

P-XRF'İN KÜLTÜREL MİRAS ESERLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARDA KULLANIMI

USE OF P-XRF ON THE STUDIES OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

Gülsu Şimşek*

Öz

Kültürel miras eserlerinde yapılacak bilimsel çalışmalar, incelenen eserin üretim yerini ve orijinal olup olmadığını tespit ederken, üretildiği dönemin teknolojisinin de öğrenilmesini sağlar. Öte yandan, restorasyon ve konservasyon işlemleri için, uygun malzeme ve uygun yöntem seçimine yardımcı olur. Günümüzde bazı tahribatlı yöntemlerin (Raman spektroskopisi, X-ışınları floresans spektroskopisi) tahribatsız modelleri, yerinde analizlere imkan tanıdığından, kazı alanlarında, müzelerde ve özel koleksiyonlarda sanat eserleri üzerine yapılan arkeometrik çalışmaların günden güne artmasını sağlamışlardır. Bu çalışmada, tarafımdan Limoges üretimi tabaklar taşınabilir X-ışınları floresans spektrometresi (p-XRF) ile analiz edilmiş, orijinal ve restore edilen bölgelerdeki sarı renkli dekorun birbirleri arasındaki malzeme farklılığı ortaya konmuştur. Restoratör, orijinal dekordan çok farklı bir bileşimle, orijinaline yakın bir tonda sarı rengi elde edebilmiştir. Ancak, görsel olarak açık ve koyu ton farklılıkları gözlemlenmektedir. Restorasyon öncesi yapılacak malzeme analizleri, restorasyonun estetiksel ve fiziksel olarak kalıcı olmasını sağlarlar.

Anahtar Kelimeler: Arkeometri, Taşınabilir XRF, Limoges, Kültürel Miras.

Abstract

The scientific studies, which are carried out on the cultural heritage items, identify the provenance and authenticity of the studied artifacts as well as shedding some light on the technology of production period. Besides, the studies lead to choosing both the appropriate materials and techniques for the restoration and conservation treatments. Nowadays, non-destructive models of some destructive techniques (Raman spectroscopy, X-rays fluorescence spectroscopy) by on-site measurements, due to it renders to possible, increased studying the number of archaeometric works on the cultural heritage artifacts, in the excavation sites, museums, and private collections. In this study, I analysed two porcelain plates of Limoges production with a portable X-rays fluorescence (p-XRF) instrument revealing the compositional differences between the yellow coloured places are intact and renovated adornments. The restorator was able to obtain a very similar hued yellow colour by a very different composition from the original decor. Notwithstanding, visually, light and dark shade differences are apparent. Material analysis to be performed before renovation ensure the restoration to be aesthetically and physically permanent and sustained.

Keywords: Archaeometry, Portable XRF, Limoges, Cultural Heritage.

Başvuru tarihi: 25 Eylül 2018 – Kabul tarihi: 12.19.2018.

* Doktor, Koç Üniversitesi, KUYTAM, gusimsek@ku.edu.tr

1. Giriş

Geçmiş aydınlatmak geleceğe ışık tutmaktır. Kültürel miras, teknolojsi ve sanatıyla toplumları yarınlara taşıyacak olan bir araçtır. Eski eserlerin, bilimsel yöntemleri kullanarak kimyasal ve fiziksel olarak tanımlanması, korozyon ürünlerinin, üretim yönteminin ve koruma yöntemlerinin etkinliğinin tespiti, arkeometrik çalışmaların içeriğini oluşturur. Arkeometri, resmi olmayan bir dille *bilim ile sanatın dansı* olarak nitelendirilebilir. Fen ve doğa bilimlerinin, sanat tarihi ve arkeoloji alanlarında uygulanmaya başlaması 18. yüzyılda İtalya'da yapılan çalışmalara dayanır. İlk araştırmalar Kral 3. George'un hizmetinde çalışan ayar memuru Alchorn tarafından yapılmıştır. Araştırma konusu Bronz Çağı'na ait İrlanda kılıçlarıdır (Hancock, 2000:11). Ünlü kimyager Martin Klaproth ise Roma camları ve bronz aynaları üzerinde kimyasal analizler yapmış ve sonuçlarını 1798 yılında basılan kitabında yayınlamıştır (Hancock, 2000:11). Akabinde, Michael Faraday (1791-1867) ve Humphrey Davy (1778-1829) arkeolojik malzemelerin incelenmesinde çeşitli bilimsel yöntemler kullanmışlar ve *Mısır mavisini* ile kırmızı boyalar üzerinde kimyasal analizler yapmışlardır (Henderson, 2000). Bu alanda araştırma yapmak üzere ilk kez 1888 yılında Berlin' de *Königliche* Laboratuvarı kurulmuştur. İngiliz Ulusal Müzesi *British Museum* ilk bilim adamını, 1920 yılında, savaş zamanı yer altında bulunan objelerin bozunması konusunda araştırma yapmak üzere işe almıştır. Arkeometri alanındaki bilimsel araştırmalar, bir malzemenin korozyona uğrama mekanizmasını anlamının yanı sıra, üretim yerini ve yöntemini tespit etmek açısından da son derece önemlidir (Ambers ve Freestone, 2005:3).

Bu çalışmada, öncelikle p-XRF'in kültürel miras eserleri üzerine yapılan çalışmalardaki kullanımına dair bilgiler verilecektir. Ardından, p-XRF cihazı ile yaklaşık 30 yıl kadar önce kırık parça tamiri yapılarak restore edilen Limoges tabaklarının dekorunda bulunan sarı renk üzerine yaptığım elementer analizler aktarılacaktır.

2. p-XRF Yönteminin Eski Eserlerin Karakterizasyonunda Kullanımı

Kültürel miras eserlerinin bilimsel yöntemlerle incelenmesinde iki farklı yol izlenir: 1- Etütlük örnek alınabilecek ise laboratuvarda tahribatlı yöntemler ile yapılacak karakterizasyon çalışmaları, 2- Etütlük örnek alınmaya uygun olmayan ve eserin laboratuvar ortamına taşınamayacağı durumlarda tahribatsız ve taşınabilir yöntemler ile yapılan karakterizasyon çalışmaları (Şimşek, 2005, 2011).

Laboratuvar ortamında yapılacak çalışmalar, morfoloji testleri ile başlar ve malzeme testleriyle devam eder. Morfoloji testlerinde, optik mikroskop, stereo mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi analiz üniteleri kullanılır. Malzeme testlerinde ise, kimyasal bileşimi tespit etmek için SEM cihazına bağlı Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS), WD-XRF (Dalga boyu ayırmalı- X-Işınları spektroskopisi), EPMA (Elektron Mikroprop Analizi), AAS (Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi), ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektroskopisi) gibi yöntemler kullanılır. Malzemede bulunan mineral fazlarının ve/veya korozyon ürünlerinin tayini ise XRD (X-Işınları difraksiyonu) ve Raman spektroskopisi ile yapılır. Genel geçer yöntemlerin dışında, kültürel mirasa ait etütlük örneklerde derinlemesine tanılar için daha sofistike tekniklerden (Auger Elektron Spektroskopisi-AES, X-Işınları Foto Elektron Spektroskopisi-XPS, Parçacık Tesirli X-Işınları Emisyonu-PIXE, İkincil İyon Kütle Spektrometresi-SIMS, Geçirimli Elektron Mikroskopisi-TEM, vb.) yararlanır (Şimşek, 2005). Tüm bu tekniklerin tahribatlı olmaları nedeniyle, incelenebilecek arkeolojik örneklerin sayısı oldukça azdır. Bu nedenle, tahribatsız yöntemler son yıllarda önemini daha da arttırmıştır.

Taşınabilir X-Işınları spektroskopisi (p-XRF), yerinde analizlere imkan vermesi, tahribatsız olması ve hızlı ölçüm yapabilmesi nedeniyle kazı alanlarında, müzelerde ve özel koleksiyonlarda objelerin kimyasal bileşimini tespit etmek üzere kullanılan bir tekniktir (Simsek vd., 2014). Kalitatif bir yöntem olan p-XRF' in, incelenecek örneklere benzer uygun standartlar üzerinden kalibrasyonu

yapılarak, semi-kantitatif olarak sonuç vermesi sağlanabilir (Simsek vd., 2019). Bu nedenle, bazı firmaların p-XRF cihazları her bir elementin pik şiddet değerini verirken, bazıları da elementin kütleli yüzde miktarını verebilmektedir (Simsek vd., 2014, 2015, 2019). Kalitatif incelemelerde, objelerin kimyasal bileşiminde bulunan elementlerin birbirlerine oranlarından saçılım grafikleri (*scatter plots*) oluşturularak istatistiksel bir çalışma yapılması mümkün hale gelir (Simsek vd., 2014, 2015). p-XRF yöntemiyle, bronz, sikke, madalyon gibi metal eserler, resim, el yazması, obsidiyen, cam, sırlı seramik, arkeolojik sedimentler, ağır metal pestisitleri gibi çok çeşitli malzemeler incelenebilir (Shugar ve Mass, 2012). Eski eserlerin homojen malzemeler olmaması nedeniyle, ölçümler en az üç farklı bölgeden alınmalıdır. Bunun nedeni, yüzeye çarpan X-ışınları, incelenen malzemenin matris yapısına bağlı olarak, birkaç mikrondan yaklaşık 1 mm'ye kadar bir etkileşim oylumu oluştururlar. Her bir elementin girim derinliği (*penetration depth*) farklı olduğundan, sırlı seramik ve resim gibi çok katmanlı malzemelerde tek bir ölçüm yanlış sonuçlar alınmasına neden olabilir (Simsek vd., 2015). Bu yüzden, birkaç farklı noktadan ölçüm alınmalıdır. p-XRF cihazı ile periyodik tabloda yer alan magnezyum ($Z=12$) ve üzeri diğer elementler okunurken (Simsek, 2019), WD-XRF cihazı ile atom numarası 5 olan boron elementine kadar tespit yapılabilmektedir (Seyfarth, 2008). Yerinde yapılan ölçümlerde, normal atmosferik koşulların yanı sıra vakum pompası da kullanılarak, düşük atom numaralı elementlerin (Mg, Al, Si, K, Ca) daha hassas olarak okunması sağlanabilir (Simsek vd., 2014). p-XRF, tamamlayıcı bir karakterizasyon yöntemidir. Tahribatsız bir yöntem olan Raman spektroskopisi ile birlikte kullanılması, yapılan karakterizasyon çalışmasının başarısını artırır. Özellikle, pigment çalışmaları sırasında sadece XRF yönteminin kullanımı bize pigmentin ne olduğunu söyleyemez, ancak içeriği hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Örneğin, mavi renkte kullanılan bileşiklerden bazıları kobalt içerir. XRF ile sadece kobalt varlığı tespit edilebilirken, Raman spektroskopisi ile, kobalt mavisine ($CoAl_2O_4$) ait karakteristik pikler saptanır (Kock vd., 2007). Diğer bir örnekte ise, seramiklerin bünyesini oluşturan kilde yer alan titanyum p-XRF ile

tespit edilebilirken, Raman ile titanyum içerikli fazın tespiti (anataz veya rutil) sağlanır ve böylece incelenen seramiğin yaklaşık pişme sıcaklığı hakkında bilgi sahibi oluruz (Colomban, 2005). Bu nedenle, eğer mümkünse *in-situ* (yerinde) ölçümlerde p-XRF ve Raman spektroskopisi birlikte kullanılmalıdır.

3. Örnek Vaka İncelemesi

Kültürel miras eserleri üzerinde yapılacak çalışmalar, incelenen objenin bilimsel olarak tanımlanmasının yanı sıra, yapılacak veya yapılmış olan restorasyon ve konservasyon işlemlerine de ışık tutacaktır. Kimyasal bileşim tespiti sonucunda restorasyonda kullanılmak üzere seçilen malzemeler, yapılan işlemin kalıcı olmasını sağlarlar. Görsel 1'de, yaklaşık otuz sene önce restore edilen Limoges (Fransa) porselen fabrikasında üretilmiş, 1565 envanter kodlu iki tabak yer almaktadır. Tabaklardan biri kırıldığı için, dekor rengine uygun olarak bir restoratör tarafından onarılmıştır. p-XRF cihazı ile, sonradan onarılan ve orijinal sarı renk üzerinden kimyasal bileşimini tespit etmek üzere ölçümler aldım. Bu ölçümler, tarafımdan el tipi Hitachi X-MET 8000 Expert GEO (Oxford Instruments) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaza entegre kamera sayesinde, ölçümünü yapacağım bölgelerin fotoğrafını çektim (Görsel 2). Her ölçümde, 10.7 mm x 9.4 mm'lik alan taranmıştır. Analiz süresi, 30 saniyedir. Düşük atom numarasına sahip elementlerin tespiti için (Mg, Al, Si, P, S, K, Ca) 10 keV'lik düşük enerji, yüksek atom numarasına sahip elementlerin (Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Pb) saptanması için ise 40 keV yüksek enerji uygulanmıştır. Sarı renge ait hem orijinal hem de restore edilen bölgeden alınan ölçümler, cihazın kalibrasyon metotlarından *Mining LE*e göre hesaplanmış ve Tablo 1'de yüzde ağırlık cinsinden verilmiştir.

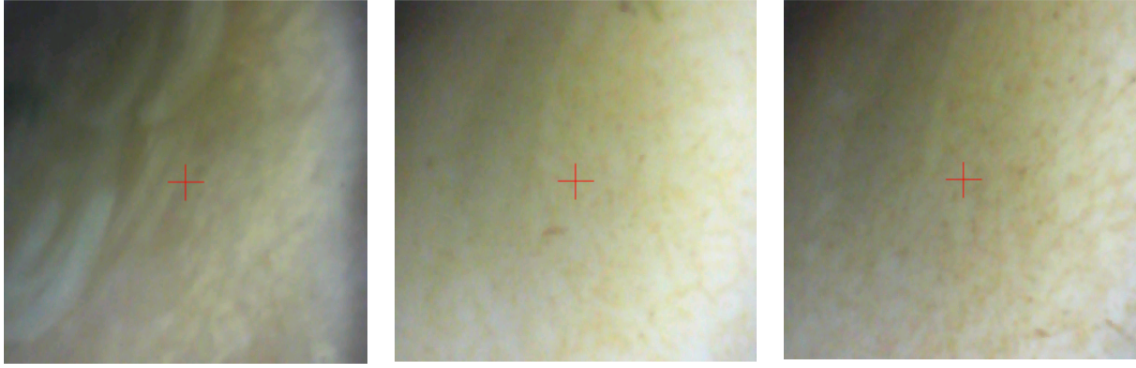


Görsel 1. Bu çalışmada p-XRF cihazı ile incelediğim Limoges porselen tabakları
(Envanter kodu 1565, özel koleksiyon)

1664 yılında Limoges'da doğan ve Çin'in Jingdezhen bölgesinde seramik üretimi üzerine eğitim alan misyoner François Xavier d'Entrecolles, 1712 yılında Çin porseleninin üretim ve bileşim sırlarını keşfeder. Avrupa'ya gönderdiği mektubunda, Çin porselen hamurunun beyazlığının, kaolinden kaynaklandığını yazmaktadır (Burton, 1906). Kaolinin, Meissen porselen fabrikasının yakınlarında Saxony bölgesinde keşfedilmesiyle, ilk olarak Almanya'da, Ehrenfried Walther von Tschirnhaus ve Johann Friedrich Böttger tarafından sert hamurlu porselen (*hard-paste porcelain*) üretimi başlamış ve Avrupa'nın çeşitli bölgelerinde üretim devam etmiştir (Simsek vd., 2014). Limoges porseleni ise, kaolinin Limoges'a yakın bir bölgede bulunmasından hemen sonra, 1765-1770 tarihleri arasında üreilmeye başlamıştır. Sıcaklığa ve bileşime bağlı olarak, hamurun ana hammaddesini oluşturan kaolin ve çin taşı (*cishi*) 1000°C'nin altında pişirildiğinde keramik (*earthenware*), 1000-1300°C arasında proto-porselen (veya *stoneware*), 1300°C'nin üzerinde pişirildiğinde ise porselen meydana gelir (Finlay, 2010).

17. yüzyıla ait Limoges üretimi boyalı minelerde yapılan analitik çalışmalarda (Kırmızı vd., 2010), mine boyasının kimyasal bileşiminde % 55-73 SiO₂, % 3 CaO, % 5-8 K₂O, % 5-10 Na₂O ve yok denecek kadar az PbO olduğu görülmüştür. p-XRF ile yapılan ölçümlerde sodyum (Na) saptanamadığından,

bunun için laboratuvar ortamında kimyasal bileşim tespiti yapabilen cihazlar (Dalga boyu dağılım - X-ışınları flüoresansı (WD-XRF), taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılım spektrometresi (SEM-EDS) gibi) kullanılmalıdır. Ancak, diğer elementlerin tespiti, incelenen örneklerin tanımlanabilmesi için yeterlidir. Minede kullanılan boyar maddeler, sırda veya sır altı dekorda kullanılan boyar maddeler ile aynı bileşimde olduklarından karşılaştırma yapmak mümkündür. Tablo 1’de görüldüğü üzere, Limoges üretimi orijinal sarı renk mine boyalarıyla benzer bileşimdedir.



Görsel 2. P-XRF ile ölçüm alınan noktalar, *solda* restore edilen sarı renk (Görsel 1 soldaki tabak), *ortada* orijinal sarı renk (Görsel 1, soldaki tabak), *sağda* orijinal sarı renk (Görsel 1, sağdaki tabak)

Tablo 1. Orijinal ve restore edilmiş sarı dekorun p-XRF ile kaydedilen ölçüm sonuçları

Sarı dekor	Mg 0	Al ₂ O 3	SiO ₂	K ₂ 0	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O 3	MnO	Fe 0	Pb 0	SnO 2	Sb 2O ₃
Sol tabak (Restore)	0	0	30.7 4	5.3 5	13.7 2	21.1 7	0.70	0.31	4.7 2	6.4 3	0.1 5	0.2 6
Sol tabak (Orijinal)	2.1 6	9.10	66.4 2	3.3 5	5.31	0.92	0.15	0.05	1.0 0	3.2 9	0.0 9	0.0 8
Sağ tabak (Orijinal)	1.4 2	10.5 3	68.4 9	2.7 9	6.71	0.65	0.21	0.05	0.9 6	1.1 0	0.0 3	0.0 3

Restore edilen sarı renkten alınan ölçümlerle, orijinal bölgelerin bileşimleri karşılaştırıldığında, son derece farklı oldukları anlaşılmaktadır. Karışımdaki kuvars miktarı (% ağı. 30.7) oldukça düşerken kalsiyum oksit (% ağı. 13.7) ve potasyum oksit (% ağı. 5.3) miktarları artmıştır. Öte yandan, orijinal Limoges'da kilden gelen alüminyum oksit ve magnezyum oksit bulunurken, restorasyonda kullanılan karışımda yer almamaktadır. Restorasyonu yapan sanatçı, sarı rengi titanyum dioksit ile hazırlamıştır. Titanyum dioksit (TiO_2), içerdiği demir oksidin az veya çok olmasına bağlı olarak (%1 - %12) sıra sarı bir renk verir. Diğer bir özelliği ise, sıırı kalay oksit gibi örtmesidir. Ortalama %8 - %10 miktarında sıra katıldığında, güzel, mat bir görünüm oluşur (İşman, 1972). Sanatçı, sarı rengi restore ederken, %ağı. 21.17 titanyum dioksit kullanmıştır. Bu renk, TiO_2 ancak demir ihtiva ettiğinde oluşur. Bu nedenle, restore edilen sarı renkte demir (% ağı. 4.72 FeO) de tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Kültürel miras eserlerinin karakterizasyon çalışmaları, eserin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlanması, menşenin tespiti dışında, restorasyon ve konservasyon çalışmalarında kullanılması gereken teknikleri, uygulanacak malzemeleri saptaması açısından da son derece önemlidir. 18. yüzyıldan itibaren, tahribatlı yöntemlerin kullanımıyla başlayan uluslararası araştırmalar, son yüzyılda tahribatsız ve yerinde (*in situ*) ölçüm yapabilen cihazların da geliştirilmesiyle artmıştır. Bu sayede, kazı alanlarında, müzelerde ve özel koleksiyonlarda, malzeme tespiti esere herhangi bir zarar vermeden yapılabilmektedir. Tahribatsız yöntem olarak kullanılan pXRF tamamlayıcı bir teknik olarak eserin kimyasal bileşimi hakkında arkeologlara, sanat tarihçilerine, eser sahiplerine bilgi verir. Bu çalışmada, restore edilmiş Limoges tabağının orijinal ve restore edilen sarı renkli dekoru p-XRF cihazı ile incelenmiş ve görsel olarak benzer tonlar kullanılmasına rağmen bileşim olarak birbirlerinden çok farklı oldukları görülmüştür. Sanatçının sahip olduğu teknolojik olanakları, restorasyonda uygulayabileceği işlemleri büyük ölçüde etkileyecektir. Ancak, restorasyon işlemi öncesi, böyle bir

karakterizasyon çalışması yapılabilseydi, restorasyonda kullanacağı malzemeler yine aynı olurdu sorusu restoratöre sorulmalıdır.

Bu çalışmanın devamı olarak, ileride, p-XRF ölçümlerini destekleyici taşınabilir Raman spektroskopisi ile sarı rengi oluşturan pigment karışımları, içeriğinde bulunan demirin hangi fazda olduğu, titanyum ve demirin toprak sarısından mı geldiği gibi bilgilere cevap aranacaktır.

Kaynakça

- Ambers, J. ve Freestone, I. C. (2005). "Introduction", *The Raman Spectroscopy in Archaeology and Art History*, ed. Howell G. M. Edwards ve John M. Chalmers, Cambridge: The Royal Society of Chemistry Publications, s. 3-15.
- Burton, W. (1906). *Porcelain, Its Nature, Art and Manufacture*, London: B. T. Batsford.
- Finlay, R. (2010). *The Pilgrim Art Cultures of Porcelain in World History*, USA: University of California Press.
- Colomban, P. (2005). "Case study: Glasses, glazes and ceramics – Recognition of ancient technology from the Raman spectra", *The Raman Spectroscopy in Archaeology and Art History*, ed. Howell G. M. Edwards ve John M. Chalmers, Cambridge: The Royal Society of Chemistry Publications, s. 192-205.
- Hancock, R. G. V. (2000). "Elemental analysis", *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology* içinde, ed. Enrico Ciliberto ve Giuseppe Spoto, USA: John Wiley & Sons, Inc, s. 11-19.
- Henderson, J. (2000). *The Science and Archaeology of Materials*, London and New York: Routledge, Taylor and Francis Group.
- Howell, G. M. ve Chalmers, J. M. (2005). "Practical Raman Spectroscopy and Complementary Techniques", *The Raman Spectroscopy in Archaeology and Art History*, ed. Howell G. M. Edwards ve John M. Chalmers, Cambridge: The Royal Society of Chemistry Publications, s. 41-67.
- İşman, F. (1972). *Seramik Teknolojisi: Sır, Seramik Boyaları ve Seramik Dekorasyon Teknikleri*, 1. Basım, İstanbul: D. T. G. S. Y. O. Grafik Sanatları Bölümü.
- Kırmızı, B., Colomban, Ph. ve Blanc, M. (2010). "On-site analysis of Limoges enamels from sixteenth to nineteenth centuries: an attempt to differentiate between genuine artefacts and copies", *Journal of Raman Spectroscopy*, Sayı 41, s. 1240-1247.

- Kock, L. D. ve Waal, D. D. (2007). "Raman studies of the underglaze blue pigment on ceramic artefacts of the Ming dynasty and of unknown origins", Sayı 38, s. 1480-1487.
- Moens, L., Bohlen, A. V. ve Vandenaabeele, P. (2000). "X-ray fluorescence", *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, ed. Enrico Ciliberto ve Giuseppe Spoto, USA: John Wiley & Sons, Inc, s. 55-77.
- Seyfarth, A. (2008). "Boron in glass determination using WDXRF", *Advances in X-ray Analysis*, Sayı 51, s. 269-274.
- Shugar, A. N. ve Mass J. L. (2012). *Handheld XRF for Art and Archaeology*, Studies in Archaeological Sciences 3, Leuven University Press.
- Skoog, D. A., Holler, F. J. ve Nieman, T. A. (2000). "Raman Spektroskopisi", *Enstrümental Analiz İlkeleri*, çev. E. Kılıç, F. Köseoğlu ve H. Yılmaz, Bilim Yayıncılık.
- Spoto, G. (2000). "Molecular and structural analysis", *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, ed. Enrico Ciliberto ve Giuseppe Spoto, USA: John Wiley & Sons, Inc, s. 167-172.
- Şimsek, G. (2005). *Topkapı Sarayı Müzesi Koleksiyonuna ait Ka'be Perdelerindeki Metalik Tellerin Modern Yüzey Analiz Teknikleriyle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Şimsek, G. (2011). *Alkali ve Kurşun Alkali Sırların Yapısının Raman Spektroskopisi ile Karakterizasyonu*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Şimsek, G., Casadio, F., Colomban, Ph., Bellot-Gurlet, L., Faber, K. T., Zelleke, G., Milande, V. ve Moinet, E. (2014). "On-site identification of early Böttger red stoneware made at Meissen using portable XRF: 1, Body analysis", *Journal of American Ceramic Society*, Sayı 97(9), s. 2745-2754.
- Şimsek, G., Colomban, P., Wong, S., Zhao, B., Rougeulle, A. ve Liem N. Q. (2015). "Toward a fast non-destructive identification of pottery: The sourcing of 14th-16th century Vietnamese and Chinese ceramic shards", *Journal of Cultural Heritage*, Sayı 16, s. 159-172.
- Şimsek, G., Unsalan, O., Bayraktar, K. and Colomban, P. (2019). "On-site pXRF analysis of glaze composition and colouring agents of 'Iznik' tiles at Edirne mosques (15th and 16th-centuries)", *Ceramics International*, Sayı 45, s. 595-605.
- Vandenaabeele, P. ve Edwards, H. G. M. (2005). "Overview: Raman spectroscopy of artefacts", *The Raman Spectroscopy in Archaeology and Art History*, ed. Howell G. M. Edwards ve John M. Chalmers, Cambridge: The Royal Society of Chemistry Publications, s. 169-176.
- Young, S. M. M. ve Pollard, A. M. (2000). "Atomic spectroscopy and spectrometry", *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, ed. Enrico Ciliberto ve Giuseppe Spoto, USA: John Wiley & Sons, Inc, s. 21-46.