaktan geldiğini düşündürmektedir. Bir başka yaklaşımla da, örneklerin Sr ve Zr içeriklerinin ışığında, örnek setine ait camların üretiminde yoğunlukla denizel kökenli kumun kullanıldığını söylemek de mümkündür.

Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra Kompleksi ve *balneum* kazılarında ele geçen cam örnekleri incelemeleriyle elde edilen arkeometrik verilerin ışığında antik kentten başlayarak yakın bölgenin cam üretimi hakkında ilk bilgilere ulaşılmıştır. Elde edilen bu bilgiler karşılaştırmalı olarak ilgili coğrafya ve Anadolu cam üretimi hakkında dönemin üretim teknolojisi hakkında bilgi birikiminin sağlanmasına hizmet edecektir.

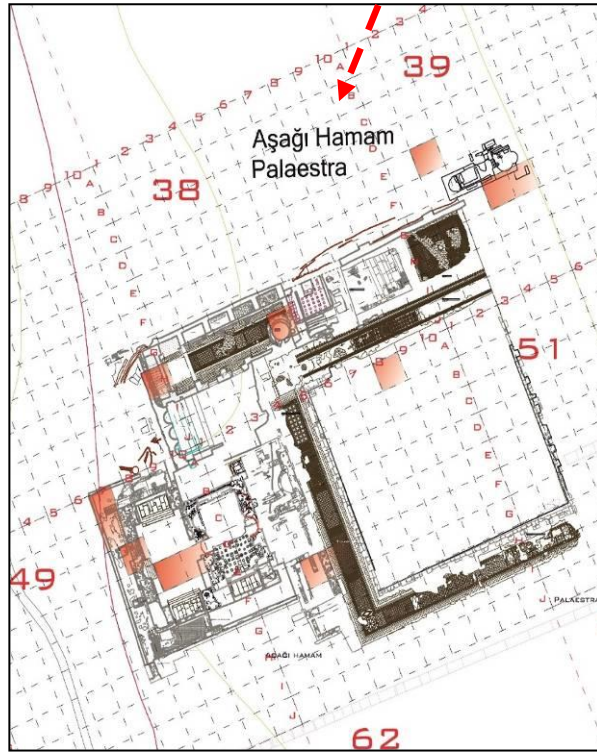
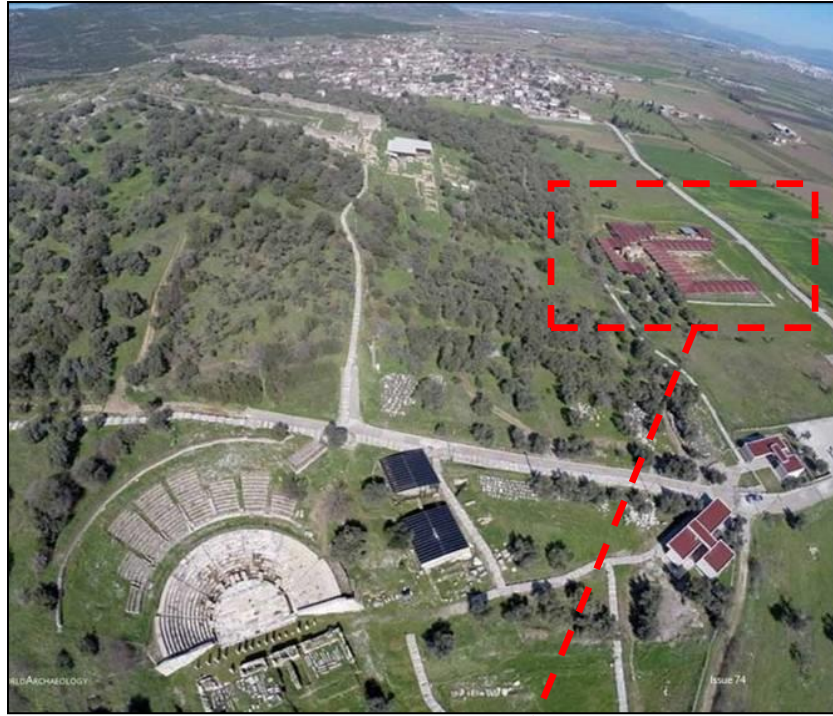
### Kaynakça

- Akkuş Koçak, Emine (2021). *Metropolis Aşağı Hamam-Palaestra yapısında pencere camları ve aydınlatma*, Kıraç, Y., Alagöz, U., Taşkiran, Z.F. ve Alpagut, A. (Ed.), *1921-2021 Asırlık Çınar: Anadolu Medeniyetleri Müzesi 100 Yaşında* (s. 359-370). Ankara.
- Akyol, A.A., Güray, Ç.G., Kadioğlu, Y.K. ve Demirci, Ş. (2009). Elaiussa-Sebaste cam örnekleri arkeometrik çalışmaları. Dönmez, H. ve Özme, A. (Ed.). *24. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, (s. 13-28). Ankara: T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı (Yayın No: 3173) / Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü (Yayın No: 132) Yayınları. Ankara.
- Akyol, A.A., Kadioğlu, Y.K., Demirci, Ş. ve Özgümüş, Ü. (2012). İstanbul Yeni Cami Hünkar Kasrı camları üzerine arkeometrik çalışmalar, Demirci, Ş., Özer, A.M. ve Ayter, P. (Ed.) *ODTÜ FBE Arkeometri Anabilim Dalı 2. ODTÜ Arkeometri Çalıştayı – Türkiye Arkeolojisi'nde Cam: Arkeolojik ve Arkeometrik Çalışmalar Bildiri Kitabı* (s. 159-171). Ankara: Elma Teknik Basım Matbaacılık.
- Akyol, A.A., Kadioğlu, Y.K., Özgümüş, Ü. ve Kanyak, S. (2014). İstanbul Koca Ragıp Paşa Kütüphanesi camları arkeometrik analizleri, *Turkish Studies*, 9 (11), 1-13.
- Akyol, A.A. ve Kadioğlu, Y.K. (2015). Tekfur Sarayı cam buluntuları arkeometrik çalışmaları, *Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi - TÜBA-KED*, 13, 27-36.
- Akyol, A.A. ve Erten, A.E. (2016). *Archaeometrical studies of ancient window glass finds from Olba (Silifke, Mersin) Excavation in Turkey*, Stanislawski, B. ve Öniz, H. (Ed.). *SOMA 2014 British Archaeological Reports* (s. 31-39). Archaeopress.
- Akyol, A.A., Kadioğlu, Y.K. ve Erol, A.F. (2021). *Cingirt Kayası (Fatsa, Ordu) Erken Bizans Dönemi camlarında XRF analizi*, Dumankaya, O. (Ed.), *Arkeolojik Küçük Buluntular Pişmiş Toprak, Metal, Kemik, Cam ve Taş Eserler* (s. 404-436). Doruk Yayıncılık.
- Aydın, M., Akyol, A.A. ve Erten, E. (2015). Olba Kazısı camları arkeometrik çalışmaları, *Selevcia Ad Calycadnm*, V, 197-206.
- Aybek, S., Meriç, A.E. ve Öz, A. (2009). *İonia'da bir ana tanrıça kenti: Metropolis*, İstanbul.
- Aybek S. (2016). Metropolis'te bulunan üç hamam: Şehir planlama, mimari özellikler ve sosyal kontekst bakımından kısa bir değerlendirme, *Arkeoloji ve Sanat*, 153, 109-124.
- Beşer, E., Uzun, A., Demirci, Ş., Akyol, A.A. ve Kadioğlu, Y.K. (2010). *Archaeometry of the glass from Alanya*. Laflı, E. (Ed.). *Late Antique/Early Byzantine Glass in the Eastern Mediterranean*, 213-233. Ankara: TÜBİTAK Yayınları.
- Boon, G.C. (1966). Roman window glass from Wales, *Journal of Glass Studies*, VIII, 41-45.
- Brill, R.H. (1962). *What is the chemistry of Roman glass?*. Table From Dr. Brill, 1962, *CMOG*, <https://ancientglass.wordpress.com/2014/05/19/what-is-the-chemistry-of-roman-glass/>. Erişim Tarihi: 05.06.2023.



- Caley, E.R. (1947). Results of a chemical examination of some specimens of Roman glaze from Tarsus. *The Journal of the Archaeological Institute of America Published Quarterly*, 389-393. Menasha & Wis: The Collegiate Press.
- Çolak Büyüksoy, D., Akyol, A.A. ve Özsait Kocabaş, H.I. (2021). Archaeometric studies on the characterization and deteriorations of glass artifacts of Su Terazisi and Kral Kızı regions in Enez (Ainos) Excavation, *Art – Sanat Dergisi*, 16, 87-122.
- Genç, D. ve Akyol, A.A. (2021). *Archaeometric investigations of the Early Byzantine site Side glass finds*, Sevindik, O. (Ed.). *Annales du 21<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre* (s. 375-388). İstanbul.
- Erten A.E. (2011). Erken Bizans camcılığı: Kimliği ve niteliği üzerine düşünceler, *Selevcia ad Calycadnum*, 1, 29-50.
- Erten A.E. (2015). *The use of window glass in the Roman world*, Okan E. ve Atila, C. (Ed.), *Prof. Dr. Ömer Özyiğit'e Armağan* (s. 155-161), İstanbul.
- Freestone, I.G. (2001). *Post-depositional changes in archaeological ceramics and glasses*, *Journal of Glass Studies*, Vol. 44, The Corning Museum of Glass, New York.
- Freestone, I.C., Leslie, K. A., Thirlwall, M. ve Gorin-Rosen, Y. (2003). Strontium isotopes in the investigation of early glass production: Byzantine and Early Islamic glass from the Near East, *Archaeometry*, 45, (1), 19-32.
- Freestone, I.C. (2008). *Pliny on Roman glassmaking*, Marcos Martín-Torres, M. ve Rehren, T. (Ed.). *Archaeology, History and Science: Integrating Approaches to Ancient Materials* (s. 77-100). Walnut Creek (CA).
- Harden, D.B. (1959). *New light on Roman medieval window-glass*, *V. Internationaler Glaskongress* (s. 158), 32 K (1959), Heft VIII.
- Henderson, J. (2013). *Ancient glass an interdisciplinary exploration* (s. 320-325). Cambridge University Press.
- Jackson, C.M. (2005). Making colourless glass in the Roman Period, *Journal of Archaeometry*, 47 (4), 763-780.
- Ohno, Y. (2007). *Spectral colour measurement, in CIE colorimetry: Understanding the CIE System*, Schanda, J. (Ed.), Ch. 5.. Wiley Publication, New York.
- Özgümüş, Ü.C. (2013). *Çağlar boyu cam tasarımı* (s. 15-17). İstanbul.
- Shackley, M.S. (Ed.) (2011). *X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology*, Springer Publication.
- Stern, E.M. (2007). *Ancient glass in a philological context*, 341-406. Leiden.
- Strabon (2015). *Antik Anadolu coğrafyası (Geographika Kitap: XII-XIII-XIV)*, İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları (8. Baskı).
- Vitruvius (2015). *Mimarlık üzerine on kitap*. Yegül F. ve Artamlı, B. (Ed.). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları.
- Whitehouse, D. (2001). *Window glass between the first and the eight centuries. Colore Nel Medioevo Arte Simbolo Tecnica La Vetrara in Occidente Dal Iv Al'xi Secolo* (s. 31-43). Lucca.

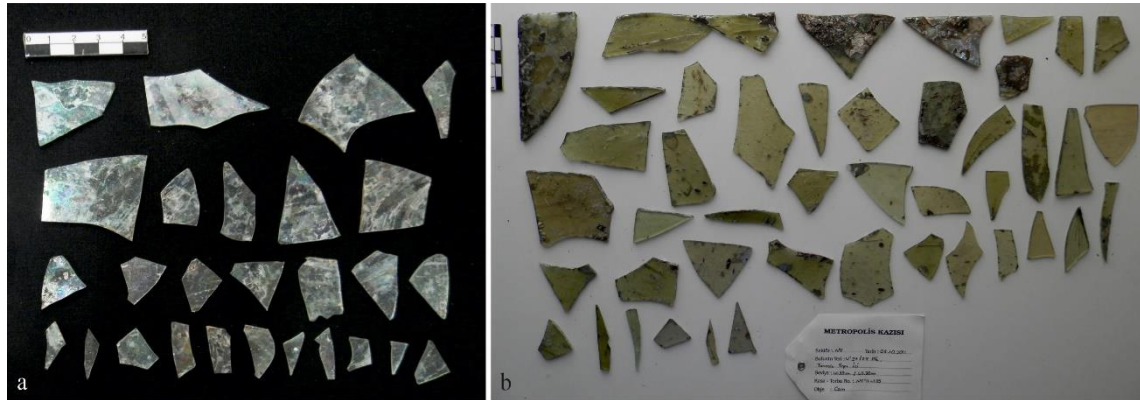
## Ekler



**Şekil 1:** Metropolis arkeolojik alanının havadan görünüşü (üstte) ve Hamam-Palaestra kompleksi yapılarının planı (altta)

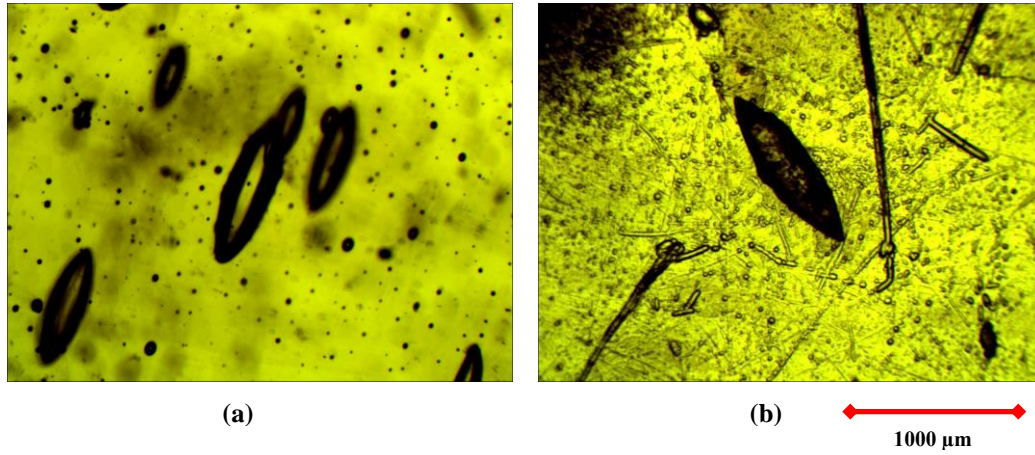
**Tablo 1:** Metropolis Hamam-Palaestra kompleksine ait pencere camı örnekleri

Örnekler	Lokasyon Bilgileri	Üretim Tekniği	Kalınlık (mm)
MTR-G18	49 (A 6/7) Batı servis koridoru içi	Silindir-Üfleme	2,19
MTR-G19	49 (A 6/7) Batı servis koridoru içi	Silindir-Üfleme	2,54
MTR-G20	49 (A 6/7) Batı servis koridoru içi	Silindir-Üfleme	2,16
MTR-G21	49 (B 6/7) Batı servis koridoru içi	Silindir-Üfleme	2,61
MTR-G22	49 (B 6/7) Batı servis koridoru içi	Silindir-Üfleme	1,43
MTR-G23	Caldarium güney havuz (F17-G17 Plk.)	Silindir-Üfleme	0,96
MTR-G24	E 18 Plk. (kanal içi)	Silindir-Üfleme	1,83
MTR-G25	37 (H 10) Plk. Kuzey mozaikli salon	Silindir-Üfleme	2,55
MTR-G27	Palaestra Hamam önü K-L 15 Plk.	Silindir-Üfleme	1,73
MTR-G30	O 19 Plk.	Döküm	5,65
MTR-G31	P 20 Plk.	Silindir-Üfleme	1,45
MTR-G32	P 20 Plk.	Silindir-Üfleme	1,45
MTR-G33	P 20 Plk.	Silindir-Üfleme	1,40
MTR-G34	Palaestra H 23 Plk. (havuz içi)	Döküm	3,19
MTR-G35	Palaestra ocak içi M 23 Plk.	Döküm	4,50
MTR-G36	Z ve Y 25 Plk. Palaestra nişli duvar	Döküm	2,30
MTR-G37	Z ve Y 25 Plk. Palaestra nişli duvar	Döküm	2,76
MTR-G38	NY U 27/28 Plk. Tonozlu yapı içi	Döküm	1,95
MTR-G39	NY U 27/28 Plk. Tonozlu yapı içi	Döküm	3,15
MTR-G40	NY U 27/28 Plk. Tonozlu yapı içi	Döküm	4,14
MTR-G41	NY U 27/28 Plk. Tonozlu yapı içi	Döküm	3,72
<b>Kalınlık - Genel Ortalama</b>			<b>2,55</b>
<b>Kalınlık - Silindir Üfleme Tekniği Ortalama</b>			<b>1,86</b>
<b>Kalınlık - Döküm Tekniği Ortalama</b>			<b>3,48</b>

**Şekil 2:** (a) Metropolis Hamam-Palaestra silindir üfleme pencere camı örnekleri ve (b) Balneum döküm pencere camı örnekleri

**Tablo 2:** Metropolis Hamam-Palaestra kompleksi pencere camı örneklerinin renk kodları (CIE 1\*a\*b\*)

Örnekler	L	a	b	Görünen Renk
MTR-G18	88,31	-11,84	-8,40	açık mavi
MTR-G19	61,68	-12,63	4,77	mavimsi yeşil
MTR-G20	67,68	-9,15	-2,50	açık mavi
MTR-G21	63,99	-12,91	-1,87	açık mavi
MTR-G22	67,56	-5,91	12,46	uçuk yeşil
MTR-G23	67,39	-7,02	-1,23	açık mavi
MTR-G24	63,47	-11,00	8,08	açık yeşil
MTR-G25	68,69	-12,45	3,97	açık mavi
MTR-G27	67,13	-1,28	1,30	uçuk yeşil
MTR-G30	23,26	-12,47	14,63	koyu yeşil
MTR-G31	63,61	-11,08	15,59	açık yeşil
MTR-G32	79,06	-8,07	-0,42	açık mavi
MTR-G33	70,54	-3,71	9,54	uçuk sarı
MTR-G34	53,95	-2,64	22,18	açık sarı
MTR-G35	45,53	5,70	33,45	açık kahve
MTR-G36	71,78	-7,27	-1,33	açık mavi
MTR-G37	48,31	-16,33	36,02	sarımsı yeşil
MTR-G38	50,92	-12,83	36,78	sarımsı yeşil
MTR-G39	64,82	-10,18	-4,58	açık mavi
MTR-G40	55,04	-20,73	16,66	yeşil
MTR-G41	47,16	-5,34	33,46	açık kahve

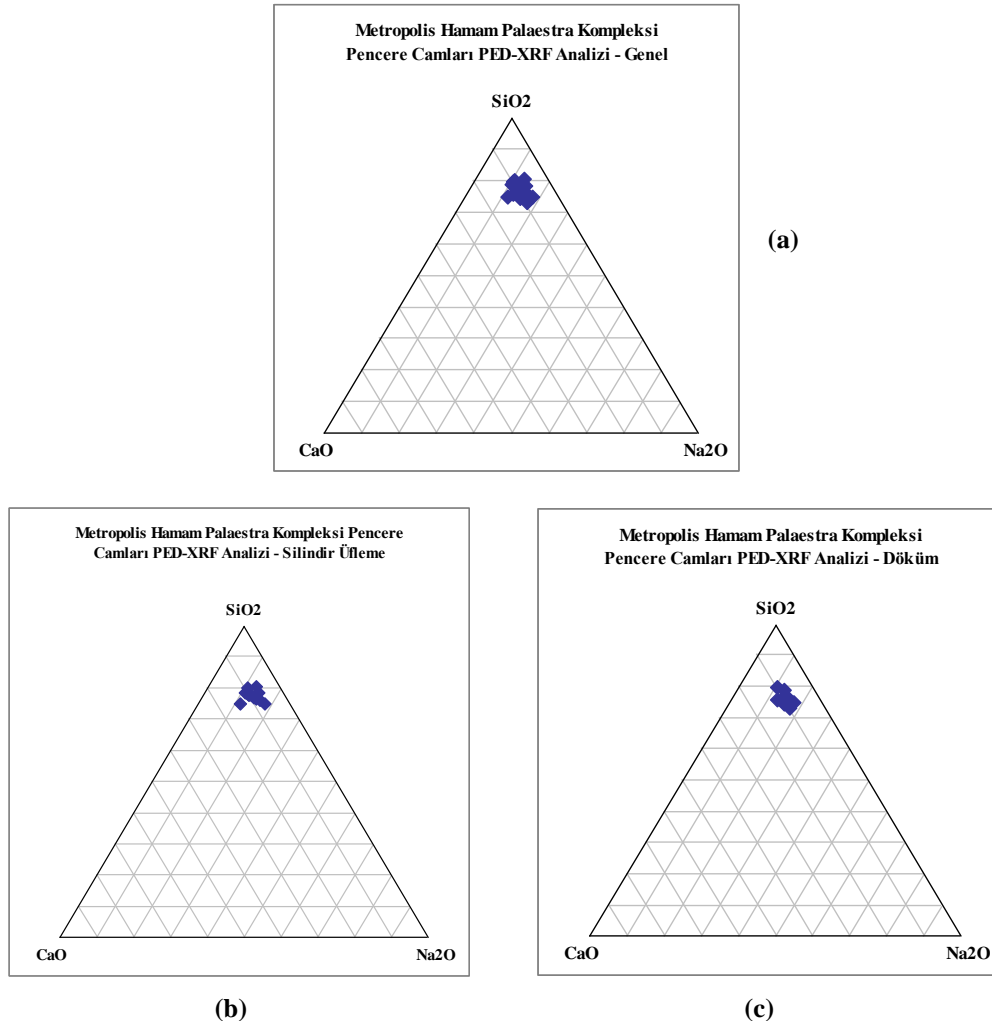
**Şekil 3:** Metropolis Hamam-Palaestra kompleksi pencere camı örnekleri binoküler mikroskop altı cam hamuru habbe şekilleri (a) (MTR-G19 (silindir üfleme) (b) MTR-G39 (döküm) örnekleri

**Tablo 3:** Metropolis Hamam-Palaestra kompleksi pencere camı örnekleri PED-XRF analizi

Element Conc.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co	Cu	Sr	Zr	Sb	Pb
	%							ppm					
<b>MTR-G18</b>	0,842	61,59	10,55	7,19	0,900	0,395	0,659	9,3	24,2	473,7	56,6	2031	105,2
<b>MTR-G19</b>	1,29	61,41	8,55	8,23	0,683	1,90	0,808	35,3	9,8	706,8	61	137,2	13,4
<b>MTR-G20</b>	0,793	61,52	11,49	7,03	1,12	0,388	0,908	13,9	25,6	481,8	59,9	2737	98,5
<b>MTR-G21</b>	1,12	64,35	12,79	7,23	0,651	0,805	0,526	8,8	22,5	443,9	69,1	207,8	38,1
<b>MTR-G22</b>	1,72	65,98	10,75	5,26	0,792	0,275	0,492	8,3	17,3	356,9	47,7	4575	75,7
<b>MTR-G23</b>	0,926	48,16	7,37	8,68	0,578	0,518	0,793	19,9	13,8	523,7	38,9	11,3	5,6
<b>MTR-G24</b>	0,830	55,47	8,43	7,09	0,692	0,763	0,701	8,9	119,8	453,2	49,3	1953	134,9
<b>MTR-G25</b>	1,18	64,87	13,94	6,73	0,607	0,646	0,598	13,4	147,1	441,7	49,3	1773	149,7
<b>MTR-G27</b>	0,846	63,31	10,22	8,10	0,770	1,44	0,416	26,2	5,5	550,2	38,2	52,2	11,8
<b>MTR-G30</b>	1,46	60,26	14,31	6,05	0,563	1,98	1,90	38,4	118,9	457,1	260,2	29,5	119,7
<b>MTR-G31</b>	0,919	62,51	15,17	5,89	0,549	1,47	1,17	11,2	191,4	450	171,7	50,8	176,5
<b>MTR-G32</b>	0,938	65,48	8,91	7,49	0,658	0,640	0,498	24,7	3,7	429,7	45,1	41,3	6,3
<b>MTR-G33</b>	0,428	61,90	11,63	5,53	0,479	1,20	0,585	4,7	14,4	450,9	65,3	1,3	7,9
<b>MTR-G34</b>	0,807	59,01	11,24	8,13	0,892	1,59	1,05	18,9	38,8	805,5	104,2	210,2	99,1
<b>MTR-G35</b>	0,958	59,53	14,36	7,68	0,748	1,46	0,903	31	30,5	705,4	106,5	193,9	90,3
<b>MTR-G36</b>	3,02	61,93	10,32	6,62	0,598	1,47	0,980	18,1	195,6	474,3	65,1	309,3	615,1
<b>MTR-G37</b>	0,972	52,98	10,78	6,04	0,504	2,17	1,77	23	77,0	483,8	233,3	1,0	19,4
<b>MTR-G38</b>	1,06	58,41	10,61	7,73	1,06	0,957	3,89	27,9	99,4	703,9	106,7	158,7	82,9
<b>MTR-G39</b>	1,29	67,42	8,91	8,25	0,935	0,022	0,556	22,6	4,5	498,3	57,4	1,3	12,3
<b>MTR-G40</b>	1,42	60,59	10,29	9,40	0,968	0,020	0,544	6,1	5,9	459,6	54,0	1,2	13,6
<b>MTR-G41</b>	0,996	58,20	11,96	8,11	0,841	1,68	1,08	14,8	63,4	821,9	108,5	134,8	144,4
<b>S-Ü Ort.</b>	<b>0,99</b>	<b>61,38</b>	<b>10,82</b>	<b>7,04</b>	<b>0,706</b>	<b>0,87</b>	<b>0,68</b>	<b>15,4</b>	<b>49,6</b>	<b>480,2</b>	<b>62,7</b>	<b>1130,9</b>	<b>68,6</b>
<b>Dök. Ort.</b>	<b>1,33</b>	<b>59,81</b>	<b>11,42</b>	<b>7,56</b>	<b>0,790</b>	<b>1,26</b>	<b>1,41</b>	<b>22,3</b>	<b>70,4</b>	<b>601,1</b>	<b>121,8</b>	<b>115,5</b>	<b>133,0</b>
<b>Genel Ort.</b>	<b>1,13</b>	<b>60,71</b>	<b>11,08</b>	<b>7,26</b>	<b>0,742</b>	<b>1,04</b>	<b>0,991</b>	<b>18,4</b>	<b>58,5</b>	<b>532,0</b>	<b>88,0</b>	<b>695,8</b>	<b>96,2</b>

**Tablo 4:** Modern ve Roma dönemi soda-kireç camlarının kimyasal bileşimleri (Brill, 1962)

Kimyasal Bileşim	Modern Soda-Kireç Camları (%)	Tipik Roma Soda-Kireç Camları (%)
<b>SiO<sub>2</sub></b>	73,6	67,0
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	16,0	18,0
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,60	1,0
<b>CaO</b>	5,2	8,0
<b>MgO</b>	3,6	1,0
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,0	2,5
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-	0,5
<b>Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	-	1,5
<b>MnO<sub>2</sub></b>	-	0,5
<b>PbO</b>	-	0,01



**Şekil 4:** Metropolis Hamam-Palaestra kompleksi pencere camı örnekleri PED-XRF analizi ana element içeriklerine göre (SiO<sub>2</sub> - CaO - Na<sub>2</sub>O) gruplandırmalar (Triangle Plotting): (a) Tüm cam örnekler, (b) silindir-üfleme tekniği ile üretilen örnekler ve (c) döküm tekniği ile üretilen örnekler