



Lüster Sırlarının Karakterizasyonuna Genel Bir Bakış

Aslı Asiye AĞIL, Bekir KARASU

Eskişehir Technical University, Engineering Faculty, Department of Materials Science and Engineering,
26555, Eskişehir TÜRKİYE,
bkarasu@anadolu.edu.tr

Received/Geliş: 16.08.2018

Accepted/Kabul: 07.11.2018

Öz: Lüster, camsı bir matris (konak) içine gömülü metal bakır ve/veya gümüş nano- taneciklerinden yapılmış bir tür metal-cam kompozittir. Metal parçacık boyutları 5–50 nm arasında değişir ve bünye üzerinde 100 nm ile 1 mm kalınlığında bir tabaka oluşturur. Katmanların rengi ve saydamlığı, tabakadaki ışığın emilimi ve saçılımından kaynaklanmaktadır. Kullanılan pigmentler karakteristik metalik parlaklığı asla göstermezler, bunun yerine yanardöner lekeler halinde görünürler. Lüster sırlı seramikler ilk olarak MS 9. yüzyılda Abbasi Hanedanlığı Dönemi'nde, Mezopotamya'daki Samarra ve Basra gibi kentlerde İslam seramikçileri tarafından elde edilmiş süslü seramiklerdir. İlk örnekleri Mısır'ın başkenti olan Fustat'da Fatimi Hanedanı zamanına aittir. Ardından Suriye (12–15. yy.) ve İran'da (12–17. yy.) üretilmişlerdir. Her dönem ve yere özgü olarak lüster sırlarının karakteristik stilleri de değişmektedir. Bu çalışma lüster sırlarının geçmişten günümüze yaşadığı yolculuğu özetlemektedir.

Anahtar kelimeler: Lüster, Sır, Tarihçe, Üretim, Özellik, Karakterizasyon.

A General Look over the Characterisation of Lustre Glazes

Abstract: Lustre is a kind of metal-glass composite made of glassy matrix in which metallic copper and/or silver nano-particles are embedded. The size of particles varies between 5–50 nm and form a layer of 100 nm–1 mm on body. The colours and brightness of the layers are due to the light absorption and dispersion by the layer itself. The pigments used never exhibit metallic brightness, instead they appear as iridescent spots. Lustre glazes, for the first time, were patterned glazes produced by Islamic ceramists in Samarra and Basra cities of Mesopotamia during Abbasid Dynasty in 9. century AC. Its preliminary samples belong to Fustat, the capital of Egypt of Fatimid Dynasty. After, they had been produced in Syria (12–15. century AC) and Iran (12–17. century AC). Each Era and region inhibit their original characteristics. Hereby, the historical journey and general knowledge about lustre glazes are summarised.

Keywords: Lustre, Glaze, History, Production, Properties, Characterisation.

1. Giriş

Metaller için plazmon frekansları tipik olarak mor ötesi dalga boyundadır. Bu da metalleri renksiz ve opak kılar, ancak altın veya bakır gibi bazı metaller için sırasıyla 2,4 eV (520 nm) ve 2,1 eV (590 nm) dalga boyları karakteristik sarı ve kırmızı renklerini verir. Metal nano-parçacıklar, genellikle tüm dalga boyları için saydamdır [1]. Genelde bir lüster tabakasında bileşimce % 100 gümüşten % 100 bakıra kadar değişiklik gösteren miktarlarda hem Cu hem de Ag mevcuttur [2].

İlk indirgenmiş bakır ve gümüş pigmentlerinin cam cisimlere uygulanması MS 8. ve 9. yy'lara kadar uzanmaktadır [3–4]. 1970'de Brill, bu süslemelerin camdaki alkalilerle gümüş ve bakır

Bu makaleye atıf yapmak için

Ağıl, A.A., Karasu, B. "Lüster Sırlarının Karakterizasyonuna Genel Bir Bakış" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(1); 51-79.

How to cite this article

Ağıl, A.A., Karasu, B., "A General Look over the Characterisation of Lustre Glazes" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(1); 51-79.

arasındaki iyonik değişim sonucu oluştuğunu ileri sürmüştür [5]. Çanak çömlekler, metal ve cam eşyalara benzeyecek biçimde renklendirilmiş ve parlaklık kazandırılmıştır.

MS 9. yüzyılda Abbasi sırları iki, üç, bazen dört parlak renk içeren, karışık desenli ve çarpıcı etkiye sahip şekildelerdi. Tipik renkler zeytin yeşili; kahverengi ve kehribar; turuncu, sarı, kırmızı ve neredeyse siyaha yakın koyu tonlardaydı. Bazen, farklı bileşimdeki metalik ve metalik olmayan parlak renkler karıştırılırdı. Bakır kırmızısı gibi kimi parlak renkler diğerlerine göre daha güçlüdür. Özellikle gümüş esaslı yeşil metalik altın parlaklık kolayca üretilmiştir [6]. Altın parıltılı lüsterlerin beğenilmesiyle MS 10. yüzyılın başlarında tek renkli zeytin yeşili altın lüsterin üretimi başlamıştır. Bazen altın metalik parlaklığı veren lüsterler üretilmese de yeşil-sarı metalik lüsterlerin üretimi başarıyla sonuçlanmıştır. Bu yeni lüsterler bardaklar, kadehler, sürahiler ve kavanozların yanı sıra hayvan figürlerine de (ceylanlar, filler ve kuşlar) uygulanmaya başlanmıştır.

Sırlı çömlekler üzerine applike edilen ilk parlak süslemeler, büyük olasılıkla MS 766–809 yıllarında Harun-al-Rashid zamanında üretilmiş olup, MS 836–883 yıllarında Samarra'daki Calips Sarayı'nda, Abbasi lüsterleri de Tunus'daki Kerouian Cami'sinde ve Cezayir'deki Hammanid Prensesi Mahkemesi'nde aynı zamanda da Mısır Fustat'daki Ahman ibn Tulun Mahkemesi'nde MS 868 yılında bulunmuştur [4, 7].

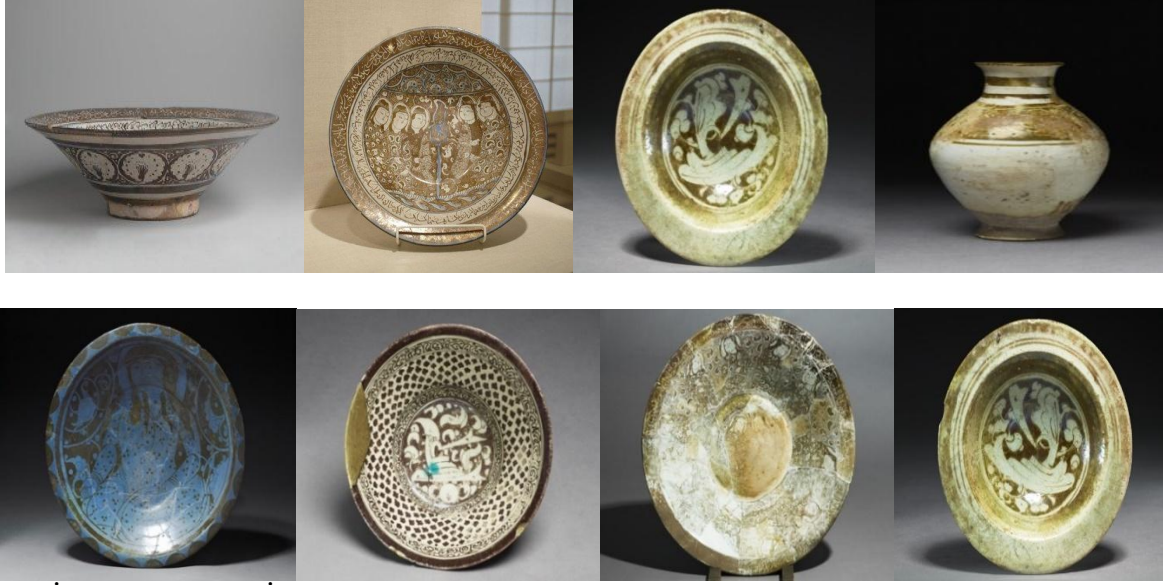


Şekil 1. İslamik (Suriye, İran, Irak, Mısır, Hindistan) lüster uygulamalarına ait örnekler [9–17].

2. Lüster Sırlarının Üretimi

Seramik objeler kurutulduktan sonra genellikle 900–1000 °C arasında bir ön pişirime tabi tutulup (bisküvi pişirimi) ardından sırlanarak tekrar pişirilirlir. Sonrasında, seramik objeye mineral pigmentlerinden oluşan bir sır karışımı uygulanır. Ardından da indirgen atmosfer altında üçüncü bir pişirim işlemi gerçekleştirilerek obje soğutulup fırından alınır. Yıkayıp silinmeyi takiben ortaya

harika, metalik lüsterli ürün çıkar. Bilinen neredeyse tüm lüsterler 1800'lerden önce İslamik, İspanyol ve İtalyan Lüsterleri olarak üç grupta toplanmaktadır [8]. Söz konusu lüster uygulamalarına ait fotoğraflar Şekil 1–4'te yer almaktadır.



Şekil 2. İslamik (Suriye, İran, Irak, Mısır, Hindistan) lüster uygulamalarına ait örnekler [9–17].



Şekil 3. İslamik (Suriye, İran, Irak, Mısır, Hindistan) lüster uygulamalarına ait örnekler [9–17].

3. Son Dönem Çalışmaları

Lüster, orta çağ sırlı seramiklerinin yüzeyine uygulanan dekoratif metalik bir film şeklinde ortaya çıkmıştır. Düşük sıcaklıkta (650 °C), bakır ve gümüş bileşenlerinin kontrollü indirgenmesiyle elde edilebilirler. Lüster aslında insanlar tarafından üretilen ilk tekrarlanabilir nano-yapılı ince bir metalik tabakadır. Arantegui vd. tarafından yapılan çalışmada 13. ve 16. yüzyıllar arasındaki İspanyol ve İtalyan lüster çanak çömlekleri incelenmiş [26], sırlı uygulanmış yüzeylerin analizleri sonucunda İspanyol ve İtalyan lüster uygulamaları arasındaki farklılıklar ortaya çıkarılmış, İspanyol sırlarının, İtalyan sırlarına göre kurşun bakımından daha zengin olduğu görülmüştür (Tablo1).



Şekil 4. İspanyol ve İtalyan lüster uygulamalarına ait örnekler [18–25].

Orta Çağ ve Rönesans Dönemi'nde İspanya ve İtalya'da üretilmiş lüster örnekleri üzerinde mikro-yapısal ve kimyasal karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Lüster tabakasını oluşturan nano-boyuttaki tüm elementlerin kristal parçacıklar arasındaki mesafe, bakır ve gümüş miktarı gibi parametreler lüsterin optik özelliklerini belirlemektedir. Tarihsel ve arkeolojik bir bakış açısına göre bu sonuçlar lüsterin insanlar tarafından üretilen ilk yüksek yoğunluklu nano-küme ince filmi olduğunu ve karakteristiklerinin Hispano-Moresque ve İtalyan lüster seramiğinin ortak üretim teknolojisini doğruladığını göstermektedir.

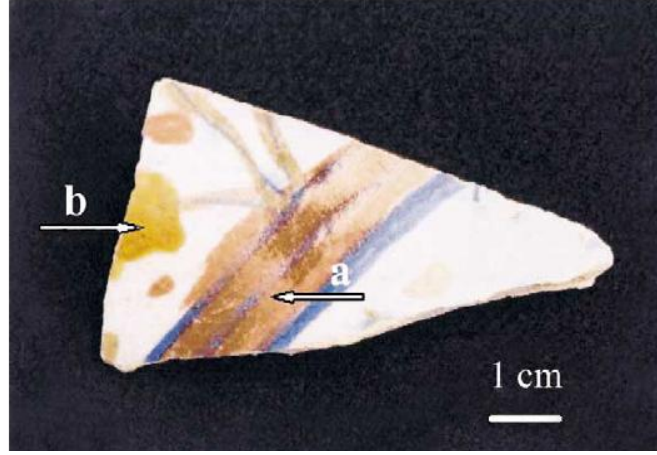
Borgia vd., tarihi çömleklerin sırlarında metal nano-kristallerin heterojen dağılımı ile ilgili araştırmalara imza atmışlardır [27]. Çalışmalarında yakın zamanda, Ortaçağ ve Rönesans çömlekçiliğinde lüster dekorasyonunun, seramik sırnı camsı matris (konak) içinde dağılmış gümüş ve bakır nano-kristallerden oluştuğu gösterilmiştir. Lüster yüzeyler, metalik yansıma ve yanardönerlik gibi kendine özgü optik özellikler sergilerler.

Tablo 1. İncelenen sırların kimyasal bileşimleri [26]

Sır Örnekleri	Bileşim (Ağ. %)								
	SiO ₂	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	SnO ₂

İspanyol	40–45	35–42	0,5–1	2–4,5	2,3	1,6–2	0,3	0,2–0,4	9
İtalyan	45–65	15–35	1–3	5–9	2,5–5	1,5–5	0,5	0,5–2,5	5–9

Burada, 16. yüzyıl Deruta ve Gubbio çanak çömleğine ait çeşitli parçaların sırları, pigmentleri ve parlaklıklarıyla ilgili çalışmanın bulguları sunulmuş, sır ve pigment bileşenleri tanımlanmıştır. İlgili çalışmada incelenen seramik Şekil 5’te takdim edilmiştir.



Şekil 5. Altın, gümüş ve bakır lüsterleri içeren 16. yüzyıl Gubbio seramik örneği [27].

Sırın İslamik lüster çömleriyle karşılaştırıldığında nispeten daha fazla miktarda alkali içerdiği belirlenmiştir. Parlaklık, gümüş ve bakır nano–kristallerin heterojen dağılımı ile karakterize edilmektedir. Gümüş nano–kristallerin bakırdan çok iyi ayrıldığı ve bakır nano–kristallerden daha büyük ortalama çapta ve küresel şekilde olduğu bulunmuştur.

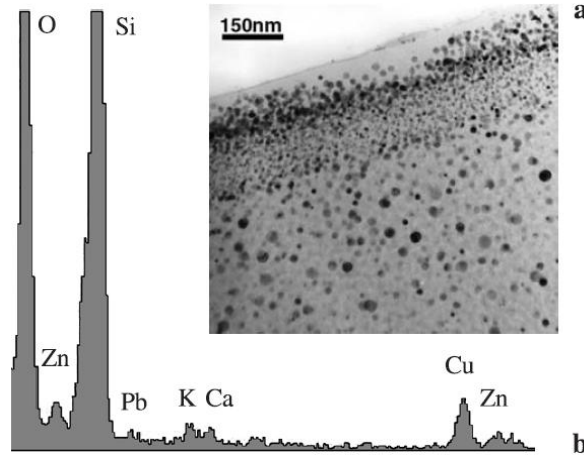
Padovani vd., Rönesans lüster çömlerinin sırlarında bakırın, nano–parçacıkların, iyonların ve yerel çevrenin etkisini incelemiştir [28]. Tarihsel çömlek sırlarında parlak süslemelerin camsı bir ortama yayılmış bakır ve gümüş nano–taneciklerden oluştuğu bulgusunun ardından, bakır nano–parçacıkların, bakır iyonlarının ve bunların bileşimi ve dağılımı, altın ve kırmızı renkli lüster örneklerinde incelenmiştir. Bakır iyonlarının durumu ve yerel ortamı, bakır–alkali iyon değiştirmeli silikat cam numunelerinde bulunanlara benzemektedir. Bu, ilk adım olarak lüster oluşumuna bir bakır ve gümüş–alkali iyon değişiminin aracılık ettiği, ardından metal nano–parçacıkların çekirdeklenmesi ve büyümesinin gerçekleştiği görüşünü kuvvetle desteklemektedir. Altın ve kırmızı parlak süslemelerin mevcut olduğu iki adet Umbria Rönesans Dönemi lüster çömlek parçası üzerinde bileşimsel, yapısal ve optik ölçümler alınmıştır. Museo Regionale della Ceramica di Deruta'ya ait parçalar Şekil 6'dan izlenebilir. Ölçümler, şekilde beyaz oklarla işaretlenen kırmızı (örnek D52) ve altın (örnek D78) süslemeleri üzerinde yapılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre altın lüsterde, elementel gümüş ve bakır ağırlıkça sırasıyla % 20 ve 1–3 arasındadır. Metal nano–parçacıklar pratikte sadece gümüşten yapılmıştır. Kırmızı lüsterde ise, elementel bakır ağırlıkça yaklaşık % 8 olup bakır nano–tanecikleri mevcuttur. Bununla birlikte, bakırın sadece küçük bir kısmı metalik (% 20) geri kalanı ise Cu^+ formundadır. Altın ve kırmızı renkler sırasıyla gümüş ve bakır nano–parçacıklara atfedilebilir. Hem altın hem de kırmızı lüsterde, bakırın önemli ölçüde oksitlenmiş formlarda bulunması, XRF veya indüktif olarak eşleşmiş plazma atomik yayılım spektroskopisi ile gerçekleştirilen önceki denemelerin başarısızlığını ortaya çıkarmıştır.



Şekil 6. Deruta'dan 16. yüzyıla ait çanak çömlek örnekleri [28].

Fredrickx vd., lüster camlarındaki nano-parçacıklarını geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ile incelemişlerdir [29]. Yüksek çözünürlüklü TEM, elektron enerji kaybı spektroskopisi ve enerji dağılım x-ışını (EDX) analizi verileri; lüster tabakasında metalik Ag ve metalik Cu parçacıkları olmak üzere iki çeşit nano-parçacık bulunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bu tanecikler malzeme içerisinde birbirinden belirgin bir biçimde ayrılmıştır. Yoğun üst tabaka Ag parçacıklarından ve bu üst tabakanın altında meydana gelenler ise metalik Cu'dan kaynaklanmaktadır. Nano-parçacıkların boyutlarının nüfuz etme derinliklerine göre bir derinlik profili çizilmiş, tanecik büyüklüklerinin 5–15 nm aralığında olduğu rapor edilmiştir. Söz konusu çalışmada kullanılan lüster katmanının genel görünüşü ve EDX analizi Şekil 7'den izlenebilir.



Şekil 7. Lüster katmanının genel görünüşü ve EDX analizi [29].

Lüster sırlı numuneler kesit yönelimli olarak incelenmiştir. Bu yönelim, makro, mikro ve nanoskopik katmanlı yapıyı tamamen anlamamızı sağlamaktadır. Yüzeyin hemen altında herhangi bir parçacık içermeyen cam benzeri bir tabaka görülebilir. Nano-parçacıklar maksimum 70 nm'lik bir derinlikten itibaren mevcuttur.

Pradell vd., lüster üretiminde parlak kırmızı civa sülfürün (cinnabar) etkisini araştırmışlardır [30]. Lüster süslemelerinin üretiminde parlak kırmızı civa sülfür kullanımına atıfta bulunan eski belgeler yakın zamanda arkeolojik bulgular tarafından desteklenmiştir. Ancak, lüster dekorlarının bileşimlerinde cinnabar kullanımının izine rastlanmamıştır, çünkü 500–600 °C'da pişirim cinnabarın tamamen ayrışmasına ve buharlaşmasına yol açmaktadır. Bir yerinde (in-situ) x-ışını kırınım deneyi, lüster süslemeleri üretiminde cinnabarın rolünü açıklığa kavuşturmak için tasarlanmıştır. Sonuçlar cinnabarın bakır için indirgeyici işlev gördüğünü, bakır (Cu^+) ve gümüşün (Ag^+) kükürt içeren fazların oluşumunu sağladığını ve lüster üretiminde ilgili sıcaklıktaki metalik

gümüşün kristalleşmesini önlediğini göstermiştir. Cinnabar, bakır için indirgen olup kükürt açısından zengin bir ortam sağlamakta, 500–600 °C arasında Cu^+ ve Ag^+ kükürt içeren fazların oluşumuna sebebiyet vermektedir.

Ceretti vd., eski İslam coğrafyasında, Moresque İspanya'sında ve Rönesans İtalya'sında sırlı seramiklerin dekorasyonunda nanometrik yüzey işleminin etkilerini araştırmışlardır [31]. Lüster, sırlı seramiklerde üretilen en etkileyici yüzey dekorlarından biridir. 9. yüzyılda Arapların (Doğu Mezopotamya, Mısır ve Pers) fetihleri sırasında kurduğu atölyelerde doğmuş gibi görünmektedir. Arap çömlekçiler, bilhassa İspanya başta olmak üzere Akdeniz havzasına tüm bilgi birikimlerini yaymışlar, İtalyan Rönesans çömlekçileri de bundan faydalanmışlardır. Teknik, metalik tuzların varlığında indirgenmiş bir atmosferde sırlı seramiklerin özel pişirim işlemine dayanmaktadır. Sonuç, altından kırmızıya veya kahverengine kadar çeşitli renkler sergileyen metalik görünüme sahip bir yüzey tabakasıdır.

Pradell vd., Ortaçağ lüster süslemelerinin oluşumunda iyon değişim mekanizmasını incelemişlerdir [5]. Orta Çağ lüster seramiklerinin analizi, lüster tabakalarının oluşumunun sırnın bazı alkali iyonları (Na^+ ve K^+) ile pişirim esnasında lüster ham pigmentinin bakır ve gümüş katyonları arasında bir iyon değişimi içerebileceğini göstermiştir. Sunulan deneysel veriler lüsterin işlenmemiş toz halindeki lüster pigmentleri ve pişirim sırasında sırnın etkileşimi yoluyla meydana getirilen “yeni” bir metal camsı kompozit tabaka olduğunu belirlemiştir. Bakır ve gümüş metal parçacıkları için tipik boyutlar yüzeye daha yakın daha büyük parçacıklar ile birlikte birkaç nanometredir. Sır içinde iki oksidasyon durumunda bakırın varlığı (metal ve Cu^+) gösterilmiştir. Parçacıkların yoğunluğu ve büyüklüğünün, gümüş toprakların oluşumu ve sır içinde iyonik Cu^+ ve muhtemelen Ag^+ varlığının lüsterlerin optik özelliklerinde etkin parametreler olabileceği düşünülmektedir.

Metalik lüster oluşum mekanizmaları ile ilgili çalışmalar Pradell vd. tarafından başarıyla gerçekleştirilmiştir [32]. Farklı çalışmalar lüsterlerin bakır ve/veya gümüş içeren pigmentlerin sırla tepkimesinden elde edilen bir metal–cam nano–kompozit olduğunu göstermiştir. Bu metal benzeri tabakaların ortaya çıkış mekanizmaları Ortaçağ lüsterinin laboratuvarında yeniden üretilip araştırılmasıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Sırın ağırlıkça % cinsinden kimyasal bileşimi, seçilen camlar ve lüsterin yeniden üretimi için ısı yolları Tablo2’de sunulmuştur.

Paterna'da Hecpano–Moresque atölyesinde MS 13. yy'dan kalma Ortaçağ tariflerinin bulunmasının ardından bakır ve gümüş lüster katmanlarının laboratuvar ortamında yeniden üretimi sağlanmıştır. Farklı sır bileşimleri, ısı işlemler ve atmosferler denenmiştir. Oksitleyici veya nötr atmosferlerdeki pişirim alkaliler (Na^+ ve/veya K^+) ile Cu^+ ve Ag^+ arasında bir iyonik değişime yol açmıştır. İyonik değişim sonrası indirgen bir atmosferin kullanılması da Cu^+ ve Ag^+ 'nın metalik hallerine redüklenmesine neden olmuştur. Bu indirgeme aşamasında nano–kristal metalik bakır ve metalik gümüş oluşmaktadır. Nano–kristallerin tipik boyutları bakır için 15–20 nm, gümüş içinse 5–20 nm'dir.

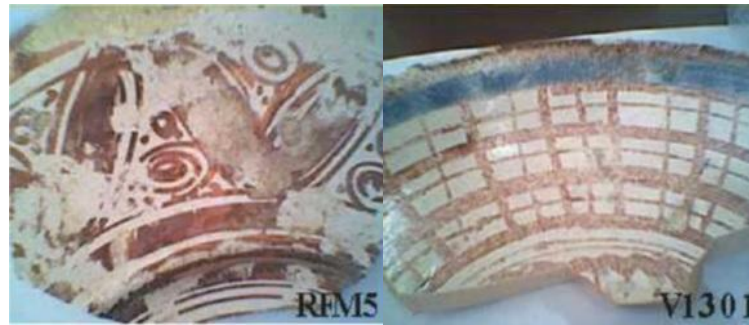
Rio vd. Sevilla'daki 15. yüzyıldan kalma lüster kaplı seramik metalik nano–parçacıkları PIXE ve RBS ile incelemişlerdir [33]. Triana'da (Sevilla) bir atölyede bulunan lüster seramikleri lüster etkisine yol açan metalik parçacık tabakaları dahil olmak üzere sırların bileşimini belirlemek üzere analiz edilmiştir.

Tablo 2. Sırın ağırlıkça % cinsinden kimyasal bileşimi ve seçilen camlar ile yeniden lüster üretimi için ısıtılma yolları [32]

Sır	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	PbO	CaO	MgO	ZnO	Sb ₂ O ₃	TiO ₂
Ga1	48,5	12,0	7,1	23,2	7,2		0,9	0,1			
Ga2	63,9	65	6,4	8,2	4,3				6,0	0,5	4,1
Gh1	32,6	0,2	0,4		3,6	61,4	0,4	0,9			
Gm	43,5	3,5	2,9	11,0	5,7	31,8	1,0	0,1			

Atmosfer	Gaz	Isıtma Oranı	Tmaks.	Zaman	Soğutma Oranı
Yükseltgen	Sentetik hava (40 ml/dk)				
Nötr İndirgen	Argon Varigon (% 93 AR + % 7 H ₂) (1,6 l/dk)	50 °C	500–600 °C	30 dk	100 °C/dk
Nötr+İndirgen	Argon+Varigon (40 l/dk + 1,6 l/dk)			10 dk+20 dk	

Bu çalışmada 17. yüzyıldan önce inşa edilen küçük bir fırına bağlanan yaşam alanlarının kalıntılarının yanına atılan malzemeler içinde çok sayıda parça bulunmuştur; örnekler Şekil 8'de gösterilmiştir.

**Şekil 8.** Lüster seramik parça örnekleri [33].

Dış ışın RBS, lüster eşyalarında bulunan nano–taneciklerin alt yüzey tabakalarının özelliklerinin çoğunu belirleyen en iyi tekniktir. Antik lüsterin araştırılmasında tahribatsız analiz kapasitesi nedeniyle İBA'dan faydalanılmaktadır.

Roque vd., lüsterdeki bakır ve gümüş nano–kristal sırların geliştirilmesi ve optik özellikleri ile ilgili araştırmalara imza atmışlardır [34]. MS 9. yüzyılın başlarında Irak'ın eski çömlekçileri, kil ile bazı bakır oksitleri ve gümüş tuzlarını fırınladıktan sonra demir oksitlerin ve seramik sır üzerine uygulanan bazı kükürt bileşiklerinin kırmızımsıdan sarımsıya kadar geniş renk yelpazesine güzel bir katman oluşturduğunu keşfettiler. Yeşilimsi ve hatta bazılarının karakteristik metalik bakır veya morumsu parlaklığı vardır. Katmanların modern çalışmaları bunların bir cam konak içine gömülü nano–kristal bakır ve gümüş tarafından oluşturulduğunu göstermiştir. Şekil 9'da bu çalışmada kullanılan lüster yüzey süslemeleri ve sır kesitlerinden optik mikroskop (OM) görüntüleri verilmiştir.

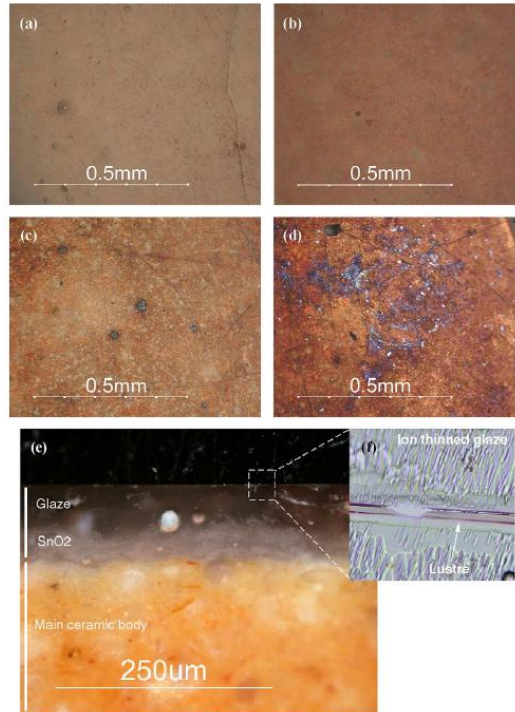
Tablo 3.a Sırların ve bünyelerin PIXE bileşimleri [33]

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	PbO
RFM 3 Beyaz Sır	1,2	0,4	2,5	50		0,4	0,3	4,7	2,6	31
RFM 3 Bünye	1	3,2	14	50	0,6	0,4	0,06	2	22	0,3
RFM 5 Beyaz Sır	1	1,4	2,8	49	3	2	1	4,2	3,2	25
RFM 5 Bünye	1	3,3	13	52		0,25	0,05	1	24	0,6
RFM 8 Mavi Sır	0,4	0,3	1,6	46	1		0,4	1,9	2,3	38
RFM 8 Beyaz Sır	0,3	0,3	5,7	44				1	3,5	36
RFM 8 Lüster/Beyaz Sır	0,6	0,3	2,2	40		1	1	1,7	2	43
RFM 12 Beyaz Sır	1,1	0,4	2	53				5	2,6	28
RFM 13 Beyaz Sır	0,7	0,4	2,3	46			0,5	4	3	35
V 1300 Beyaz Sır	0,3	0,4	2,3	56			0,2	6,2	2	25
V 1301 Beyaz Sır	1,2	0,5	2,5	53		2	0,5	6,8	2,8	22
V 1301 Mavi Sır	1,7	0,5	2,5	53			0,4	6,5	4,2	21

Tablo 3.b. Sırların ve bünyelerin PIXE bileşimleri [33]

	TiO ₂	Mn O	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	Ag ₂ O	SnO ₂	Sb ₂ O ₅
RFM 3 Beyaz Sır	0,1	0,04	0,7		0,01	0,06	0,02			6,4	
RFM 3 Bünye	0,9	0,1	5,5			0,01	0,01				
RFM 5 Beyaz Sır	0,2	0,02	0,42		0,01	0,12	(60)			6,5	
RFM 5 Bünye	0,75	0,07	5,3		(50)	0,03	(90)				
RFM 8 Mavi Sır	0,1	0,03	0,5	0,17	0,06	0,24	(100)	0,07		7,4	0,1
RFM 8 Beyaz Sır	0,1	0,04	0,6		0,01	0,26	(80)	0,04	(150)	8,2	0,06
RFM 8 Lüster/Beyaz sır	0,1	0,04	0,5		0,01	0,7	(60)	0,06	0,12	7,8	0,06
RFM 12 Beyaz Sır	0,1	0,03	0,5		0,01	0,06	0,02			7,8	
RFM 13 Beyaz Sır	0,1	0,04	0,7		0,01	0,06				7,1	
V 1300 Beyaz Sır	0,06	0,02	0,4		0,01	0,04	0,01			6,7	
V 1301 Beyaz Sır	0,06	0,02	0,22		0,01	0,05	1,2			6,9	
V 1301 Mavi Sır	0,05	0,04	0,6	0,6	0,1	0,08	0,2			8,8	

Lüster nano–yapısının kristal boyutu derinliğinin bir fonksiyonu olduğu gösterilmektedir. Bu da yüzeye uygulanan ham pigmentten Cu⁺ ve Ag⁺ iyonlarının Na⁺ ve K⁺ ile yer değişimini ve ardından cam konak içindeki metalik bakır nano–kristallerin ortaya çıktığını önermektedir.

**Şekil 9.** Lüster yüzey süslemeleri ve sır kesitlerinden optik mikroskop (OM) görüntüleri [34].

Lüster oluşurken, Cu nano-parçacıkların kütle merkezi, nano-taneciklerin kabalaşmasından kaynaklanan ve parçacık mesafelerinin azaltılmasına yol açan küçük nano-kristallerin kaybolmasıyla birlikte yüzeye doğru kayma eğilimindedir. Sonuçta, bakır nano-parçacıklar arasındaki dipol plazmon birleşmesi görünür. Ayrıca, sır yüzeyindeki renk, saçılan veya yansıyan ışıktan hareketle belirlendiğinde farklılık gösterir. Gümüş renginde yansıyan nano-kristaller kırmızımsı bakır yayınımla birleştiğinde morumsu parlaklık veren karakteristik mavi bir yansımaya yol açarlar.

Ortaçağ lüster renkleri ve parlıtlarının üretilmesindeki anahtar parametreler Molera vd. tarafından belirlenmiştir [35]. Farklı renk ve yansıtıcılı lüsterler Ortaçağ tarifleri kullanılarak bir laboratuvarında kontrollü koşullar altında elde edilmiştir. Pigment tariflerinin sır bileşimleri, ısıl işlemler, atmosferlerin son hali ve oluşan Ag/Cu nano-kompozit tabakasının özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tablo4 araştırılan cam ve sırların ağırlıkça % kimyasal bileşimlerini göstermektedir.

Tablo 4. Cam ve sırların ağırlıkça % bileşimi [35]

	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	PbO	CaO	MgO	ZnO	Sb ₂ O ₃	TiO ₂
Cam-a	63,9	6,5	6,4	8,2	4,3				6,0	0,5	4,1
Sır-a	48,5	12,0	7,1	23,3	7,2		0,9	0,1			
Sır-hl	32,6	0,2	0,4		3,6	61,4	0,4	0,9			
Sır-m	43,5	3,5	2,9	11,0	5,7	31,8	1,0	0,1			

Tablo 5. Yeniden üretilen lüsterlerin ısıl aşamaları [35]

Atmosfer	Gaz	Isıtma Hızı (°C/dk)	T _{maksimum} (°C)	Zaman (dk)	Soğutma Hızı (°C/dk)
Oksitlenme	Sentetik hava (40 mL/dk)	50	550	30	100
Nötr	Argon (40 mL/dk)	50	550	30	100
İndirgeyici	Varigon (% 95 Ar + % 5 H ₂) (1,6 mL/dk)	50	550	30	100
Nötr+ İndirgeyici	Argon + Varigon (40 mL/dk + 1,6 mL/dk)	50	450-600 550	10 + 5 10 + 20	



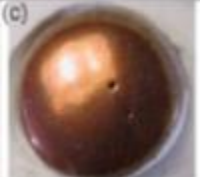
Lüster dekorasyonları başarılı bir şekilde yeniden üretilmiş ve orta parlaklıkta gözlenen farklı renkler ile metalik yansımalar/parlıtlarla sonuçlanan üretim parametreleri tanımlanmış, lüster tabakası oluşumunda yer alan bazı mekanizmalar açığa kavuşturulmuştur. 550 °C'lik pişirim sıcaklığı, camlardaki pigmentlerde ve alkalilerdeki kükürdün varlığı, lüster katmanlarının oluşumuyla sonuçlanan anahtar parametrelerdir. Lüsterle gösterilen renk ve metalimsi parlaklık tabakada bulunan nano-parçacıkların yoğunluğu ile doğrudan bağlantılıdır. Özellikle, kurşunlu sırlar için metal benzeri yansıma elde edilirken, aynı durum alkali sırlar için geçerli olmamış, sonuçlar İslamik lüsterlerin arkeolojik bulguları ile mükemmel bir uyum sağlamıştır.

Lüsterlerin nano-yapısı, kimyasal bileşimi ve ısıl işlem koşulları Roque vd. tarafından araştırılmıştır [36]. İspanya Paterna'da bulunan Olleries Xiques atölyesinden 13. yüzyıla ait lüster seramikleri, kimyasal bileşimleri ve nano-yapıları, renkleri ve parlaklıkları ile birleştirilerek incelenmiştir. Parlaklıkta gözlenen mavimsi yanardönerlik kimyasal bileşimle tamamen açıklanamamış, metalik gümüş nano-parçacık ışık saçınımlı olası bir açıklama şeklinde önerilmiştir. Örneklerin rengi, parlaklığı, bakır ve gümüş oranı Tablo6'dan takip edilebilir.

Olleries Xiques'te lüster rengine ve kimyasal bileşime göre iki çeşit nano-yapı bulunmaktadır; gümüş metal-cam nano-kompozit ile oluşturulan sarımsı parlaklık ve bakır oksit nano-parçacıklar ile metalik bakır nano-parçacıkların oluşturduğu kırmızımsı lüster dekorasyonu. Bu oksitlenmiş

kabuk, metalik bakır nano–parçacıklar arasındaki SPR dipol etkileşimini engellemekte ve bakır oksit ile birlikte lüster süslemeleri metalik bakır parlaklığı sergilemektedir.

Pradell vd., lüsterde metalik ve metalik olmayan parlaklığı elastik iyon geri saçılım çalışması ile incelemiştir [38]. Nano–parçacıklar, Cu^+ , Ag^+ ve camsı konakla alkali iyonları arasında gerçekleşen iyon değişimi ve indirgen atmosferde boyutlarının büyütülmesi sonucu üretilir. Lüsterin en çarpıcı özelliği, ışığı sürekli bir metal tabaka gibi yansıtma kabiliyetidir ve beklenmedik biçimde tek bir üretim parametresiyle bağlantılı olduğu bulunmuştur. İncelenen lüster katmanlarının ana özellikleri Şekil 10'dan takip edilebilir. Sonuçlar, yüksek kurşunlu sıranın üzerinde üretilen lüster tabakası tarafından sergilenen metal benzeri yansıtıcılığın katmandaki yüksek yoğunluklu parçacıklarla ve daha büyük nano–parçacık büyüklüğüyle ilintili olduğunu göstermektedir. Kurşunsuz sıraların lüster katmanlarında ise düşük parçacık yoğunluğu ve nano–parçacık büyüklüğü etkilidir. Kurşun açısından zengin sıraların kullanımı, metal benzeri parlacık lüsterlerin üretimi için ilgili teknolojik parametrelerden biri gibi görünmektedir. Bu, erken dönemdeki İslami lüsterlerin araştırması ile de uyumludur [12–13]. Verilere göre, 9. ve 10. yüzyıllardaki lüster teknolojisinin evrimi; kurşunun sıra formülasyonuna girmesi ile doğrudan ilişkilidir. Mısır, Suriye ve İran'da ki ilk İslami lüsterler Pradell vd. tarafından araştırılmıştır [37]. MS 10. yüzyılın son çeyreğinden MS 13. yüzyılın ikinci yarısına kadar Mısır, Suriye ve İran'dan gelen lüsterli seramikler seçilmiştir.

Numune No	J32	J6	J65
			
Cam tipi	Cam-a	Sır-a	Sır-m
Cam yoğunluğu (g/cm^3)	2,42	2,32	3,01
Camdaki kütlece % PbO	0	0,4	32
Ortalama & standart sapma (at % Cu^2)	3,4 (1,4)	2,6 (1,2)	1,8 (1,2)
Maksimum (at % Cu^2)	4,8	4,3	4,0
Nano parçacık boyutu (nm^3)	6,4 (0,3)	12,5 (0,3)	39,0 (3,1)

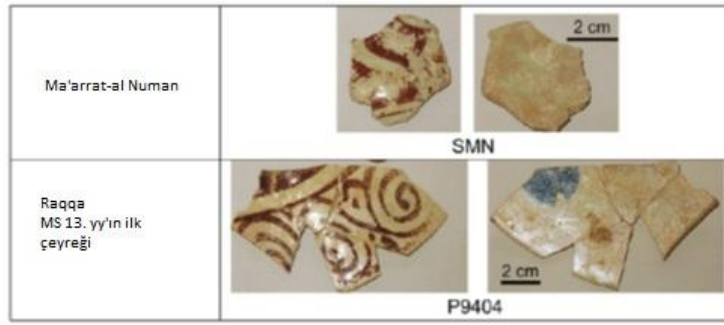
Şekil 10. İncelenen lüster katmanlarının ana özelliklerinin özeti [36].

Çalışmayla, incelenen üretim merkezleri arasında tarihsel dönem boyunca parlaklığın yapısı ve kimyası üzerine yoğunlaşmış ve bir takım anlamlı benzerlikler bulunmuştur. Kontrollü laboratuvar koşullar altında lüsterin yeniden üretimine yönelik daha önceki çalışmalarla arkeolojik verilerin lüster üretiminin tarihsel teknolojik yönlerine nasıl ışık tuttuğu gösterilmektedir. Sınırlı sayıda örnekle bu dönemde lüster üretimleri arasında önemli farklılıklar ve benzerlikler ortaya çıkarılmış, değişikliklerin olası nedenleri tartışılmıştır. İncelenen Mısır, Suriye ve İran lüsterleri sırasıyla Şekil 11–13'de takdim edilmiştir.

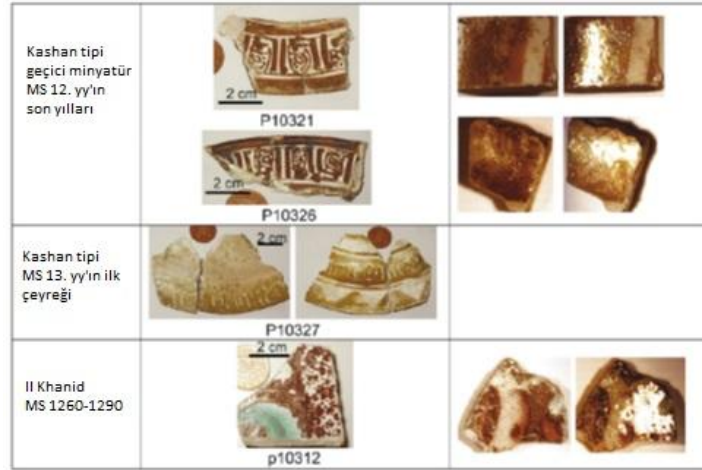
Tablo 6. Örneklerin rengi, parlaklığı, bakır ve gümüş oranı [36]

Örnek	Tipoloji	Dağılmış Yansımada Renk	Yansımış Yansımada Renk	Cu/(Cu+Ag) [% ağırlık]	SD	λ_D	p.e.
JR02	Lüster seramik	Altın sarısı ve yeşil	Altın ve morumsu	0,078	0,056	583	0,59
JR01	Lüster seramik	Altın sarısı	Altın	0,27	0,18	583	0,21
OX957	Lüster seramik	Toprak sarısı ve yeşil	Altın ve morumsu noktalar	0,43	0,20	583	0,56
JR06	Lüster seramik	Siyah noktalı kahverengi	Saçılmış morumsu noktalı altın	0,40	0,28	587	0,50
OX9004	Lüster seramik	Siyah noktalar ile kırmızımsı kahverengi	Saçılmış morumsu noktalı altın	0,41	0,34	588	0,47
OX955	Lüster seramik	Kahverengi	Birkaç morumsu noktalı altın	0,59	0,22	585	0,50
OX933	Lüster seramik	Kahverengi	Birkaç morumsu noktalı altın	0,58	0,22	586	0,44
JR03	Lüster seramik	Kahverengi	Birkaç morumsu noktalı altın	0,60	0,16	587	0,42
OX936	Lüster seramik ve kobalt mavi	Kahverengi	Birkaç morumsu noktalı altın	0,76	0,09	587	0,56
OX944	Lüster seramik	Kırmızımsı kahve	Birkaç morumsu noktalı altın	0,82	0,07	588	0,56
OX946	Lüster seramik	Kahverengi	Birkaç morumsu noktalı altın	0,81	0,09	589	0,53
JR04	Lüster seramik	Kırmızımsı kahve	Birkaç morumsu noktalı altın	0,80	0,06	590	0,46
JR05	Lüster seramik	Kırmızımsı kahve	Kırmızımsı, altın ve morumsu noktalar	0,71	0,08	591	0,25
Yeşil	Yeşil bakır seramik	Yeşil	-	1	0,28	549	10,95
Mavi	Kobalt mavi seramik	Mavi	-	-	-	455	7,36
Kahverengi	Saydam sırlı seramik	Kahverengi	-	-	-	585	53,46

**Şekil 11. Mısır lüsterleri [37].**



Şekil 12. Suriye lüsterleri [37].



Şekil 13. İran lüsterleri [37].

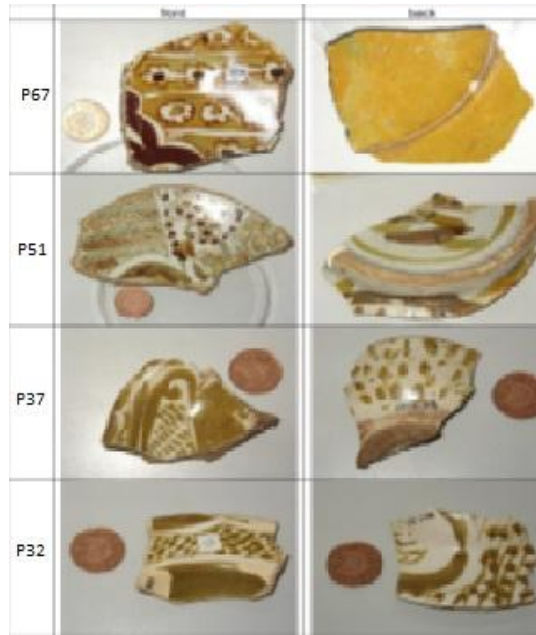
Tablo 7. Lüster katmanlarının bileşiminin özeti [37]

Bölge	Örnek No	Renk	Metalik parlaklık	Yüzeysel analiz % ağırlık			% Cu/(Cu+Ag)	Oksitlenme durumu	Nano parçacıklar	Boyut (nm)
				N	Cu	Ag				
Mısır	P92	Sarı/yeşilimsi	Hayır	28	0,25	2,00	11	% at. 100 Ag ⁰	Ag	12 (4)
	P167	Koyu sarı	Hayır	48	0,24	2,86	8	% at. 100 Ag ⁰	Ag	17 (4)
	P164	Koyu sarı	Hayır	44	1,77	4,00	31		Ag	
	P187	Sarı/yeşilimsi	Hayır	43	1,02	4,35	21		Ag	20 (4)
	P114	Yeşil/kahverengi	Altın	43	1,02	3,47	23		Ag	20 (7)
	P115	Kahverengi	Altın	35	0,46	5,43	8	% 100 Ag ⁰	Ag	
	P169	Kırmızı kenar Kahverengi	Hayır Altın	6 27	1,90 0,56	1,85 7,55	51 7		Cu ₂ O Ag	
Suriye	SMN	Kırmızı	Hayır	25	6,36	n.d.	100	% 58 Cu ⁺ -Cu ⁰	Cu	9 (3)
	P9404	Kahverengi	Hayır	9	6,88	2,85	71	% 82 Cu ⁺ -Cu ⁰ , Cu ¹²	Cu, Cu ₂ O, Ag	
İran	P10326	Kırmızı kenar Kahverengi	Hayır Altın	17 65	1,90 3,57	0,14 2,73	93 57	% 60 Cu ⁺ -Cu ⁰	Cu Ag	9 (3)
	P10321	Kırmızı kenar Kahverengi	Hayır Altın	33 49	3,41 2,46	1,26 3,68	73 40	% 76 Cu ⁺ -Cu ⁰ , % 100 Ag ⁰	Cu Ag	18(5)
	P10327	Yeşilimsi	Hayır	36	4,37	0,78	85	% 100 Cu ⁺	Cu ₂ O	27 (5)
	P10312	Kırmızı kenar Kahverengi	Hayır Altın	18 16	3,4 5,31	0,34 4,48	91 54	% 62 Cu ⁺ -Cu ⁰	Cu Ag	

MS 9. yüzyıla ait ilk Irak üretimleri, farklı renklerde bakır ve gümüş karışımı lüsterlerden yapılmış ve az miktarda kurşun içeren sırlara uygulanmış, ancak arada sırada kendini gösteren bir metalik parlaklık elde edilmiştir. MS 10. yüzyılda yüksek kaliteli, homojen tek renkli altın gümüş zengini lüster ile kurşun açısından zengin sırlar da yapılmış, elde edilen bilgi Irak'tan çömlekçi göçüyle Mısır'a transfer edilmiştir. Fatimi ihtişamı, gümüş zengini bir altın parlıtısını mükemmelleştirmek üzere lüster bakımından oldukça zengin kurşun camları üzerinde lüster tekniğinin gelişimine izin vermiştir. Fatimi lüsterleri, farklı sinterleme koşullarının kullanımıyla ilgili olabilecek renk değişimlerini göstermektedir. Daha sonradan ortaya çıkan çömlekçilerin Suriye'ye (TellMinis), İran'a ve diğer yerlere (özellikle İspanya) göçü, İslam teknolojisini tüm dünyaya yaymıştır. İran

lüsterlerinin etkilerini gösteren Kuzey Suriye yapımları daha düşük maliyetli malzemeler ve sınırlı bir süreç bilgisi kullanılarak geliştirilmiştir. Bahsi geçen lüsterler, bakır esaslı kırmızı yakut ve bakır/gümüş çikolata kahverenginde olup metalik parlaklıktan yoksundur. Daha sonraki İran ve İspanyol üretimleri Fatimi çömlekçilerinin metalik ışıltılı kahverengi–altın ve kırmızı kenarlı lüsterlerini üretmek için geliştirdikleri tekniklere güçlü bağlar sergilemektedir. MS 9. ve 10. yüzyıllarda Irak'ta lüsterin keşfi Pradell vd. tarafından incelenmiştir [2]. Bu çalışmada MS. 9. yüzyıla ait polikrom ve Irak'tan MS. 10. yüzyıla ait tek renkli lüster içeren dört önemli lüster örneği araştırılmıştır. Seçilen örnekler bilinen en erken lüster üretimini temsil etmektedir. İlgili dört lüsterin ön ve arka kısımlarından çekilen resimleri Şekil 14'te verilmiştir.


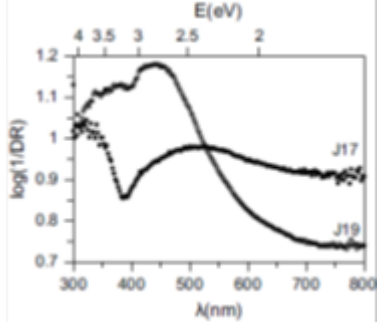


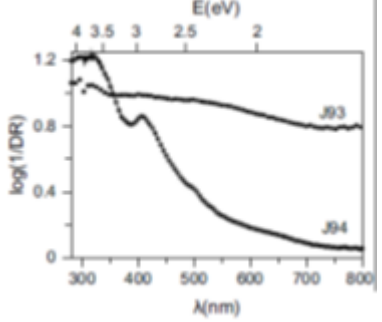

MS 9. yüzyıla ait Irak lüsterleri alkali–kurşun içeren, kalayla opaklaştırılmış sır üzerine Cu ve Ag bileşikler karışımının kullanımıyla elde edilmiştir. Kehribar ve koyu kahverengi lüster tabakasında büyük miktarda gümüş nano–parçacıkların ve sır içinde çözünmüş Cu^+ ve Cu^{+2} 'nin bulunduğu ortaya konulmuştur. MS 9. yüzyıla ait bazı lüsterlerin karakteristik özelliklerinin ve MS 10. yüzyıla ait tek renkli Irak orijinli üretimin yeşil renk özelliği, bakırsız, gümüş zengini lüsterlerde (veya en azından çok düşük Cu içeren lüsterlerde) sağlanmıştır. Cu/Ag karma veya Ag zengini lüsterlerin eldesi için, daha az indirgenme koşullarına ihtiyaç vardır. Neticede de çok çeşitli renkler üretilmiştir. Irak'tan önceki İslami lüsterlerin analizi gümüş zengini yeşil lüsterlerde metal yansıma elde edildiğini, ancak bunun nispeten düşük PbO içeren sırlarda (% 10–15), karışık Cu/Ag kehribar ve kahverengi lüsterlerde gerçekleşmediğini göstermektedir (Şekil 15).



Şekil 14. Dört lüsterin ön ve arka kısımlarından çekilen resimler [2].

İslamik lüster teknolojisi Pradell vd. tarafından araştırılmış [38–39], farklı pigment, sır bileşimleri, ısıl yollar ve atmosferler kullanılarak üretilen lüster katmanlarının özellikleri özetlenmiştir. Üretimlerin mikro–yapısal, kimyasal ve optik özelliklerinin analizi farklı renk ve parlaklıklara sahip lüster katmanlarının üretimi için gerekli koşullara geniş bir bakış açısı sağlamıştır.

Lüster üretiminin başlangıcından (Irak 9. ve 10. yüzyıl), Fatimi (Mısır 11.–12. yüzyıl) ve daha sonra Suriye ve Fars (MS 12.–13. yüzyıl) yapımlarından kaynaklanan parlaklık sürecinde gerekli değişiklikler ve iyileştirmeler değerlendirilmiştir (Şekil 16).







Sır No	No		Piştirim Protokolü	Renk	Metal Parlaklığı	Toplam ağırlık %	Kristalin Bileşimi	Boyut (nm)	UV-Vis
Sır-a	j19		Doğal	Kehribar	Yok	6,4(1,9) Ag 2,8(0,8) Cu	Ag ⁰ Kuprit?	15,1 (1,9)	
	j17		İndirgemen sonra doğal	Kırmızımsı kahverengi	Yok	33,4 (6,4) Ag 1,5(0,3) Cu	Ag ⁰ n.d.	21,3 (2,2)	
Sır-m	j94		Doğal	Sarı-turuncu	yok	6,5 (6,5) Ag 2,5 (1,8) Cu	Ag ⁰ Kuprit?	17,7 (2,5)	
	j93		İndirgemen sonra doğal	Çok koyu kahverengi	Altın&gümüş kenarlar	12,2 (8,5) Ag 1,5 (0,8) Cu	Ag ⁰	35 (10)	

Şekil 15. Laboratuvar ortamında çoğaltılan örnekler için elde edilen verilerin özeti [2].

Tablo 8. İslami sırların ve lüster katmanlarının kimyasal analizi [2]

			N	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	FeO	TiO ₂	Cu	Ag	PbO	SnO ₂	
Çok renkli MS 9. yy	P-67 (geri)	Sır yüzey kesiti	250-300 µm	5	6,42	5,90	1,82	64,17	b.l.d	4,00	0,30	0,14	b.l.d	b.l.d	4,33	1,01
		Turuncu kehribar lüster	Ametal	32	2,34	3,60	1,49	66,52	4,12	3,91	0,71	0,10	4,12	3,91	3,47	1,22
	P-67 (ön)	Sır yüzey kesiti	300-400 µm	10	7,16	4,36	2,34	64,04	b.l.d	3,91	0,25	0,13	b.l.d.	b.l.d	6,86	2,63
		Koyu kahverengi lüster	Ametal	41	0,75	1,61	1,33	61,32	9,34	11,55	0,65	0,09	9,34	11,55	4,80	2,11
	P-51	Sır yüzey kesiti		5	4,83	4,83	2,92	60,94	b.l.d	2,40	0,22	0,07	b.l.d.	b.l.d	13,87	2,02
		Yeşil lüster	Metal	21	1,65	2,75	1,62	72,30	2,39	4,11	0,75	0,10	2,39	4,11	5,62	1,93
		Kehribar lüster	Ametal	24	1,86	2,83	1,67	74,23	4,06	0,61	0,84	0,11	4,06	0,61	5,61	2,24
Tek renkli MS 10. yy	P-37	Sır yüzey kesiti	300-400 µm	5	6,47	4,62	2,61	63,90	b.l.d	3,01	0,25	0,11	b.l.d	b.l.d	7,98	1,04
		Sır yüzeyi		24	4,21	4,68	2,07	67,78	b.l.d	2,74	0,87	0,10	b.l.d	b.l.d	5,60	2,50
	Yeşil lüster	Ametal	29	3,51	4,42	1,81	67,29		1,32	0,85	0,12	b.l.d	3,40	5,18	2,59	
	P-32	Sır yüzey kesiti	300-400 µm	5	4,98	4,29	2,08	60,18	b.l.d	2,46	0,21	0,08	b.l.d	b.l.d	14,86	2,21
Sır yüzeyi			5	2,20	3,88	2,25	69,54	0,13	0,22	0,62	0,09	0,13	0,22	10,66	2,98	
		Yeşil lüster	Metal	35	1,44	3,14	2,19	67,35	0,36	4,03	0,61	0,09	0,36	4,03	10,01	2,66

Ortaçağ tarifleri ve prosedürlerine dayanarak, İslami lüsterde gözlenen parlak renkler ve parlıklar yeniden üretilmiştir. Bu süreç, tarihi yapılarda bulunan farklı görsel etkileri üretmek için gerekli malzemeleri ve protokolleri vermiştir.

Sır Nano Parçacıkların Boyutu Boyut Dağılımı	Kurşunsuz 10–20 nm Homojen	% 32 PbO 3–50 nm Heterojen
Cu ⁰ ve küpřit	 J6	 J65
Ag ⁰	 J126	 J76
Küpřit, Cu ⁺² ve Ag ⁰	 J17	 J93

Şekil 16. Bakır, gümüş ve bakır–gümüş karışımı lüster örnekleri [38–39].

Sonuçlar, kurşun–esaslı sır kullanımının metalik parlaklığın gelişiminde esas olduğunu ve bunun da ilk kez Abbasi'den daha sonraki İslami ürünlerde görüldüğünü vurgulamaktadır. Modern seramik sırlarında lüster için seryum dioksit içeren renkli cam tozunun kullanımın etkileri Siligardi vd. tarafından incelenmiştir [40]. Endüstriyel fırınlama ile elde edilen sırlar, x–ışını foto elektron spektroskopisi, x–ışını kırınımı (XRD) ve enerji–saçınım spektroskopisi ile SEM kullanılarak analiz edilmiş, yüzeydeki lüster etkisinin mekanizması açıklanmıştır. Sonuçlar, sırnın özellikle çok ince bir CeO₂ kristal tabakasının oluşumu ile ilişkili yanardöner renkler ortaya koyduğunu göstermiştir. Dahası, CeO₂ kristalleri tercihli bir yönelim ve farklı boyutlar sergilemiştir. Sır üzerindeki CeO₂ kristallenmesi de sıcak evre x–ışını tekniği kullanılarak incelenmiştir.

Tablo 9. İncelenen camların ısıl özellikleri [40]

Firit	T _g (°C)	α (°C ⁻¹)	T _{sinterleme} (°C)	T _{yumuşama} (°C)	T _{küre} (°C)	T _{yarım küre} (°C)	T _{erime veya 1/3 küre} (°C)
F1	610	7,3x10 ⁻⁶	814	948	1042	1150	1198

Renkli lüster etkisinin esas olarak sır yüzeyindeki seryum dioksit kristal tabakasının yansıma özelliklerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yüzeyin mikro–yapısı oldukça heterojendir; bazı bölgelerde çok küçük kristaller (< 200 nm) veya daha büyük kübik kristaller (yaklaşık 0,5 mm), diğer bölgelerde camsı bir yapı mevcuttur. Lüster etkisinin görünür ışıkla (saçılma olayı) etkileşime ve estetik özellikleri değiştirebilen kristallerin boyutuna bağlı olabileceği belirtilmiştir. Parlatma sonrası sırların yüzeyinin esasen camsı olduğu, küçük kuvars ve zirkon (zirkonyum silikat) kristalleri görülse de herhangi bir lüster etkisine rastlanmamıştır. Bu sonuca göre, kristalleşmenin sır yüzeyinde meydana geldiği ve estetik özelliklerin yüzey kristalleşmesiyle ilişkili olduğu doğrulanmıştır.

Bir başka çalışmada ise Gutierrez vd. tarafından gümüş İslami lüsterinin rengi ve altın parlaltısı incelenmiştir [41]. İslami Dönemlerin (MS 9.–12. yy) sırlı seramik üzerine altın benzeri lüster süslemeleri, gümüş metal nano–parçacıklarının nano–kompozit tabakasından meydana gelmektedir.

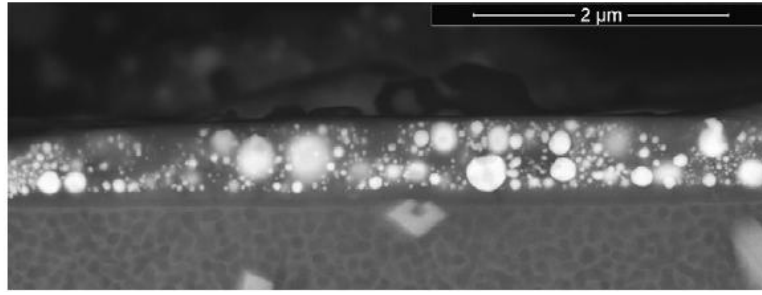
Bulgular, İslami Dönemlerde ulaşılan yüksek teknolojik seviyeye yeni bakış açısı getirmekte, aynı zamanda önemli tarihsel etkileri de içermektedir. Bu, ilgili dönemde sırların zenginleşmesine dair yeni ipuçları vermekte ve Orta Çağ simyasının üretimi için bazı temelleri ortaya koymaktadır. Gümüş lüsterin altın metalik parlaklığı sadece yoğun nano-parçacıklardan elde edilmiş tabakalarda meydana gelmektedir. Yansıtma gücünün katmandaki nano-parçacıkların miktarının artırılmasına, genişlemesine ve kırmızıya kaymasına neden olduğu bulunmuştur. Böylece, yansıyan ışığın rengi maviden yeşil-sarıya (altın etkisi) kaymaktadır (Şekil 17).

Mestre vd. tarafından gümüş nano-parçacık temelli bir sarı seramik pigmentinin geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmüştür [42]. Hammadde olarak gümüş nitrat ve polivinil pirolidon kullanılarak sulu fazda kimyasal indirgeme yöntemi ile sentezlenen gümüş nano-parçacıklara dayanan üçüncü alev seramik süslemeleri için sarı bir pigment elde edilmiştir. İncelenen sırn parlatılmış çapraz kesitinde küresel kromofor parçacıklarının görülebildiği pigment tabakası Şekil 18'de sunulmuştur. Şelit-esaslı camlarda lüster oluşum mekanizması Gualtieri vd. tarafından incelenmiş [43], tek-pişirim duvar karoları için şelit-esaslı camların lüster etkisinden sorumlu mekanizma açıklanmıştır. Yüzey dekorasyonu, tek-pişirim duvar karoları (50 dakika boyunca maksimum 1130 °C'de) için bir Si-Ca-Zn-Al-K-B cam tozu ve zirkonyumlu altlıklar üzerinde ağırlıkça % 10 WO₃'den oluşan ince bir film ile elde edilmiştir. Gözlenen lüster etkisi elmas gibi parlak, sert ve sedeflidir. Zira yüzeydeki şelit nano-kristalleri nispeten yüksek kırınım indisi (n=1,93) ile ışığın kayda değer biçimde yansımaya yol açmaktadır. Parlaklık ayrıca sedeflidir çünkü yüzeye paralel (004) düzlemde bulunan nano-kristaller altta uzanan camsı tabaka (n=1,5) ile etkileşime girerek rastgele dağılmış şelit kristallerini oluşturmaktadır. Metal-cam seramik kompozitlerde yaygın parlaklık oluşturan mikro-yapılar Şekil 19'da sunulmuştur. Tek kademeli duvar karoları için şelit-esaslı camların parlaklık etkisinin niteliği açıklığa kavuşturulmuştur. Gözlenen parlaklık etkisinin Ca-esaslı bir renkli cam tozundan ve 1130 °C'de WO₃'ten nano-fazlı şelitin yüzey kristalleşmesinden kaynaklandığı bulunmuştur. Şelit nano-kristallerinin hesaplanan izotropik kristal boyutu, kırınım çalışmasıyla 96 nm ve TEM boyutu analiziyle 83 nm olarak belirlenmiştir.

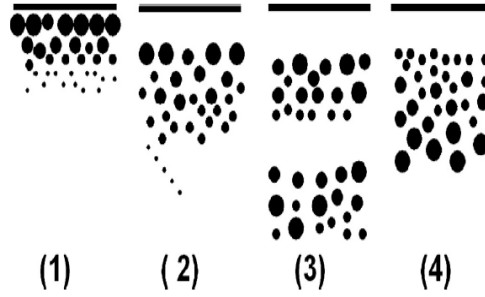
Son yıllarda yapılan bir başka çalışmada ise polikrom lüster üretim teknolojisi araştırılmıştır [44]. MS 9. yüzyılda Abbasi Irak'ta çeşitli renk ve parlaklık kombinasyonlarına sahip polikrom lüster gereçleri üretilmiştir. Üç renk kombinasyonu (siyah+kırmızı, beyaz-gümüş+kırmızı-sarı ve sarı-altın+kırmızı-bakır) incelenmiş ve üretim malzemeleri ile ölçüleri belirlenmiştir. Gümüş lüsterlerin siyah, beyaz, sarı ve yeşil renkleri, nano-parçacıkların farklı boyutlarıyla ve tabakadaki dağılımlarıyla ilişkilidir. Kurşun ve kalayın sır içerisine dâhil edilmeleri, kırmızı-sarı ve sarı-altın parlaklık üretiminde önemli bir faktör olarak bulunmuştur. Şekil 20'de MS 9. yüzyıldan itibaren çalışılan Irak polikrom lüster örnekleri gösterilmiştir.

Numune	Referans	Renk λ_d (nm) ³	Parlaklık	Sır			Lüster Katmanı
				PbO (Kütlece %)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yansıtma İndisi	
Abbasi Irak (MS 9. yy)	P67b	 Kahverengi 587,8	 Altın olmayan mavimsi	6,9 (0,3)	2,51	1,52	at%100 Ag ⁰ At%12 Cu ⁺² - at%82 Cu ⁺
	P67a	 Sarı 579,0	Altın olmayan	4,3(0,7)	2,49	1,52	at %100 Ag ⁰ at%3 Cu ⁺² - at%97 Cu ⁺
	P51b	 Koyu yeşil 575,3	 Altın	13,9 (2,1)	2,50	1,54	At %100 Ag ⁰ at%100 Cu ⁺
	P51a	 Yeşil 575,3	 Altın				
Abbasi Irak (MS 10. yy)	P37	 Yeşil 577,3	Altın olmayan	7,9 (0,4)	2,56	1,52	At %100 Ag ⁰
Fatimi Mısır (MS 11-12. yy)	P99	 Sarı 580,3	 Altın mavimsi kenarlı	37,0 (3,0)	3,40	1,59	---
	P92	 Yeşil 577,0	 Altın parıltılı	34,3 (1,1)	3,40	1,58	At %100 Ag ⁰
	P167	 Turuncu 581,3	Altın olmayan	40,2 (2,3)	3,53	1,60	at%100 Ag ⁰ at%100 Cu ⁺

Şekil 17. İncelenen gümüş İslami lüster örneği ve özellikleri [41].



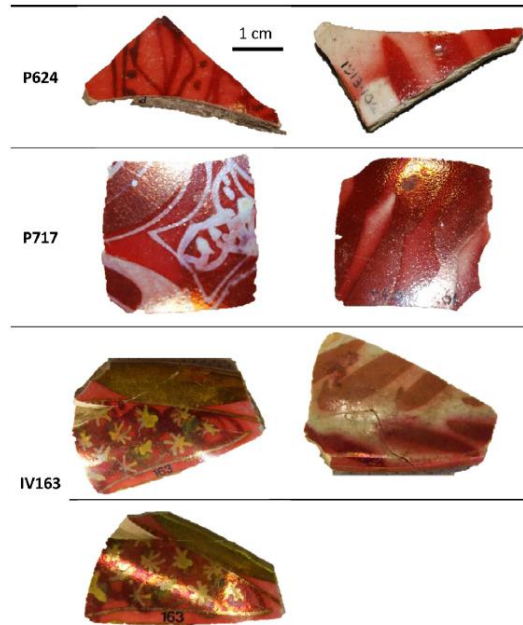
Şekil 18. Sırın parlatılmış çapraz kesitinde küresel kromofor parçacıklarının görülebildiği pigment tabakası [42].



Şekil 19. Metal–cam seramik kompozitlerde yaygın parlaklık oluşturan mikro–yapılar [43].

Özellikle, aynı nesnede kırmızı–bakır ve sarı–altın süslemeleri birleştiren polikrom lüster, aşağıda belirtilen unsurlarca başarıyla geliştirilmiştir:

- (1) Kurşun ve kalay içeren sır üzerinde parlaklık dekorasyonunun uygulanması,
- (2) Gümüş zengini lüster karışımının aplikasyonu ile zayıflatılmış güçlü bir indirgeyici atmosfer altında pişirilen, kırmızı bakır zengini lüster karışımının ilk defa uygulanması.



Şekil 20. MS 9. yüzyıldan itibaren çalışılan Irak polikrom lüster örnekleri [44].

Tablo 10. Lüster dekorlarının SEM–EDX analizleri [44]

Örnek	Sır Kenarı	Lüster Renk	Parlaklık	SnO ₂	PbO	Cu	Ag	Cu/(Cu+Ag)
P624	Arka	Kırmızı	Hayır	0,5	0,3	3,7	0,9	90
		Siyah	Hayır	b.d.	0,2	2,7	2,3	44
P717	Arka	Kırmızı	Hayır	b.d.	0,6	2,9	0,5	83
		Kırmızı	Hayır	0,7	0,7	2,9	0,2	94
		Kırmızı	Bakır	0,4	1,0	5,3	0,4	93
		Kırmızı	Hayır	3,3	10,4	3,7	0,5	89
IV163	Ön	Kırmızı	Bakır	2,8	10,5	6,5	1,2	84
		Sarı dekorasyon	Altın	2,5	10,7	0,9	6,3	12
		Sarı kenar	Altın	2,4	9,4	0,6	6,7	8
		Yeşil	Altın	2,7	10,6	1,2	7,3	15

Razavi vd., Zarinfam tekniği ile opal masa üzerinde lüster sırlarının üretimi, yapısı ve renklerinin karakterizasyonunu ayrıntılı olarak incelemişlerdir [45]. Lüster objeler, belli başlı optik özellikleriyle dikkat çeken seramiklerdir. Bunlardan en önemlisi farklı açılarda farklı renklerde görünen ışıltılarıdır. Söz konusu etki, lüsterin çok katmanlı yapısına ve mine tabakasında metalik nano–parçacıkların varlığına bağlıdır. Zarinfam tekniği ile Mahfam Jam A.Ş.'de üretilen opal sofrta takımında lüster sırtı üretilmiştir. Numunelerin SEM görüntüsü, sırtın, birkaç on nano–metrelik yüzeyel camsı tabaka ve yüzlerce nano–metrelik birleşik bir tabakadan oluşan opal sofrta yüzeyi üzerinde çok katmanlı yapı meydana getirdiğini göstermiştir. Çok katmanlı yapı ve gümüş nano–parçacıklar lüster yansımalarına ve renklerine göre önemli role sahiptir. Kompozit tabaka bir silis ortamında gömülü gümüş nano–parçacıklarını içermektedir.

Tablo 11. Sır karışımının kimyasal bileşimi [45]

Sarı Renkli	Kırmızı Toprak	Kurşun–Kalay Hamuru	FeSO ₄	Civakrom	Al ₂ O ₃	K ₂ CO ₃	AgNO ₃	CuO
10	0,5	20,3	32	2,7	20	5	9	0,5

Sarıgüzel vd. farklı sır bileşimlerinin lüsterdeki gümüş ve bakır nano–parçacıkların oluşumu ve özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır [46]. Lüster sırlı bileşimler (kurşun–alkali ve alkali) ile dekore edilmiş İznik çinileri üzerinde daha fazla bilgi edinilmesi hedeflenmiştir. Öncelikle, yüksek kuvars içeren kurşun–alkali ve alkali–sırlı geleneksel İznik karoları laboratuvar kontrollü koşullar altında üretilmiştir. Isıl işlem sırasındaki sır ve lüster macunu (yükseltgen ve indirgen atmosfer) arasında yer alan iyon değişim mekanizması ile İznik çinileri üzerinde lüster tabakası oluşmuştur. Ag/Cu nano–parçacıkları ile lüster katmanlarının bileşimi, doğası ve büyüklüğü, malzemeler üzerinde ileri araştırmalar için kullanılan analitik tekniklerle gerçekleştirilmiştir.

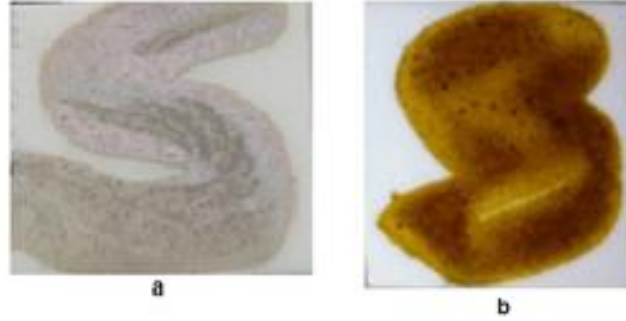
Tablo 12. İznik çinilerinin gövde ve sır katmanlarının bileşimi [46]

Bünyenin Hammaddeleri	Ağ. %	Sır Hammaddeleri	Ağ. %
Kuvars	29	Kuvars	44
Na–feldispat	28	Na–feldispat	25
Ufalanmış çanak çömlek parçaları	12	Zirkonyum silikat	10
Cam	12	Cam	6
Kil	14	Kil	8
Cam hamuru	5	Cam hamuru	8
		Çinko oksit	3

Tablo 13. WDXRF ile ölçülen İznik çini katmanlarının kimyasal bileşimleri (ağ. %) [46]

Bileşik	Bünye	Sır	Kurşun–Alkali Sır	Alkali Sır
Al ₂ O ₃	9,083	6,168	0,835	8,833
CaO	2,352	1,053	1,336	1,218
Fe ₂ O ₃	0,434	0,209	0,078	0,149
K ₂ O	0,402	0,220	0,134	3,430
MgO	4,978	1,437	0,470	0,492
Na ₂ O	3,700	1,849	2,339	13,337
P ₂ O ₅	0,050	0,082	–	0,123
PbO	3,941	4,041	63,222	0,234
SiO ₂	74,383	70,356	31,385	71,686
TiO ₂	0,126	0,071	–	0,097
ZnO	0,027	3,946	–	0,006
ZrO ₂	0,084	10,082	0,166	0,011

İznik çini yüzeylerinde kurşun–alkali sır ve alkali sır üzerindeki lüster tabakaları Şekil 21’de gösterilmiştir.



Şekil 21. İznik çini yüzeylerinde (a) kurşun–alkali ve (b) alkali sır üzerindeki lüster tabakaları [46].

Bu çalışma dekorasyondaki en karmaşık tekniklerden biri olan lüster üzerine kurşun–alkali ve alkali sırlı İznik çinileri ile gerçekleştirilmiştir. Oksitleyici atmosferlerde sinterlenirken sırdaki alkaliler (Na⁺ ve/veya K⁺) ile lüsterden Cu⁺ ve Ag⁺ arasındaki iyonik değişimden sonra bir indirgen atmosferin kullanılmasıyla Ag⁺ indirgenir. Camsı yapı ve metalik gümüşün yanı sıra alkali sırlı karoda bakır oksit tespit edilmiştir. XPS analizi bakırın hem katkılı hem de alkali sırlı İznik karolarında lüster katmanlarıyla kısmen azaldığını ortaya koymuştur.

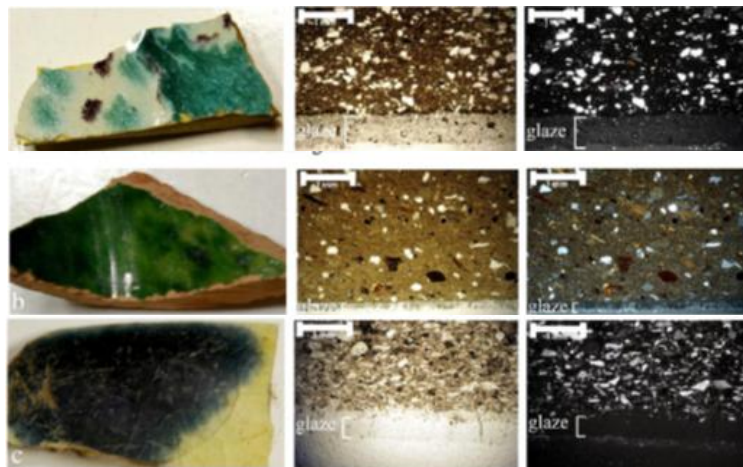
Sırların teknolojik aktarımının petrografik analizi Ownby vd. tarafından gerçekleştirilmiştir [47]. Biri Mısır'dan diğeri İspanya ve sömürge öncesi New Mexico'dan olmak üzere iki örnek olay incelemesi, sır teknolojisinin farklı alanlarda çalışan çömlekçiler tarafından benimsenmesi ve uyarlanması için bir fırsat sağlamıştır. Öte yandan, New Mexico'daki ev eşyası alanındaki cam eşyalarının üretimi, muhtemelen farklı cam hammaddelerinin kullanımına ve/veya orijinal üretim alanının dışında yer alan çömlekçiler tarafından yapılan bir tarifile ilgili bilgi eksikliğine bağlı olarak, sır pigment görünüşünde bir değişiklik sergilemektedir.

Dolayısıyla, petrografi, camın teknolojik bilgisinin edinildiği ve fikir yayılımı olarak değiştirildiği yollar hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Mısır sır süsü örnekleri, dekorasyonu, petrografik grubu, sır özellikleri ve tahmini pişirim sıcaklıkları Tablo14’te incelenmiştir.

Bu çalışmada incelenen Mısır sır örnekleri ve ince kesitli mikro fotoğraflar Şekil 22’de verilmiştir. Tüm örnek görüntüleri teknenin iç kısmını göstermektedir.

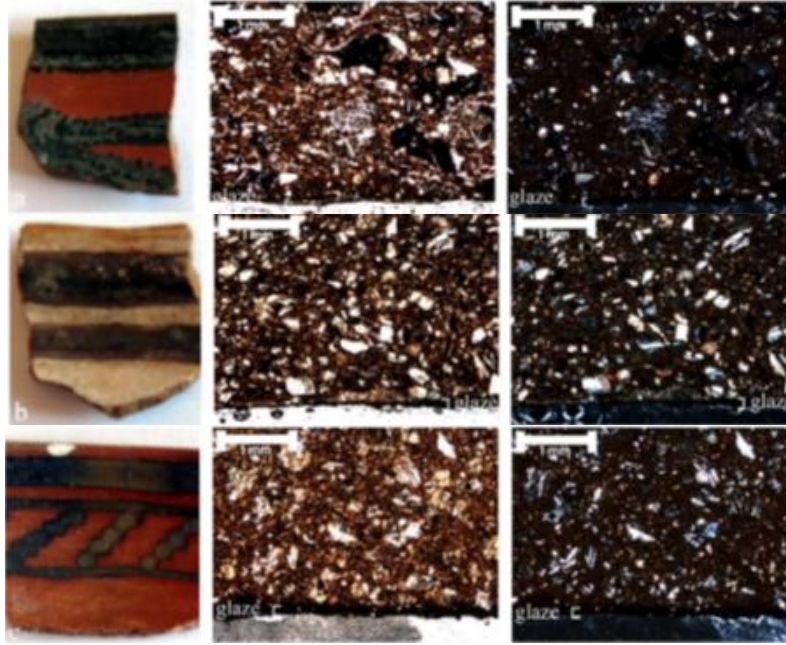
Tablo14. Mısır sır süsü örnekleri [47]

Numune No	Süsleme	Petrografik Grup	Sırdaki Baloncuk	Sırdaki Kum	Sırdaki Bileşenler	Diğer	Pişirim Sıcaklığı (°C)
22	Beyaz üzerine mavi	Grup 1 (marl)	Nadir	Nadir	Kireç?		850
106	Beyaz üzerine mavi	Grup 1 (marl)	Nadir	Nadir	Kireç?		850
107	Koyu beyaz	Grup 1 (marl)	Sık	Nadir	Kireç?		850
87	Mavi-yeşil ve siyah	Grup 1 (marl)	Nadir	Nadir	Kireç?		800
90	Mavi ve Siyah	Grup 1 (marl)	Nadir	Nadir	Kireç? (Nadir)		800
102	Mavi ve siyah, camısı değil	Grup 1 (kalkerli kireç- nil)	Sık	Sık	Kireç? Cam?		850
66	Soluk siyah çizgiler	Grup 1 (kalkerli kireç-nil)	Çok nadir	Yok	Pigment kristalleri?		850
63	Mavi püskürtülmüş siyah çizgili	Grup 1 (kalkerli kireç-nil)	Çok nadir	Yok	Yok		800
118	Mavi ve siyah çizgili	Grup 1 (kalkerli kireç-nil)	Nadir	Nadir	Yok		800
141	Sarı, yeşil ve kahverengi sır	Grup 2 , Aswan kili	Çok nadir	Yok	Yok		800
195	Koyu yeşil	Grup 2, Aswan kili	Yok	Yok	Yok		800
38	Var 1 Yeşil sır	Grup 2, Aswan kili	Yok	Yok	Yok		800
5931	Sarı, yeşil ve siyah sır	Grup 2, Aswan kili	Yok	Yok	Yok		800
13	Beyaz üzerine mavi	Grup 3, taş pastası	Nadir	Nadir	Yok		> 850
157	Zeytin yeşili	Grup 3, taş pastası	Nadir	Yok	Pigment kristali		> 850
176	Açık camısı yeşil	Grup 3, taş pastası	Nadir	Sık	Yok		> 850
62	FFS polikrom (beyaz üzerine mavi püskürtme)	Grup 3, taş pastası	Nadir	Yok	Yok		> 850
14	FFS yeşil	Grup 3, taş pastası	Çok nadir	Yok	Yok		> 850
36	FFS mavi	Grup 3, taş pastası	Sık	Sık	Yok		< 850
37	FFS sarı	Grup 3, taş pastası	Nadir	Yok	Yok		< 850
46	Var 2 mavi-yeşil	Grup 3, taş pastası	Nadir	Nadir	Yok		> 1000
67	Mavi püskürtmeli siyah çizgili	Grup 3, taş pastası	Nadir	Yok	Camsı		> 850



Şekil 22. (a) Mısır sırlı örnekler ve ince kesitli mikro fotoğraflar kalkerli kil, (b) Aswan kili, (c) FFS polikrom taş pastası [47].

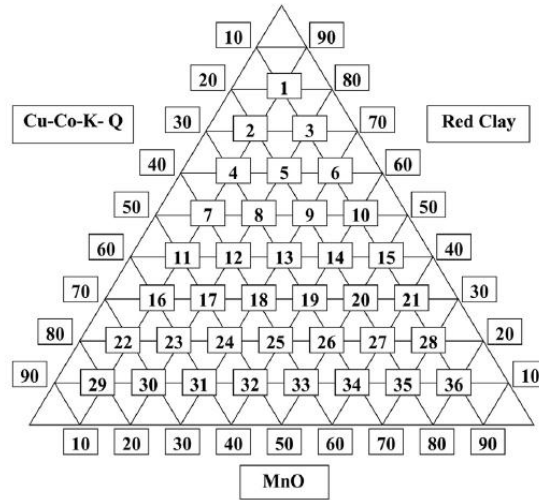
Bir diğer çalışmaya ait Rio Grande sırlı ürün örnekleri ve ince kesit mikro fotoğrafları Şekil 23'te gösterilmiştir. Tüm örnek görüntüleri eşyanın iç kısmına aittir. Büyütme 40×'dir.



Şekil 23. Rio Grande sırlı ürün örnekleri ve ince kesit mikro fotoğrafları, (a) siyah camlı sır, (b) siyah camlı olmayan sır, (c) siyah yarı camlı sır [47].

Bu çalışmada, çok farklı kültürlerden gelen iki seramik topluluğu incelenmiştir. Her iki çalışmada da zaman içinde sır eşyalarının üretimindeki değişikliklere işaret eden bazı kronolojik gelişmeler vardır. Mısır sır süsü analizleri, muhtemelen 9. ve 15. yüzyıllardan kalma bir zaman diliminde, belki de daha sonra, Rio Grande sırlı ürün ise 14–17. yüzyılları arasındadır. Ortak tema, farklı alanlardaki sosyo-politik sistemlerle iki alanda meydana gelen sırların üretimi konusunda teknolojik bilginin aktarımıdır. Mısır'da, doğrudan ve dolaylı bilgi aktarımının bir kombinasyonu muhtemeldir ve çömlek üretimi, geniş bir dağıtım için kontrollü, endüstriyel ortamda gerçekleşmiştir. New Mexico'da, Rio Grande sırlı ürün üretimi, muhtemelen daha az idari kontrole sahip bir hane veya köy düzeyinde olmasına rağmen, uzman üreticiler bağlamında yapılmıştır. Galisteo Pueblos ve Cerillos madenlerine dayanan Rio Grande boyunca geniş çaplı değişim ağlarına katılım, teknolojik bilginin dağıtılmasında anahtar faktörlerden biri olabilir. Katkıda bulunan bir faktör, İspanyol işgücü piyasasının talepleri ve İspanyol misyonunun bilgi ve hammaddelere erişimi kısıtlayan demografik etkileri olmuştur. Özetle, teknolojik bilginin aktarımı, uyarlanması ve rekreasyon, şaşırtıcı bir şekilde, sosyo-politik bağlam ve bölgedeki hammaddelerden etkilenmektedir. Bu, hem teknolojik bilgi aktarımına hem de seramik ekolojisi şeklinde adlandırılabilir bir çevresel belirleyici ve sosyal gömülü bakış açısı sağlar.

Taş işçiliği için kil esaslı bir sistemde altın-bronz metalik sırların geliştirilmesi Pekkan vd. tarafından çalışılmıştır [48]. Kırmızı kil, kaolen, kuvars, MnO, CuO ve CoO'dan oluşan üç eksenli bir sır sistemi, taş işçiliği için altın-bronz ham metalik sırlar üretmek üzere sistematik biçimde geliştirilmiştir. İlk olarak, geliştirilen sistemdeki tüm sırlı numuneler, 1160 °C'de elektrik ısıtmalı bir fırında ısıtılma tabii tutulmuştur. Daha sonra, seçilen başarılı altın bronz metalik sırlar 3-D taş dokular formuna uygulanmış ve aynı koşullarda sinterlenmiştir. Sırların mikro-yapısal karakterizasyonu, SEM ve EDX analizleri ile yapılmıştır. Sırların kimyasal bileşiminin rengi doğrudan etkilediği ve CuO'nun altın-bronz etkisine ulaşmak için MnO'dan daha önemli olduğu gözlenmiştir. İncelenen üç eksenli sır sistemi Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24. Üç eksenli sırlar sistemi (Cu: CuO, Co: CoO, K: Kaolen, Q: Kuvars) [48].

Hammadde miktarlarının doğrudan metalik görünümü ve yüzey dokusunu etkilediği bulunmuş, MnO'in artan miktarlarının daha parlak metalik yüzeylere yol açtığı görülmüştür.

Tablo15. Sırların hammadde oranları [48]

Reçete No	Kırmızı Kil	MnO	Cu-Co-K-Q			
			CuO	CoO	Kaolen	Kuvars
1	80	10	2,5	2,5	2,5	2,5
2	70	10	5	5	5	5
3	70	20	2,5	2,5	2,5	2,5
4	60	10	7,5	7,5	7,5	7,5
5	60	20	5	5	5	5
6	60	30	2,5	2,5	2,5	2,5
7	50	10	10	10	10	10
8	50	20	7,5	7,5	7,5	7,5
9	50	30	5	5	5	5
10	50	40	2,5	2,5	2,5	2,5
11	40	10	12,5	12,5	12,5	12,5
12	40	20	10	10	10	10
13	40	30	7,5	7,5	7,5	7,5
14	40	40	5	5	5	5
15	40	50	2,5	2,5	2,5	2,5
16	30	10	15	15	15	15
17	30	20	12,5	12,5	12,5	12,5
18	30	30	10	10	10	10
19	30	40	7,5	7,5	7,5	7,5
20	30	50	5	5	5	5
21	30	60	2,5	2,5	2,5	2,5
22	20	10	17,5	17,5	17,5	17,5
23	20	20	15	15	15	15
24	20	30	12,5	12,5	12,5	12,5
25	20	40	10	10	10	10
26	20	50	7,5	7,5	7,5	7,5
27	20	60	5	5	5	5
28	20	70	2,5	2,5	2,5	2,5
29	10	10	20	20	20	20
30	10	20	17,5	17,5	17,5	17,5
31	10	30	15	15	15	15
32	10	40	12,5	12,5	12,5	12,5
33	10	50	10	10	10	10
34	10	60	7,5	7,5	7,5	7,5
35	10	70	5	5	5	5
36	10	80	2,5	2,5	2,5	2,5

Bununla birlikte CuO miktarı altın-bronz rengini üretmek için MnO'dan daha fazla belirleyicidir. Cu ve Mn genellikle altın-bronz metalik sır yüzeylerinde tespit edilir, ancak kristallerin şekli kimyasal sır bileşimlerine göre değişmektedir.

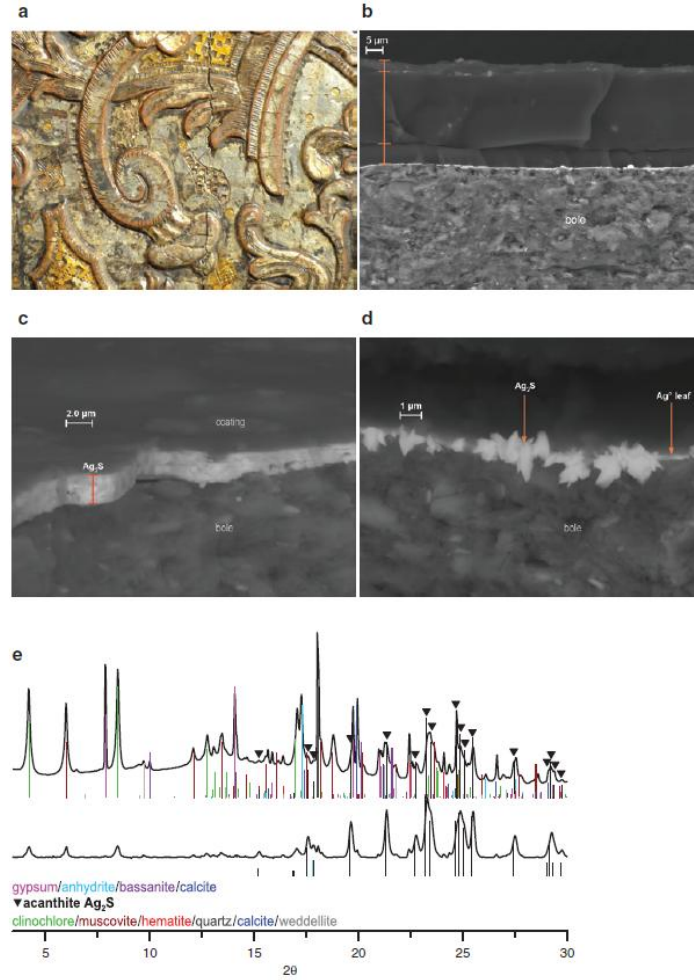
İran'ın güneydoğusundaki karbonat altlıklar üzerinde silis açısından zengin kaplama Aftabi vd. tarafından rapor edilmiştir [49]. Bu çalışmada jeo-kimyasal işaretler ve silisli karbonat altlıklar üzerinde geliştirilen, silis bakımından zengin kaplamaların oluşumu hakkında birkaç veri bulunmaktadır. Güneydoğu-İran'daki Maran-e-Galu bölgesindeki kaya kaplamaları dört katmandan oluşmaktadır; daha düşük kalın bir tabaka (1 mm) silika, daha düşük ince Fe-Mn oksit filmi, üst kalın (1 mm) silis açısından zengin tabaka ve üst Fe-Mn oksit filmi. XRF ve ICP-MS ile EDS, XRD ve yığın kaplama jeokimyası verileri, 1-3 mm kalınlığında silis bakımından zengin kaplamaların silisli karbonat altlık üzerinde bir opal bileşimin silika sırası olarak oluştuğunu göstermektedir. Orta İran'ın Maran-e-Galu bölgesindeki karbonat baskın alt tabaka üzerinde 1-3 mm kalınlığında silis açısından zengin bir kaya kaplamasının oluşumunu anlatmaktadır. Kaplamalar, çok ince Fe-Mn oksit filmleri ile kaplanmış kalın silis açısından zengin tabakalardan meydana gelmektedir. Ba ve Sr'nın yüksek değerleri silika açısından zengin kaplamaların tortul kökenine işaret eder, ancak kırmızı-kahverengi renge herhangi bir benzerlik göstermez.

Barok sunaklarından lüster camlı yıldız ve gümüşlemenin mikro-analitik çalışması Salvado vd. tarafından yapılmıştır [50]. Parlaklık ve gümüş kaplama üzerine renkli yarı saydam sırların uygulanmasını içeren bir teknik olan lüster, Barok dönemindeki sunak parçalarını zenginleştirmek ve süslemek için yaygın biçimde kullanılmıştır. Süslemeler, çeşitli renkteki sırları, metalik yapraklar ve alçı zemin üzerine uygulanan balçık içeren mikro-metrik çok katmanlı bir yapıdan oluşur. Tortosa (Katalonya) katedralinden en eski tarih olan 1671 ve en yeni 1775 tarihli Barok sunakların koleksiyonu, kullanılan malzemeler ve dönem boyunca başvurulan tekniklerin

Tablo 16. Malzeme özellikleri [50]

Altar Panosu	Numune No	Sır	Metal	Çamur
All souls	1	Turuncu	Gümüş	Kırmızı
	1	Kehribar		
Saint Joachim	2	Kehribar	Altın	
	1	Turuncu	Gümüş	
	3	Mavi		
Saint Joachim	1	Kırmızı		
	2	—	Gümüş	Kırmızı-Mor
Altar Frontal	1	Sarı		
	1	—	Altın	
Saint Rufus	2	—	Altın	Kırmızı-Mor
	1	Kehribar		
	1	Kırmızı		
	1	Yeşil	Gümüş	
	3	kırmızı		
	1	—		
Our lady of the Rosary	1	Kehribar		
	1	Kehribar		
	1	Kırmızı		
	1	Yeşil		
	1	Mavi		
	1	Yeşil	Altın	
	1	Kırmızı		

Şekil 25'te söz konusu çalışma için alınan örneklerden gümüş yaprak korozyonuna ait SEM ve XRD sonuçları verilmiştir.

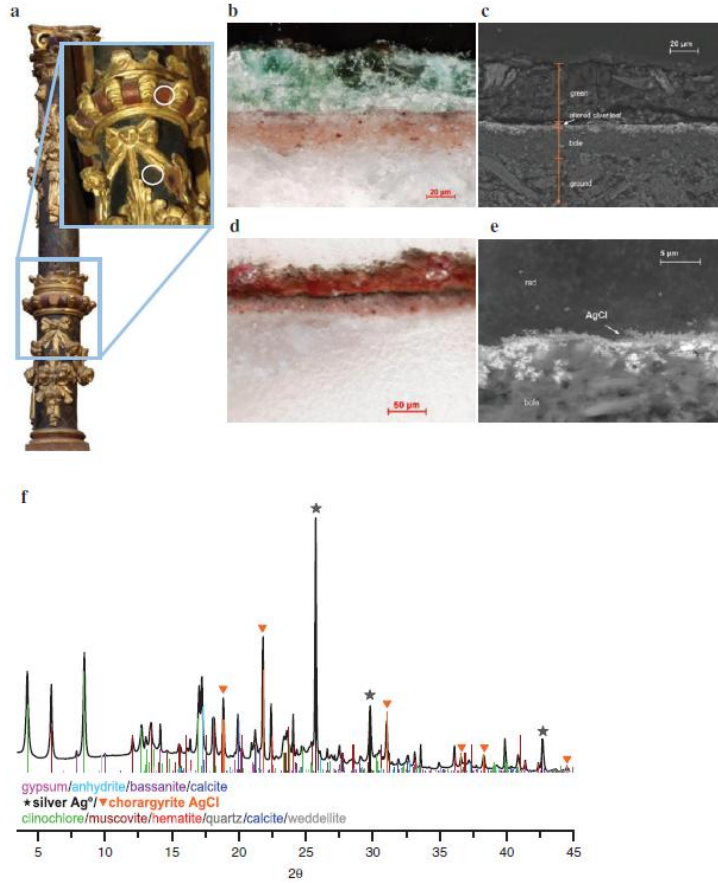


Şekil 25. Bu çalışmada alınan örneklerin SEM ve XRD sonuçları [50].

mükemmel örnekleridir. Kullanılan malzemelerin köken ve doğası ile ilgili tarihsel ve korunan bakış açıları ile ilgili bilgiler, lüsterlerin ortaya çıkması ve bunların reaktivitesi ve yaşlanması tartışılmaktadır. Tortosa katedralinde 30 adet örnek alınmıştır. Tablo 16’da bu malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Şekil 26’da ise gümüşleme üzerinde renkli saydam camlar ve onlara ait analiz sonuçları gösterilmiştir.

17. yüzyılın son çeyreğinden ve Tortosa Katedralinden 18. yüzyıla uzanan bir dizi Barok sunaktan parlaklık ve gümüş parlaklığı incelenmiştir. Sınırlı nüfuz edilebilirlik düşünülmüş ve bunun için sunaklardan seçilmiş mikron boyutunda örnekler seçilmiştir. Örneklerin orijinal tabakalı mikro-yapısını değiştirmeden analizi mümkün kılan mikro-analitik teknikler kümesinin bir araya getirilmesi stratejisi, kullanılan orijinal malzemeler, bunların arasındaki ve farklı katmanlar arasındaki tepkimeler (metalik sırlar) hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır.



Şekil 26. Gümüşleme üzerinde renkli saydam camlar ve analiz sonuçları [50].

4. Sonuç

Estetik görünülerinden dolayı albenisi çok yüksek sırlardan biri olan lüster grubu yüzyıllardan beri insanoğlunun yaşam kalitesine katkıda bulunmaktadır. Gerek sanatsal gerekse işlevsel anlamda günümüzün çok tercih edilen sırlarındandırlar. Hem sanatsal dokunuşlar hem modern yaklaşımlar hem de arkeolojik çalışmalarıyla sanat ve bilim insanların önem verdiği konular arasında da yer almaya devam edecektir.

Kaynakça

- [1] Kreibitz M., Vollmer U., "Optical properties of metal clusters", 1995.
- [2] Pradell T., Molera J., Smith A. D. and Tite M. S., "The invention of lustre: Iraq 9th and 10th centuries AD", J. Archaeol. Sci., 2008, 35, 5:1201–1215.
- [3] Carboni S., "Glass from Islamic lands, Thames & Hudson in association with the al-Sabah Collection, Dar al-Athar al-Islamiyyah", Kuwait National Museum. London, UK, 2001.
- [4] Caiger Smith A. C., "Lustre pottery", New Amsterdam Books, New York, 1991.
- [5] Pradell T., Molera J., Roque J., Vendrell-Saz M., Smith A. D., Pantos E. and Crespo D., "Ionic-exchange mechanism in the formation of medieval lustre decorations," J. Am. Ceram. Soc., 2005, 88, 5:1281–1289.
- [6] Climent-Font A., "Commentary: Lustre ceramics: A 9th century AD nanotechnology", J. Nanophotonics, 2012, 6, 1: 060303.
- [7] Mason R. B., "Shine like the sun. Lustre-painted and associated pottery from the Medieval Middle East, Bibliotheca Iranica: Islamic Art and Architecture Series", 12. Mazda Publishers, Inc., Costa Mesa Canada. Molera, 2004.

- [8] Martinon–Torres T. R. M., Ed., "Archaeology, history and science", Left Coast Press, 2008.
- [9] <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/450933> (Erişim Tarihi: 07.07.2018) .
- [10] <https://www.dia.org/art/collection/object/luster-painted-armorial-plate-49210> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [11] <http://www.fitzmuseum.cam.ac.uk/research/lustreware> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [12] <http://www.discoverislamicart.org/> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [13] <https://ah.atec.io/tag/luster-painting/> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [14] <https://depts.washington.edu/silkroad/museums/mik/miklaterislam.html> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [15] <https://www.brooklynmuseum.org/opencollection/objects/125958> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [16] <http://www.masterart.com/> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [17] <http://jameelcentre.ashmolean.org/collection/4/837/861> (Erişim Tarihi: 07.07.2018) .
- [18] <https://artsandculture.google.com/asset/dish-design-of-flower-in-luster-paint-hispano-moresque/FQHTEOWHcKouLg> (Erişim Tarihi: 07.07.2018) .
- [19] <https://artsandculture.google.com/asset/bowl-design-of-a-rabbit-in-luster-paint-hispano-moresque/2gHVk0dx71el0A> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [20] Italian Maiolica catalogue of the collections The J. Paul Getty Museum (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [21] <http://love2fly.iberia.com/2014/05/talavera-pottery-spain-mexico/> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [22] <http://www.clevelandart.org/art/> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [23] <http://www.anaviangallery.com/servlet/q.QDisplayItemDetail?in=5736> (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [24] http://www.artic.edu/aic/collections/artwork/25376?search_no=9&index=17 (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [25] "https://global.britannica.com/media/full/295642/36387 (Erişim Tarihi: 07.07.2018).
- [25] Pérez–Arantegui J., Molera J., Larrea A., T. Pradell T and Vendrell–Saz M., "Luster pottery from the thirteenth century to the sixteenth century: A nanostructured thin metallic film", *J. American Ceram. Soc.*, 2001, 84, 2: 442–446.
- [27] Borgia I., Brunetti B., Mariani I., Sgamellotti A., Cariati F., Fermo P., Mellini, M., Viti C. and Padeletti G., "Heterogeneous distribution of metal nanocrystals in glazes of historical pottery", *Appl. Surf. Sci.*, 2002, 185, 3–4: 206–216.
- [28] Padovani S., Sada C., Mazzoldi, P., Brunetti B., Giulivi A., D’Acapito F. and Battaglin G., "Copper in glazes of Renaissance luster pottery: Nanoparticles, ions, and local environment", *J. Appl. Phys.*, 2003, 93, 12: 10058–10063.
- [29] Fredrickx P., Hélarý D., Schryvers D. and Darque–Ceretti E., "A TEM study of nanoparticles in lustre glazes", *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process*, 2004, 79, 2: 283–288.
- [30] Pradell T., Molera J., Vendrell M., Pérez–Arantegui J., Pantos E., Roberts M. and DiMichiel M., "Role of cinnabar in luster production", *J. Am. Ceram. Soc.*, 2004, 87, 6: 1018–1023.
- [31] Darque–Ceretti E., Hélarý D., Bouquillon A. and Aucouturier M., "Gold like lustre: Nanometric surface treatment for decoration of glazed ceramics in ancient Islam, Moresque Spain and Renaissance Italy", *Surf. Eng.*, 2005, 21, 5–6: 352–358.
- [32] Pradell T. Molera J., Bayés C. and Roura P., "Luster decoration of ceramics: Mechanisms of metallic luster formation", *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process*, 2006, 83, 2: 203–208.
- [33] del Rio, A. P., Castaing J. and Aucouturier M., "Metallic nano–particles in lustre glazed ceramics from the 15th century in Seville studied by PIXE and RBS", *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, 2006, 249, 1–2 SPEC. ISS.: 596–600.
- [34] Roqué J., Molera J., Sciau P., Pantos E. and Vendrell–Saz M., "Copper and silver

- nanocrystals in lustre lead glazes: Development and optical properties”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2006, 26, 16: 3813–3824.
- [35] Molera J., Bayés C., Roura P., Crespo D. and Pradell T., “Key parameters in the production of medieval luster colors and shines”, *J. Am. Ceram. Soc.*, 2007, 90, 7: 2245–2254.
- [36] Roqué J., Molera J., Pérez–Arantegui J., Calabuig C., Portillo J. and Vendrell–Saz M., “Lustre colour and shine from the Ollerías Xiques workshop in Paterna (Spain), 13th century ad: Nanostructure, chemical composition and annealing conditions”, *Archaeometry*, 2007, 49, 3: 511–528.
- [37] Pradell T., Climent–Font A., Molera J., Zucchiatti A., Ynsa M. D., Roura P. and Crespo D., “Metallic and nonmetallic shine in luster: An elastic ion backscattering study”, *J. Appl. Phys.*, 2007, 101: 10.
- [38] Pradell T., Molera J., Smith A. D. and Tite M. S., “Early Islamic lustre from Egypt, Syria and Iran (10th to 13th century AD)”, *J. Archaeol. Sci.*, 2008, 35, 9: 2649–2662.
- [39] Pradell T., Molera J., Smith A. D., Climent–Font A. and Tite M. S., “Technology of Islamic lustre”, *J. Cult. Herit.*, 2008, 9, SUPPL.: e123–e128.
- [40] Siligardi C., Montecchi M., Montorsi M. and Pasquali L., “Ceria–containing frit for luster in modern ceramic glaze”, *J. Am. Ceram. Soc.*, 2010, 93, 9: 2545–2550.
- [41] Gutierrez P. C., Pradell T., Molera J., Smith A. D., Climent–Font A. and Tite M. S., “Color and golden shine of silver Islamic luster”, *J. Am. Ceram. Soc.*, 2010, 93, 8: 2320–2328.
- [42] Mestre S., Chiva C., Palacios M. D. and Amorós J. L., “Development of a yellow ceramic pigment based on silver nanoparticles”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2012, 32, 11: 2825–2830.
- [43] Gualtieri A. F., Canovi L., Viani A., Bertocchi P., Corradini C., Gualtieri M. L., Gazzadi G. C., Zapparoli M. and Berthier S., “Mechanism of lustre formation in scheelite–based glazes”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2013, 33, 11: 2055–2064.
- [44] Molina G., Tite M. S., Molera J., Climent–Font A. and Pradell T., “Technology of production of polychrome lustre”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2014, 34, 10: 2563–2574.
- [45] Razavi F., Rashidi M. and Mahdi H., “Production of luster glaze on opal tableware using Zarinfam technique and characterization of its structure and color”, *Appl. Phys. A*, 2016, 122, 5: 1–8.
- [46] Sarıgüzel M., Öztürk Y. and Günay E., “Studying the effect of different glaze compositions on the formation and properties of silver and copper nanoparticles in lustre decoration”, *Journal of the Australian Ceramic Society*, April 2017, 53, 1: 21–28.
- [47] Ownby M. F., Giomi E. and Williams G., “Glazed ware from here and there: Petrographic analysis of the technological transfer of glazing knowledge”, *J. Archaeol. Sci. Reports*, 2017, 16: 616–626.
- [48] Pekkan K., Başkırkan H. and Çakı M., “Development of gold–bronze metallic glazes in a clay–based system for stoneware bodies”, *Ceram. Int.*, 2018, 44, 5: 4789–4794.
- [49] Aftabi A. and Atapour H. “A new record of silica–rich coating on carbonate substrates in southeast–central Iran: Constraints on geochemical signatures”, *Sedimentary Geology*, 2018, 372: 64–74.
- [50] Salvadó N., Butí S., Clemente C., Beltran V., Cinque G., Juanhuix J. and Pradell T., “Microanalytical study of luster glazed gilding and silvering from Baroque altarpieces”, *Pure Appl Chem.*, 2017, 90, 3: 477–492.