

Arkeometride Seramik Petrografi

Murat BAYAZIT¹

¹Batman Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, m.bayazit@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received:

10.05.2017

Kabul Tarihi/Accepted:

14.11.2017

Yayın Tarihi/Published:

27.12.2017

ÖZ

Arkeolojik kazılarda ele geçen seramiklerin karakterize edilmesinde genellikle spektroskopik yöntemlerden olan X-ışını floresansı (XRF), X-ışını kırınımı (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve Raman gibi teknikler kullanılmaktadır. Ayrıca mikro özelliklerin belirlendiği taramalı elektron mikroskobu (SEM)/enerji veya dalga boyu saçınımlı X-ışını spektroskopisi (EDS/WDS) ve termal analiz yöntemlerinden (TG, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel ısı analiz (DTA) de sıklıkla tercih edilmektedir. Bunların dışında, seramiklerin ince kesitleri üzerinden hem görüntü alabilen hem de mineralojik olarak karakterize edebilen petrografik çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Petrografik incelemeler sayesinde seramiklerin hem ince kesit görüntüleri alınarak bünye yapısı hakkında bilgi sahibi olunabilmekte hem de mineral/kayaç içeriği ve oranı (genellikle hacimce % olarak) ve porozite içeriği (hacimce %) gibi karakteristik özellikler belirlenebilmektedir. Özellikle tanelerin ve porların boyut, şekil ve dağılımları gözlenebilmekte, bünyedeki renk farklılıkları ile pişirim atmosferi hakkında yorum yapılabilmektedir. Bu tip bilgiler seramiklerin üretim özelliklerine ışık tutarak arkeometrik çalışmaların nihai değerlendirmelerinde etkin rol oynamaktadır. Bu çalışmada, arkeolojik kazılarda ele geçen seramikler üzerinde kullanılan petrografik analizlerin uygulama biçimleri ve bu analizlerden elde edilen sonuçların arkeometrik olarak hangi parametrelere ışık tutacağı ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Seramik, Arkeometri, Petrografi, Optik Mikroskop

Ceramic Petrography in Archaeometry

ABSTRACT

In the characterization of ceramics unearthed from archaeological excavations, spectroscopic methods such as X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), Fourier transformed infrared (FTIR) and Raman are generally employed. Also, scanning electron microscope equipped with energy or wavelength dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX-WDX; in determination of micro properties) and thermogravimetric-differential thermal analysis (TG-DTA; a thermal analysis technique) are frequently preferred. Apart from these, petrographic studies, which can both take thin section images and make mineralogical characterization of the ceramics, come forward. The petrographic investigations allow gaining knowledge regarding the structure of the ceramics through the thin section images and also determining the characteristic features such as mineral/rock content/ratio (generally in volume %) and porosity (%vol.). The size, shape and distribution of the grains and pores can be observed, and interpretations about the firing atmosphere would be made by considering the differences in color. Such indications play a crucial role in the ultimate evaluation of the archaeometric studies by elucidating the production features of the ceramics. In the present study, the implementation fundamentals of the petrographic investigation used for the ceramics uncovered from archaeological excavations have been considered, and the results obtained through this technique have been evaluated in terms of which of the parameters would be revealed in archaeometric way.

Keywords: Ceramic, Archaeometry, Petrography, Optical Microscopy.

1. GİRİŞ

Seramikler genel anlamda geleneksel ve teknolojik olarak iki ana grupta toplanabilir. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak seramik aslında bir malzeme türü olarak kabul görmekte ve bu bağlamda birçok farklı kategoride değerlendirilebilmektedir. Savunma sanayiden sağlık gereçlerine, otomotiv sektöründen uzay bilimlerine kadar değişik alanlarda seramik malzemeler kullanılmaktadır. Daha çok toz hazırlama yöntemleri ile üretilen teknolojik malzemeler (örneğin nano-teknoloji malzemeleri) kompozitlerin hazırlanmasında da sıklıkla tercih edilebilmektedir (seramik matrisli metal veya metal matrisli seramik kompozitler gibi). Seramiğin bir malzeme olarak sahip olduğu karakteristik özellikleri (yüksek aşınma direnci, korozyon direnci, mukavemet, yalıtkanlık veya yarı iletkenlik vb.) yeni malzeme üretiminde istenilen parametrelerin sağlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Tıp alanında da kullanılan seramikler

özellikle insan vücuduna olan uyumluluğu sayesinde protezlerden diş tedavilerine (kaplama, implant, estetik vb.) kadar çeşitli uygulama alanlarına hitap edebilmektedir (Vlasov ve Karabanova, 1993).

Seramikler geleneksel olarak ise insanoğlunun ateşi keşfetmesi ve sonrasında toprağa şekil vererek oluşturduğu ürünleri pişirerek daha dayanıklı malzemeler elde etmesi olarak tanımlanabilir. Seramiğin ham halde iken sahip olduğu özellikleri daha üstün hale getiren pişirme işlemi sayesinde insanlar toprak ürünleri artık günlük hayatlarında da daha etkin kullanmaya başlamışlardır (muftak kapları, saklama kapları vb.) (Ökse, 2002). Pişirme esnasında oluşan mineral/faz değişikliği, tane ve porların şekil-boyut-dağılımlarında meydana gelen yeni düzenler sayesinde seramikler yapısal olarak başkalaşmakta ve oluşan yeni yapının karakterine göre de farklı özellikler gösterebilmektedir. Seramiklerin arkeometrik olarak incelenmesinde, bahsedilen bu değişimler dikkate alınarak seramiklerin üretim özellikleri belirlenmektedir. Seramiğin “pişmiş toprak” malzeme olmasından dolayı özellikle mineralojik analizler ön plana çıkmaktadır. Bu anlamda XRD ve petrografi (ince kesit, optik mikroskop) öne çıkan tekniklerdir. XRD analizinde belirlenen mineralojik içerik seramiklerin hammadde içeriği ve daha da önemlisi pişirim sıcaklık aralıkları hakkında önemli bilgiler vermektedir. Petrografik analizlerde de yine mineraller belirlenmekte, buna ek olarak kayaç türü, matriks toplam agrega oranı, porozite özellikleri ve görsel olarak da bünye özellikleri mikroskobik olarak ortaya konulabilmektedir. Mikroskobik incelemeler her ne kadar elektron mikroskoplarına kıyasla daha ayrıntısız büyütme (genel olarak ortalama 500-1000µm) gerçekleşse de, bu boyutlardaki ince kesit görüntüleri tane dizilimi, boyut ve şekilleri hakkında ayrıntılı bilgi verebilmektedir. Amaç bakımından da bu iki mikroskop arasında farklılıklar bulunmaktadır. SEM ile mikro yapısal ve mikro kimyasal analiz yapılmakta ve bunun sonucunda bünyedeki vitrifikasyon dereceleri ve sinterlenme davranışları gibi özellikler belirlenirken, ince kesit ile daha çok tanelerin bünyedeki dağılımları ve hamur özelliği gibi parametreler belirlenmektedir. İnce kesit görüntülerinin renkli olması seramik örneklerin maruz kaldığı pişirim atmosferi (indirgen/yükseltgen) ve renk verici oksitler hakkında da ön bilgiler sunabilmektedir. Bu konular ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Görüldüğü üzere petrografik çalışmalar seramik buluntular için değişik açılardan bilgi birikimi sağlamaktadır. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen özellikler detaylı olarak irdelenerek bu analiz yönteminin seramik arkeometrisindeki kullanım özellikleri ve sonuçların yorumlanması üzerinde durulacaktır. Bu amaçla, öncelikle arkeometrinin tanımlaması yapılarak genel bir yaklaşımla konu ele alınacak ve ilerleyen bölümlerde seramik petrografisi bağlamında değerlendirmeler yapılacaktır.

2. ARKEOMETRİ

Arkeometri genel anlamıyla arkeolojik kazılarda ele geçen buluntuların karakterizasyon teknikleri ile incelenmesi olarak tanımlanabilir. Buluntular seramik, ahşap, metal, biyolojik kalıntılar (kafa taşı, diş, kemik vb.) ve cam ürünler olabilmektedir. Kullanılan analiz tekniklerinden bazıları ortak olsa da, her buluntu türü için spesifik metotlar seçilerek kullanılmaktadır. Arkeometrinin özellikle son yıllarda rağbet gören bir alan olmasının çalışmaların disiplinler arası bir sistematikte yürütülüyor olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Örneğin arkeolojik bir kazıda ele geçen kemiklerin incelenmesinde biyoloji, metallerin incelenmesinde metalürji-malzeme bilimi, tarihi mimari bir yapının incelenmesinde inşaat mühendisliği, mimarlık, kültür varlıklarını koruma onarım gibi farklı disiplinler ön plana çıkmakta ve kimi zaman da bu alanlar bir araya gelmektedir. Temel bilimlerden fizik, kimya, biyoloji ve matematik çoğu kez hep bir aradadır ve buluntunun türüne göre bu alanların farklı dallarından bilim insanları çok disiplinli bir çalışma prensibi ile çalışmaya katkı sağlamaktadır. Bu anlamda bakıldığında arkeometrinin ne denli geniş bir yelpazeye sahip olduğu görülmektedir.

Seramiklerin arkeometrik olarak incelenmesinde genellikle kimyasal ve mineralojik analiz teknikleri ön plana çıkmaktadır. Bunlar arasından sıklıkla tercih edilenler sayılacak olunursa; XRF, XRD, FTIR, Raman, petrografi, SEM/EDX, Mossbauer, atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) gibi metotlar karakterizasyon sürecinde yer alan başlıca tekniklerdir (Loehman, 1993). Seramik arkeometrisi çalışmalarında genel olarak takip edilecek adımlar özetle şu şekilde sıralanabilir;

A. Temsili numune seçimi: Arkeolojik kazılarda (seramikli Neolitik Çağ'dan itibaren) seramikler genellikle en fazla rastlanılan kalıntılardır (Eramo vd., 2004). Dolayısıyla sayıca bir hayli fazla ele geçen seramiklerin arkeometrik olarak incelenmesinde imkân ve bütçe olanakları ön plana çıkmaktadır. Arkeometride kullanılan analiz teknikleri birbirlerini tamamlayan metotlar olduğu için malzemelerin (metal, cam veya seramik) sadece tek bir yöntem ile incelenmesi çoğu zaman genelleyici ve sınırlı bilgiler verebilmektedir. Detaylı bir araştırma yapabilmek ve sonuçları kendi aralarında bir araya getirerek daha anlamlı çıktılara ulaşmak amacıyla (incelenen malzemenin türüne ve karakterine bağlı olarak) uygun tekniklerden birkaçının kullanılması daha faydalı olacaktır. Temsili numune seçimi de bu anlamda önemlidir. Aynı döneme ait aynı veya benzer ürün gruplarında (örneğin; mutfak kapları, gömü eşyaları, saklama kapları, amforalar vb.) yer alan yüzlerce veya kimi zaman binlerce seramik için birkaç analizin yapılması masraflı olacaktır. Seramikler için kullanılan yöntemler genel olarak ortalama fiyatlara sahip iken, SEM ve TEM gibi analizler oldukça maliyetli olabilmektedir. Dolayısıyla seramikler arasında ilgili ürün grubunu birçok yönüyle (form, tasarım, doku, renk vb.) yansıtan daha az sayıdaki (örneğin 20-25 adet) numune seti belirlenerek iş, zaman ve bütçe kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Bu şekilde yapılan bir çalışmada elde edilen sonuçlar da incelenen döneme ait seramikler için kapsayıcı nitelikte olacaktır. Temsili numune seçimi yapılırken mutlaka kazıdaki malzemelere aşina ve onları tanımlayabilen yetkililerin olması gerekmektedir. Numunelerin seçiminde arkeolojik bilgiler ve tanımlamalar oldukça önem taşımaktadır.

B. Belgeleme: Seçilen numunelerin makro gözlemlerinin yapıldığı bu aşamada örnekler ön, arka ve profilden ölçekli olarak fotoğraflanmaktadır. Fotoğraflama esnasında ışığın gelme açısı önemlidir. Gölge oluşumunu engellemek ve net görüntüler elde etmek amacıyla ışıklandırma ve fon rengi seçimi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Fotoğraflamada ölçek kullanımı da oldukça önemlidir. Seramiklerde (kırık parçalar için) genel olarak 5-10 cm'lik ölçekler kullanılmaktadır. Fotoğraflamaya ek olarak seramiklerin makro özellikleri de bir yandan not edilmelidir (porozite, görülebilir ölçekte tane irilikleri, hamur rengi, safsızlıklar, mevcut ise sır ve astar özellikleri gibi). Makro tanımlama ve fotoğraflama özellikle tahribatlı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda oldukça önemlidir. Zira tahribatlı analiz tekniklerinde seramikler toz haline getirilmekte ve küçük parçalar tamamen yok olabilmektedir. Böyle bir durumda analizler tamamlandıktan sonra tüm sonuçlar için yapılan genel değerlendirme esnasında bu tip küçük parçaların görsel özelliklerine erişim fotoğraflama ve tanımlamalar üzerinden yapılmaktadır.

C. Temizleme: Seçilen temsili örnekler belgelenip kayıt altına alındıktan sonra temizlik işlemi gerçekleştirilmektedir. Arkeolojik bir kalıntı olarak ele geçen seramikler gömü koşullarına bağlı olarak bazı safsızlıklar içerebilmektedir. Tarımsal faaliyetler sonucu toprakta birikebilecek bazı bileşikler (örneğin fosfatlar) ve kimi zaman da yer altı sularının getirdiği kirlilikler seramik yüzeylerine tutunarak ikincil bir tabaka oluşturabilmektedir. Analiz sonuçlarını kısmen veya (temizliğin tam anlamıyla yapılmadığı durumlarda) tamamen etkileyebilecek kirliliklerin itinalı bir şekilde bünyeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla, genel olarak, seramikler bir gün süre ile saf su içerisinde bekletilerek safsızlıkların oluşturduğu tabakanın yumuşaması sağlanmaktadır. Bu işlem ile seramik bünyesine yer altı sularından (veya toprağın absorbladığı yağmur/kar sularından) geçebilecek tuzların büyük kısmı da çözünerek uzaklaştırılmaktadır. Yumuşayan kir tabakaları büstri veya keskin uçlu bir atölye aparatı ile

bünyeden alınabilmektedir. Zımpara veya asit kullanımından genel olarak kaçınılmalıdır. Özellikle asit kullanımı seramik içerisindeki karbonatlı bileşikler (kalsit, dolomit vb.) çözeceğinden dolayı sonuçları etkileyecek bir işlem olabilmektedir. Kalsitin birincil veya ikincil olma durumu seramiğin pişme sıcaklığı ve başlangıç hammaddelerinin tespit edilmesi açısından önemlidir. Dolayısıyla temizlik işlemlerinde saf su ile çalışmak mümkün olduğunca bünyeyi (varsa sır, desen veya astar tabakasını) korumak esastır.

D. Analiz Yöntemlerinin Belirlenmesi: Numuneler temizlendikten sonra incelenecek seramiklerin karakteristik özelliklerine göre arkeometrik yöntemler belirlenmektedir. Toprak içerikli olan seramiklerde daha önce de bahsedildiği üzere genellikle kimyasal ve mineralojik analizler tercih edilmektedir (XRF, XRD, petrografi, FTIR vb.). Çalışmanın içerik, amaç, imkân ve bütçesine göre metotlar değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin sırlı ve renkli yüzeylere sahip seramikler incelenecek ise belirlenecek birkaç metot içerisinde öncelikli tercih Raman spektroskopisi olacaktır (Issi vd., 2011). Bu analiz ile seramikte renk veren pigmentler (renklendiriciler) saptanabilmektedir.

E. Sonuçların Değerlendirilmesi: Yapılan tüm işlemlerin ardından elde edilen sonuçlar önce kendi aralarında (her analiz için ayrı olarak; örneğin XRF sonuçları, XRD sonuçları vb.) sonra da karşılaştırmalı olarak bir bütün halinde yorumlanmaktadır. Arkeolojik olarak merak edilen sorulara cevap niteliğinde olan arkeometrik veriler her bilimsel çalışma gibi kendisinden sonraki araştırmalar için önemli bir basamak niteliğinde olacaktır.

3. SERAMİK PETROGRAFI

“Seramik Petrografi” kavramının arkeolojide karşılık bulmaya başladığı çalışmaların başında Anna Shepard tarafından yazılan “Ceramics for the archaeologist” isimli kitap gelmektedir (Shepard, 1956; Middleton, 1997). Shepard’a ait “Rio Grande Glaze-Paint pottery: a test of petrographic analysis” başlıklı diğer bir yayınlı birlikte arkeometrik araştırmalarda petrografik incelemelerin (özellikle seramikler için) ne kadar etkin bir teknik olduğu gözler önüne serilmiştir (Shepard, 1966; Middleton, 1997).

Tahribatlı bir yöntem olan seramik petrografisinde genel olarak numune bünyesinin tanımlanması ve buna göre örneklerin ayırt edilerek sınıflandırılması yapılmaktadır. Bu amaçla seramikten dilim şeklinde parça alınarak cam üzerinde sabitlenmekte ve inceltilecek kesiti hazırlanmaktadır. Hazırlanan kesitlerin uygun kalınlıkta olması görünürlük (veya çözünürlük) açısından oldukça önemlidir. Genelde ortalama olarak 3×10^{-2} mm kalınlıkta hazırlanan ince kesitler numuneye yeterli şeffaflığı kazandırmakta ve örneğin yapısal olarak gözlemlenerek incelenmesine olanak sağlamaktadır. Petrografide optik mikroskop kullanıldığından dolayı inceleme esnasında seramikleri tanımlayan belirleyici parametreler doğal olarak hammadde (mineral) ve/veya safsızlıkların optik özellikleridir (renk, dilinim, kırılma indisi vb.) (Freestone, 1995; Middleton, 1997).

3.1. İNCE KESİT GÖRÜNTÜLERİ

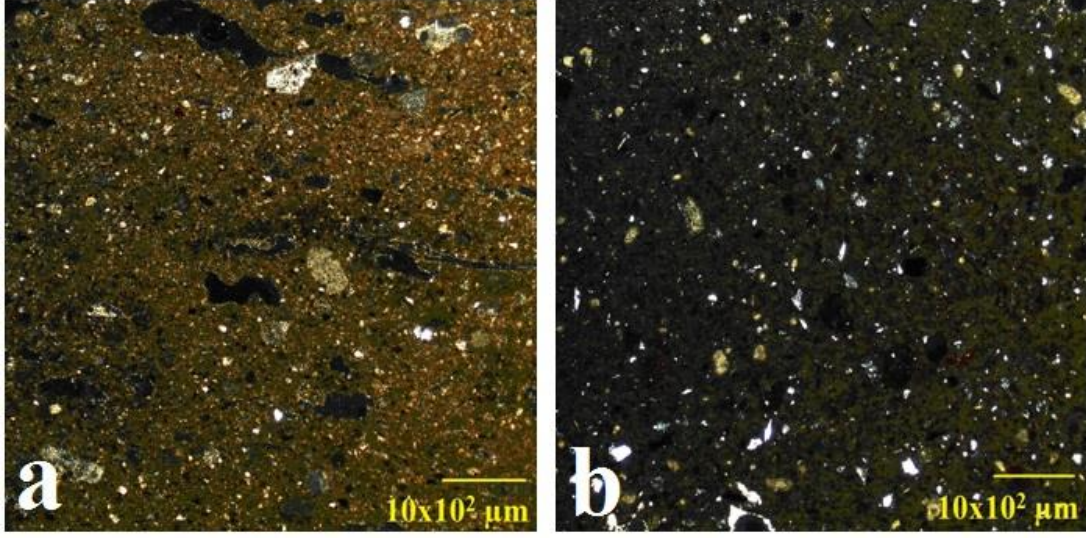
Yeterli incelikte hazırlanan seramikler polarize mikroskop ile incelenmekte ve alınan görüntülerde seramiği oluşturan kilin (hamurun) yapısal özellikleri gözlemlenebilmektedir. Esasen kil matristeki plastik olmayan içeriklerin belirlenmesini amaçlayan petrografi ile hem hammaddeleri oluşturan taneler hem de safsızlıkların boyut, şekil ve dağılımları ortaya konulabilmektedir (Middleton, 1997). Bu noktada tanımlanması gereken önemli kavramlardan biri “temper” malzemedir. Kil yataklarında bulunabilecek kuvars, feldspat gibi plastik olmayan malzemelere ek olarak bünyede yer alabilecek temper malzemeler (kalkerli malzemeler – kalsit, dolomit vb., grog, organik malzemeler – bitki kalıntısı, saman, gübre, kabuk, kemik vb.) seramik üretiminin temel adımlarını oluşturan şekillendirme, kurutma ve pişirim esnasında ürünü yapısal olarak ayakta tutmak ve dayanım kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır (Carretero vd., 2002; Shepard, 1985; Middleton, 1997). Seramik pişirilerek üretilen bir malzemedir ve buna bağlı olarak organik kalıntıların (yeterli sıcaklığa çıkılması durumunda) bünyeden yanarak (bozularak) uzaklaşması

beklenir. Buna bağı olarak ince kesit görüntüsünde hamuru terk eden organik maddeye ait boşluklar gözlemlenebilmektedir (Middleton, 1997). Organik madde ihtivası ayrıca termogravimetrik-diferansiyel termal analiz (TG-DTA) ile de belirlenebilmektedir. Bu analizde ortalama olarak 200-600°C sıcaklık aralığında ekzotermik etkinin gözlemlenmesi organik içeriğin dekompozisyonuna işaret etmektedir (Leach vd., 2008; Moropoulou vd., 1995).

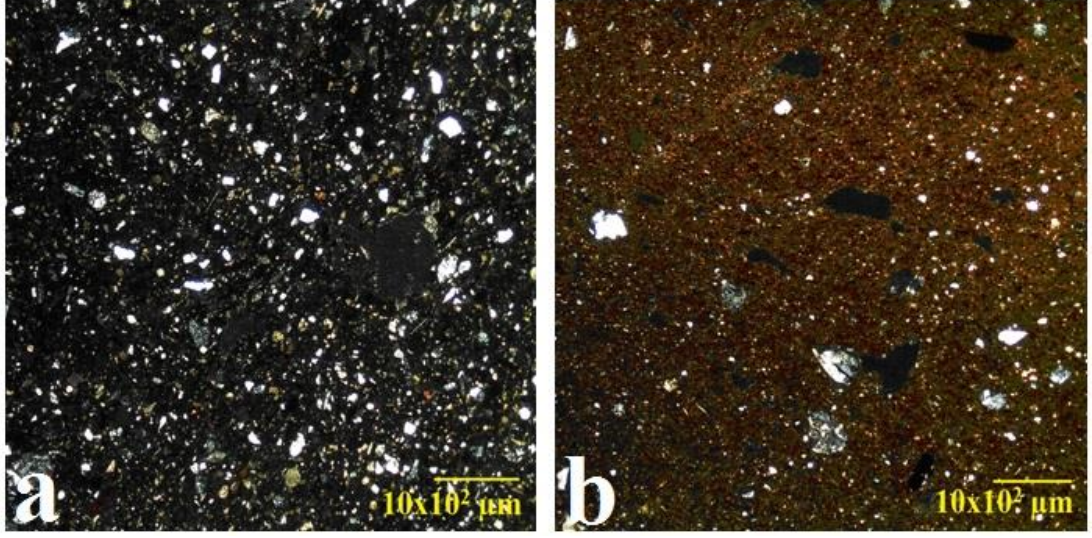
Seramiklerde temper malzeme olarak karşılaşılabilecek önemli diğer içeriklerden biri de “grog”tur. Bu ifade genel olarak öğütülmüş veya kırılarak parçalanmış pişmiş seramik ürün olarak tanımlanabilmektedir. Diğer bir deyişle pişmiş seramiklerin ufalanarak tekrar üretimde kullanılması şeklinde de ifade edilebilir. Buna benzer olarak killer de kurutma ve/veya pişirme sonrasında seramik hamuruna ilave edilebilmektedir. Her iki işlem de esas olarak seramiğin kurutma ve pişirme prosesleri esnasında oluşan buharlaşmayı kontrol etmek amacıyla uygulanmaktadır (Loftfield, 1976; Rice, 1987).

Grog içeriği seramiklerin ince kesit görüntülerinde tespit edilebilmekte ve bazı öngörülerini de beraberinde getirmektedir. Fakat bazı durumlarda grog ile kil toprakları (kurutulan veya pişirilen kilde tanelerin bir araya gelerek oluşturduğu sert oluşumlar) benzer özellik gösterdiğinden dolayı bu ikilinin ayırımı güç olabilmekte ve yorumlamada farklılıklar olabilmektedir. Buna karşın tane şekli ve renk gibi etmenlerden faydalanılarak bu tip içerikler ayırt edilebilmektedir. Grog ve/veya kil topağının tespit edilmesi çömlekçinin seramik üretimi esnasında daha önceki üretim hatası ürünleri ve/veya (bilinçli ya da bilinçsiz olarak) hazırlamış olduğu kuru/pişmiş kili kullandığına işaret etmektedir. Grog içeriği kimi zaman yalnızca sert bir kayaca ait öğütülememiş bir parça da olabilir. Seramiğin bulunduğu alanın jeolojik özellikleri de bu noktada karşımıza çıkmaktadır. Örneğin bir nehir, çay veya deniz kıyısındaki arkeolojik kazılarda ele geçen seramiklerin ince kesit görüntülerinde gözlemlenecek grog veya benzeri içeriklerin su yataklarından temin edilen kum/çakıl gibi içeriklere de işaret edebileceği unutulmamalıdır (Cuomo di Caprio ve Vaughan, 1993; Herbert ve Smith, 2010; Saffer, 1979; Bayazit vd., 2016).

İnce kesit görüntülerinin renkli olması seramiklerin pişirim özellikleri hakkında da bilgi vermektedir (Bayazit vd., 2015). Hamurun genel görüntüsünde (Şekil 1-2; x25 büyütme, tek ve çift nikol dijital kameralı polarize mikroskop) hâkim olan rengin kırmızı ve kahve tonlarında olması numunenin yükseltgen ortamda, siyah ve gri tonlarında olması ise indirgen ortamda pişirildiğine işaret etmektedir (yükseltgen atmosferde hematit-Fe₂O₃ kırmızı tonlarını, indirgen atmosferde manyetit-FeO·Fe₂O₃ siyah tonlarını vermektedir) (Issi vd., 2011). Ancak kimi durumlarda hamurun ince kesit görüntüsünün bazı bölümlerinde kırmızı tonları bazılarında ise siyah tonları görülebilmektedir. Bu tip sonuçlar seramiğin hem indirgen hem de yükseltgen ortama maruz kaldığını akla getirmektedir. Böylesi bir durum genel olarak pişirim tekniği ile alakalı olmaktadır. Eski dönemlerdeki başlıca seramik pişirim tekniklerinden (düz yüzeyde, çukurda, fırında) hangisinin kullanıldığı bu noktada oldukça önem arz etmektedir. Zira seramiklerde kullanılan pişirim teknolojisi aynı zamanda o medeniyete ait teknolojik ve/veya teknik seviyeye de işaret etmektedir. Elbette ki sadece seramiklere ait veriler ile bir medeniyet hakkındaki tüm bilgiler elde edilmeyecektir, ancak seramikler çanak-çömlekli Neolitik Çağ'dan itibaren yaygın ve sürekli kullanılan malzemelerin başında geldiği için arkeolojik değerlendirme ve yorumlamalarda etkin rol oynamaktadır (özellikle ticari ilişkilerin araştırılmasında; seramiğin ithal olup olmaması gibi).



Şekil 1. Temsili ince kesit görüntüleri; (a) oksijen difüzyonu sonucu oluşan kırmızı-kahve tonlarına sahip seramik matris içerisinde gözlemlenen safsızlık, agrega (grog benzeri) ve porlar, (b) oksijensiz pişirim ortamında veya oksijen difüzyonunun sağlanamaması sonucunda oluşan siyah tonuna sahip ince taneli seramik matris içerisinde yer alan orta/iri boyutta tane ve safsızlıklar.



Şekil 2. Temsili ince kesit görüntüleri; (a) plastik olmayan malzeme/matris oranı yüksek ve çift kırınım özelliği ile belirlenen ikincil kalsit kalıntılarının saptandığı heterojen içerikli seramik hamuru, (b) göreceli olarak ince taneli hamur içeren ve büyük olasılıkla düzensiz pişirim işlemi ve/veya yetersiz hammaddenin işleme prosesine bağlı olarak oluşan renk dalgalanmasına sahip seramik bünye.

Seramik buluntuların kesit görüntülerinde yukarıda bahsedilen bilgilere ek olarak tanelerin, gözeneklerin ve kil tabakalarının matris içerisindeki yönelmeleri üzerinden seramiğin şekillendirilme özellikleri hakkında da bilgi edinilebilmektedir (Rye, 1977; Middleton, 1997). Şekillendirme işlemi doğal olarak çömlekçinin teknik ve sanatsal olarak sahip olduğu kabiliyetlere de işaret ederek dönemin geldiği seviye hakkında ipuçları verebilmektedir. Arkeologlar tarafından (makro gözlem ile) yapılan sınıflandırmalarda seramikler her kadar kategorilere ayrılrsa da, arkeometrik olarak yapılan incelemeler bu tip çalışmalarda destekleyici veriler sunabilmektedir.

3.2. MİNERALojİK DEĞERLENDİRME

Petrografik incelemelerde seramiklerin yapısal özelliklerinin yanında mineralojik içerikleri de belirlenebilmektedir. Seramik arkeometrisinde mineralojik analiz için kullanılan en etkin yöntem XRD olsa da, ince kesit analizleri de çalışmanın içeriğine göre teyit edici veya destekleyici mineralojik bilgileri sunabilmektedir. XRD analizinin daha hassas çalışması ve madde ile ışın etkileşimine (X-ışını) dayalı spektroskopik bir teknik olması seramik buluntuların karakterize edilmesinde oldukça önemli bir avantaj sağlamaktadır. Zira XRD tekniği ile sadece mineraller değil sıcaklığın artmasına bağlı olarak meydana

gelen bozunma ve yeni oluşumlar da takip edilebilmektedir (Bong vd., 2008). Örneğin karbonatlı hammaddelerden olan dolomit ve kalsit sırasıyla ortalama olarak 650-700°C ve 750-850°C sıcaklık aralıklarında bozunmaktayken, gehlenit (karbonatlı hammadde+kil) ve piroksenler (karbonatlı hammadde+kuvars) sırasıyla yaklaşık olarak 800-850°C ve 850-900°C sıcaklık aralıklarında oluşabilmektedir (Cultrone vd., 2001; Broekmans vd., 2004; Shoval, 2003). Bu tip bilgiler seramiklerin pişirim sıcaklık aralıklarının belirlenmesinde ve dolayısıyla pişirim tekniğinin ne olabileceği hakkında yapılacak yorumlamalarda önemli bir yere sahiptir.

Petrografik incelemelerde elde edilen bu tip bilgiler kullanılan hammaddelerin içeriklerinin saptanmasında aydınlatıcı rol oynamaktadır. Örneğin, seramik içerisinde kireçtaşının bir kayaç olarak belirlenmesi bu seramik için kullanılmış olan başlangıç hammaddesi içerisinde karbonatlı bir malzemenin (kalsit, dolomit vb.) varlığına işaret edecektir. Dolayısıyla bu seramiğin kimyasal karakterizasyonunda CaO içeriğinin ortalama (örneğin %5-10) veya yüksek bir değerde (örneğin %15-20 veya 25 gibi) olması ve seramiğin XRD analizinde kalsit ve/veya dolomitin gözlemlenmesi veya (yüksek sıcaklığa maruz kalmış ise) daha önce belirtilen yüksek sıcaklık fazlarının (gehlenit, piroksen vb.) yer alması beklenecektir. Buradaki önemli hususlardan biri de seramik bünyelerde gömülme koşullarına bağlı olarak oluşabilecek ikincil kalsittir, zira kalsitin yüksek sıcaklık fazları ile birlikte gözlemlenmesi genellikle ikincil kalsit olarak yorumlanmaktadır (Semiz ve Duman, 2017). Serbest CaO ile kalsiyum hidroksitin reaksiyona girmesi ve ardından CO₂ ile etkileşimi sonucu oluşabilecek ikincil kalsit, CO₂ konsantrasyonunun azalması sonucu kalsiyum bikarbonat içeren çözeltilerin topraktan çökmesi ile de gözlemlenebilmektedir (Fabbri vd., 2014). Bunların dışında, gehlenitin bozunması sonucu yine ikincil kalsit oluşabilmektedir, fakat bu tip oluşum nadir rastlanılan bir durumdur (Fabbri vd., 2014). İkincil kalsit varlığı ince kesit görüntülerinde belirlenebilmektedir. Seramik hamuru içerisinde boşluk dolgusu şeklinde yer alabilen ikincil kalsit kalıntıları buldukları porları tamamen veya kısmen doldurabilmektedir (Semiz ve Duman, 2017; Fabbri vd., 2014)

Kayaç içeriğinin belirlenmesi provenans çalışması açısından da faydalı bilgiler vermektedir (Middleton, 1997). Belirlenen kayaç içeriği ile seramiğin bulunduğu bölgeye ait jeolojik içerik karşılaştırılarak üretimde kullanılan hammaddenin yerel, bölgesel veya ithal olup olmadığı hakkında öngörülerde bulunulabilir. Hammaddenin ithal edilmesi durumunun tarih öncesi dönemlerde zor olduğu göz önüne alınırsa (hammadenin ağır olması ve o günkü taşıma şartları-imbânlarının kısıtlı olması gibi), seramiğin bir ürün olarak ticari yollarla gelme olasılığı çok daha yüksektir (Mommssen, 2001).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Seramik petrografi ile elde edilecek sonuçlar toparlanacak olursa;

- a. Seramik örneklerdeki mineral/kayaç içeriği,
- b. Agregasyon oranı (hacimce % olarak),
- c. Porozite içeriği (hacimce % olarak),
- d. Grog ve/veya plastik olmayan kalıntı içeriği,
- e. Bünye özellikleri (tane ve porların boyut, şekil ve dağılımı, hamur yapısı ve rengi)

gibi seramiklerin karakteristik özelliklerini ortaya koyan belirleyici etkenler ortaya çıkarılabilmektedir.

Bu bilgiler ışığında seramik buluntuların birçok farklı özelliği hakkında bilgi edinmek ve yorum yapmak mümkün olmaktadır;

- a. Başlangıç hammadde içeriği (mineral türleri, temper malzeme içeriği vb.),
- b. Hammadde işleme ve/veya zenginleştirme (kırma, öğütme, harmanlama, ilave malzeme),
- c. Jeolojik içerik karşılaştırması ile provenans çalışması (kayaç türünden faydalanılarak),
- d. Şekillendirme (tane, por ve kil matrisin yönlendirilmesine bağlı olarak),
- e. Pişirim özellikleri (atmosfer, sıcaklık vb.).

Görüldüğü üzere seramiklerin petrografik olarak incelenmesi farklı birçok parametre hakkında detaylı bilgi vermektedir. Seramiğin pişmiş toprak malzeme olması bu analiz tekniğinin tercih edilmesindeki en önemli etkidir. Tahribatlı bir yöntem olmasından dolayı kazılarda tek parça halinde tüm olarak çıkartılan seramikler için uygun olmasa da, aynı grubu temsil edecek diğer seramik parçalardan kesit alınarak hazırlanan örneklerin incelenmesi mümkündür. Dezavantaj olarak sayılabilecek diğer bir husus ise tane boyu çok ince olan hammaddelerden üretilmiş seramiklerin çalışılmasında karşılaşılabilecek zorluklardır. Fakat bu noktada unutulmamalıdır ki seramik arkeometrisinde (diğer buluntularda da olacağı üzere) bir analiz tekniğinin tek başına kullanılması ve sadece bu sonuçlar üzerinden öngörülerde bulunulması makul olamamaktadır. Dolayısıyla, seramik petrografisinin XRF, XRD, SEM/EDX, FTIR, TG-DTA ve mikro-Raman gibi tekniklerden en az birkaç tanesi ile birlikte uygulanması çalışmanın sağlıklı bir şekilde sürdürülmesi ve makul değerlendirmelerin yapılması açısından uygun olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan ince kesit görüntüleri için Batman Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiş olan BTUBAP-2011-GSF-3 numaralı projenin sonuç raporundan faydalanılmış olup, Batman Üniversitesi ve ilgili BAP koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim. Ayrıca, adı geçen projedeki ince kesit analizlerinin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Ali Akın AKYOL'a (Gazi Üniversitesi) teşekkür ederim.

5. KAYNAKÇA

- Bayazit, M., Işık, I. ve Issi, A. (2015). Investigating the firing technologies of Part-Roman potsherds excavated from Kuriki (Turkey) using thermal and vibrational spectroscopic techniques, *Vibrational Spectroscopy* (78) 1-11.
- Bayazit, M., Isik, I., Issi, A. ve Genc, E. (2016). Archaeometric investigation of the Late Chalcolithic-Early Bronze Age I and the 1st-2nd millennium BCE potteries from Kuriki-Turkey, *Applied Clay Science* (126) 180-189.
- Bong, W.S.K., Matsumura, K. ve Nakai, I. (2008). Firing technologies and raw materials of typical early and middle bronze age pottery from Kaman-Kalehöyük: A statistical and chemical analysis, *Anatolian Archaeological Studies*, XVII, 295-311.
- Broekmans, T., Adriaens, A. ve Pantos, E. (2004). Analytical investigations of cooking pottery from Tell Beydar (ne-Syria), *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B*, (226), 92-97.
- Carretero, M.I., Dondi, M., Fabbri, B. ve Raimondo, M. (2002). The influence of shaping and firing technology on ceramic properties of calcareous and non-calcareous illitic-chloritic clays. *Appl. Clay Sci.* 20, 301-306.
- Cuomo di Caprio, N. ve Vaughan, S. (1993). An experimental study in distinguishing grog (chamotte) from argillaceous inclusions in ceramic thin sections. *Archaeomaterials* 7, 21-40.
- Cultrone, G., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian, E., Cazalla, O. ve De La Torre, M.J. (2001). Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing, *Eur. J. Miner.* 13, 621-634.
- Eramo, G., Laviano, R., Muntoni, I.M. ve Volpe, G. (2004). Late Roman cooking pottery from the Tavoliere area (Southern Italy): raw materials and technological aspects. *J. Cult. Herit.* 5, 157-165.

- Fabbri, B., Gualtieri, S. ve Shoval, S. (2014). The presence of calcite in archeological ceramics. *J. Eur. Ceram. Soc.* 34, 1899-1911.
- Freestone, I.C. (1995). The Petrographic examination of ceramics. *AM J Archaeol* 99 (1), 111-115.
- Herbert, J.M. ve Smith, M.S. (2010). Identifying Grog in Archaeological Pottery. The First Annual Conference, Reconstructive/Experimental Archaeology, Gastonia, NC, October, pp. 1-17.
- Issi, A., Raškovska, A., Kara, A., Grupce, O., Minčeva-Šukarova, B. ve Okyar, F. (2011). Scanning electron microscopy and micro-Raman spectroscopy of slip layers of Hellenistic ceramic wares from Dorylaion/Turkey, *Ceram. Int.* 37, 1879-1887.
- Leach, F. & Davidson, J. & Claridge, G. & Ward, G. & Craib, J. (2008). The physical and mineralogical characteristics of pottery from Mochong, Rota, Mariana Island. In: Clark, G., Leach, F., O'Conner, S. (Eds.), *Islands of Inquiry: Colonization, Seafaring and the Archaeology of Maritime Landscapes*. Australian National University press, Terra Australia, pp. 435-452.
- Loehman, R.E. (1993). *Characterization of Ceramics*, Butterworth-Heinemann, Reed-Elsevier Inc.
- Loftfield, T.C. (1976). A Brief and True Report: An Archaeological Interpretation of the Southern North Carolina Coast. Unpublished Ph.D. dissertation, Department of anthropology, University of North Carolina, Chapel Hill.
- Middleton, A. (1997). Ceramic Petrography. *Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia, São Paulo, Suplemento 2: 73-79.*
- Mommsen, H. (2001). Provenance determination of pottery by trace element analysis: problems, solutions and applications, *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 247/3, 657-662.
- Moropoulou, A., Bakolas, A. ve Bisbikou, K. (1995). Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies. *Thermochim. Acta* 2570, 743-753.
- Ökse, A.T. (2002). Arkeolojik çalışmalarda seramik değerlendirme yöntemleri. *Arkeoloji ve Sanat Yayınları*, IV.
- Rice, P.M. (1987). *Pottery Analysis: A Sourcebook*. University of Chicago Press, Chicago.
- Rye, O.S. (1977) Pottery manufacturing techniques: X-ray studies. *Archaeometry*, 19, 205-211.
- Saffer, M. (1979). Aboriginal Clay Resource Utilization of the Georgia Coast. M.A. thesis, Department of anthropology, University of Florida, Gainesville.
- Semiz, B. ve Duman, B. (2017). Tripolis'te bulunan Geç antik Çağ Unguentariumları'nın Arkeometrik yönden değerlendirilmesi, *Tripolis ad Maeandrum I, Tripolis araştırmaları* (Ed.: Duman, B.), Ege Yayınları, 165-180.
- Shepard, A.O. (1956). *Ceramics for the Archaeologist*. Carnegie Institution, Washington.
- Shepard, A.O. (1966). Rio Grande Glaze-Paint pottery: a test of petrographic an analysis. F.R. Matson (Ed.) *Ceramics and Man*, London: 62-87.
- Shepard, A.O. (1985). *Ceramics for the Archaeologist*. Braun-Brumfield, Inc., Ann Arbor Originally published 1956, Publication No. 609 Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Shoval, S. (2003). Using FT-IR spectroscopy for study of calcareous ancient ceramics, *Optical Materials* 24, 117-122.
- Vlasov, A.S. ve Karabanova, T.A. (1993). Ceramics and Medicine (Review). *Glass and Ceramics*, 50 (9), 398-401.