

Mozaik Araştırmalarında Kullanılan Arkeometrik Yöntemler ve Örnekleri

Archaeometric Methods and Their Usage in Mosaic Research with Examples

Mahmut AYDIN*

(Received 08 September 2022, accepted after revision 03 August 2023)

Öz

Günümüzde mozaiklerden elde edilecek bilgi sadece motiflerin görsel olarak incelemelerinden ibaret değildir. Tahribatsız ve tahribatlı arkeometrik yöntemler kullanılarak mozaiklerden elde edilecek bilimsel bilgi en üst seviyeye çıkarılabilmektedir. Mozaiklerde kullanılacak en yaygın arkeometrik yöntemler tahribatsız olanlardır; mozaiklerde kullanılan renk sayısı ve tonları taşınabilir (Munsell katalog kodunu veren) dijital renk ölçer ile tespit edilebilmektedir. Bunun yanı sıra taşınabilir X Işını Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) ile tahribatsız bir şekilde taşları oluşturan elementler tespit edilerek tesseraların türleri belirlenebilmektedir. Cam tesseraların da kimyasal kompozisyonu ve renk vericiler belirlenebilmektedir.

Tahribatlı arkeometrik yöntemlerin kullanılması izinler ve etik açısından her zaman mümkün olmasa da bu yöntemlerden elde edilecek bilimsel bilgiler tahribatsız yöntemlere göre daha fazladır ve güvenilirdir. Mozaiklerde kullanılan harç, taş, cam ve pişmiş toprak tesseraların türlerinin ve içeriklerinin belirlenmesinde yaygın kullanılacak arkeometrik yöntemler de şunlardır; petrografik analizler, dalga dağılımlı X Işını Floresans Spektrometresi (WDXRF), Kütle Spektrometresi ve X Ray Detektörlü Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX)'dur. Bu yöntemler kullanılarak cam tesseraların kimyasal kompozisyonu, renk verici kimyasallar, üretim hataları, bozulma nedenleri ve ikincil kullanım ürünü olup olmadığı (geri dönüşüm) gibi bilgiler elde edilebilmektedir. Taş tesseralarda ise tahribatlı arkeometrik yöntemler kullanılarak taş türü ve kökeninin belirlenmesi yapılabilmektedir. Bu çalışmada yazarın mozaikler üzerinde bizzat yürüttüğü arkeometrik yöntemler ve elde ettiği sonuçlar paylaşılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mozaik, tessera, arkeometrik yöntemler, petrografik analizler P-XRF, SEM-EDX.

Abstract

Today, the scientific knowledge to be obtained from mosaics is not only a visual examination of the motifs. By using non-destructive and destructive archaeometric methods, the scientific knowledge to be obtained from mosaics can be maximized. The most common archaeometric methods that can be used in mosaics are non-destructive ones; The number and tones of colors used in mosaics can be determined with a portable digital colorimeter (which gives the munsell catalog code). In addition, with the portable X-Ray Fluorescence Spectrometer (P-EDXRF), the types of tesserae can be determined by detecting the elements that make up the stones non-destructively, while the chemical composition and colorants of the glass tesserae can be determined.

Although the use of destructive archaeometric methods is not always possible in terms of permissions and ethics, the scientific information to be obtained from these methods is more reliable than non-destructive methods. Archaeometric methods that can be widely used in determining the types and contents of mortar, stone, glass and terracotta tesserae used in mosaics are as follows; petrographic analyzes, are wavelength X-Ray Fluorescence Spectrometer (WDXRF), Mass Spectrometer, and Scanning Electron Microscope with X-Ray Detector (SEM-EDX). By using these methods, information such as the chemical composition of glass tesserae, colorant chemicals, production errors, causes of deterioration and whether it is a secondary use product (recycling) can be obtained. In stone tesserae, the type and provenance of stone can be determined by using destructive archaeometric methods. In this article, the archaeometric methods that the author personally carried out on the mosaic and the result he obtained submitted.

Keywords: Mosaic, tesserae, archaeometric methods, petrographic analysis, P-XRF, SEM-EDX.

* Mahmut Aydın, Batman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji ve Arkeometri Bölümü, Batman, Türkiye.  <https://orcid.org/0000-0003-4707-5387>. E-posta: aydinm135@gmail.com; mahmut.aydin@batman.edu.tr

1. Giriş

Bu çalışmanın amacı ülkemizde çok yaygın olmayan mozaik arkeometri konusunda hangi arkeometrik tekniklerle mozaiklerden ne tür bilimsel bilgilerin elde edilebileceği konusunda yazarın yaptığı çalışmalardan örnekler sunmak ve bu tür çalışmalarını yaygınlaştırmaktır.

Bu araştırmada, farklı yollarla ele geçen mozaiklerden geleneksel arkeolojik araştırmaların dışında arkeometrik yöntemleri kullanarak elde edilebilecek bilgiler örnek uygulamalarıyla verilmiştir. 1950'li yıllardan sonra arkeometrik tekniklerin hızla gelişmesiyle beraber arkeolojik buluntulardan elde edilebilecek bilimsel bilgiler oldukça çeşitlenmiştir. Arkeometrik teknikler kullanılarak mozaiklerin araştırılmasından elde edilebilecek bilgiler aşağıdakilerle sınırlı olmamakla beraber bazıları şunlardır;

1. Mozaikte kaç farklı renkte tessera kullanılmıştır?
2. Mozaikte kullanılan taş tessera türleri nelerdir (Noei 2022)?
3. Mozaikte kullanılan taşların kökeni neresidir?
4. Mozaikte kullanılan malzemelerin bozulma nedenleri nelerdir?
5. Mozaikte kullanılan cam tesseraların hammaddesi nedir?
6. Mozaikte kullanılan cam tesseraların renklerini sağlayan elementler hangileridir?
7. Mozaikte kullanılan harcın içeriği nedir (Noei 2021)?
8. Mozaikte kullanılan cam tesseralar geri dönüşüm ürünü müdür (Aydın 2019)?
9. Pişmiş toprak tessera içeren mozaiklerden uygun zaman ve şekilde örnekler alınarak tarihleme yapılabilir mi?

Mozaikleri oluşturan tesseralardan örnek alınıp alınamayacağına bağlı olarak kullanılabilir arkeometrik yöntemlerde değişmektedir.

2. Mozaik Araştırmasında Kullanılan Arkeometrik Yöntemler

Antik mozaiklerin araştırmasında tesseraları oluşturan renk çeşitliliği, tesseraların veya mozaik harcının karakterizasyonu ve varsa pişmiş toprak tesseraların tarihlendirilmesinde arkeometrik yöntemler kullanılmaktadır.

2.1. Tessera Renklerinin Belirlenmesi

Tessera renklerinin belirlenmesinde dijital olarak iki tür renk ölçer kullanılmaktadır. Birincisi mozaikten tessera almadan Munsell renk sistemi koduna göre renk ölçerin tesseraya dokundurulması yoluyla tesseraları tarayarak renklerinin kodunu tespit edebilen el tipi renk ölçerdir (Res. 1-2). Bu yöntemle Hatay Arkeoloji Müzesinde sergilenen Symposium mozaikinden yapılan renk ölçümlerinden mozaik oluşturulan taş tesseraların 12 farklı renk kullanılarak mozaik yapıldığı belirlenmiştir.

İkinci dijital tessera renk ölçüm tekniği ise mozaikte bulunan tesseraların yerinden alınarak taşınabilir renk ölçer ile alanda veya laboratuvarında tesseraların renk ölçerin ölçüm haznesine konulması yoluyla yapılan renk ölçümleridir (Res. 3-4). Bu yöntemde ColorQA Pro SystemIII'e göre; 0 ile 100 değerleri arasında değişen (L) değeri rengin açıklık/koyuluk değerini (siyah: 0 ve beyaz: 100), (+a) değeri renkteki kırmızı yoğunluğunu, (-a) değeri rengin yeşil yoğunluğunu, (+b) değeri rengin sarı yoğunluğunu ve (-b) değeri de rengin mavi yoğunluğunu göstermektedir (Akyol - Aydın 2016: 413-431).

Resim 1
Renk ölçümü yapılan tesseraların mozaik üzerinde ki konumu (Mahmut Aydın).



Resim 2
Munsell renk sistemi koduna göre renk analizi.

| Analiz No | Örnek No | Mozaik Adı | Renk Kodu /Mansel | Tessera Türü |
|-----------|----------|--|-------------------|--------------|
| #24C | 1 | Symposium Mozaïği, Menander Evi (Env.1020) | 5YR 4/4 | Taş Tessera |
| #26C | 2 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 10YR 7/6 | Taş Tessera |
| #27C | 3 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 5YR 6/4 | Taş Tessera |
| #28C | 4 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 2.5Y 5/2 | Taş Tessera |
| #30C | 5 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 5YR 5/4 | Taş Tessera |
| #31C | 6 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 5Y 6/1 | Taş Tessera |
| #32C | 7 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 5Y 4/1 | Çimento |
| #33C | 8 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 5 GY 5/1 | Taş Tessera |
| #36C | 9 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 5Y 6/1 | Taş Tessera |
| #37C | 10 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 5Y 6/2 | Taş Tessera |
| #39C | 11 | Symposium Mozaïği, Menander Evi | 10YR 6/4 | Taş Tessera |

Resim 3
Munsell renk sistemi koduna göre ölçüm yapan renk ölçer (Web kaynağı 1).



| Örnek kodu | L | a | b | Görünen Renk | Renk Ölçüm Fotosu |
|------------|-------|--------|-------|--------------|-------------------|
| hmm-ts3 | 12,70 | 1,72 | 2,90 | Siyah | |
| hmm-ts5 | 13,67 | 1,70 | 2,87 | Siyah | |
| hmm-ts10 | 10,18 | 1,71 | 1,40 | Siyah | |
| hmm-ts13 | 15,08 | 1,47 | 3,51 | Siyah | |
| hmm-ts19 | 6,35 | 0,001 | 1,33 | Siyah | |
| hmm-ts26 | 7,99 | 1,23 | -0,35 | Siyah | |
| hmm-ts27 | 9,30 | -0,003 | 1,56 | Siyah | |
| hmm-ts36 | 9,30 | -0,003 | 1,56 | Siyah | |
| hmm-ts22 | 12,65 | 1,67 | 1,36 | Siyah | |
| hmm-ts41 | 12,88 | 0,47 | 1,68 | Siyah | |
| hmm-ts23 | 59,42 | -0,72 | 6,90 | Beyaz | |
| hmm-ts31 | 66,15 | 1,85 | 10,58 | Beyaz | |

Resim 4
Hatay Mozaik Otel Mozaïği CIA Lab renk analiz sonuçları (Aydın - Kavşut 2021).

Her iki yöntem değerlendirildiğinde Munsell renk sistemine göre tessera renk kodunu veren yöntemin arkeolojik çalışmalar için daha uygun ve yeşil teknoloji olarak değerlendirilebilmektedir. Bunun nedeni bu yöntemin mozaïği oluşturan tesseraları yerinden sökmeyen renklerini ölçmesini sağlaması, insitu/yerinde renk ölçüm imkanı tanınması, tesseralar mozaik harç yatağından sökülme zorunda olunmadığından mozaïği oluşturan tüm tonların ölçülmesini sağlaması ve çalışma izni alınmasının tahribatsız olmasından dolayı daha kolay alınabilecek olması bu yöntemi CIA Lab renk ölçere göre daha avantajlı kılmaktadır.

2.2. Petrografik Analizler

Petrografik analizler sonucunda antik mozaïği oluşturan, kayaç, harç ve sıvaların bağlayıcı ve agrega oranları, içerdikleri agregaların türleri ve özellikleri tespit edilir. Mümkünse hammadde kaynak alanları üzerine yorumlar yapılır. Kayaçlarda ise mineral içeriği, dokusu varsa ayrışma bozulma gibi durumları belirlenir ve kayacın türü tespit edilir. Mozaiklerde; kaba harç (Rudus) ve ince harç (Nucleus) tabakalarının tanımlanması ve aynı karışım oranlarından uygulanıp uygulanmadığı da tespit edilebilmektedir (Noei 2021).

Niçin Yapılır?

Bu sayede mozaikte kullanılacak harç, taş tessera türü veya restore edilecek mozaikler için onarım malzemeleri önerisinde bulunulur.

İnce kesit Hazırlama Nasıl Yapılır?

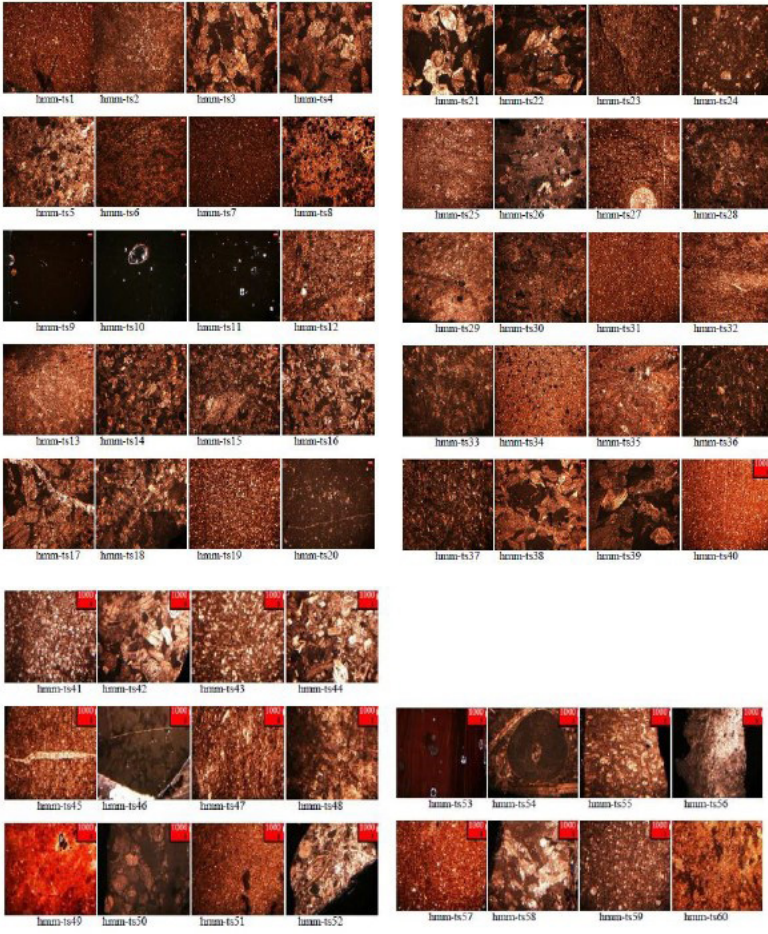
İnce kesit, lam üzerine yerleştirilmiş 0,030-0,005 mm kalınlığında ve lamel ile kapatılmış bir uygulamadır. Her örnek için bir veya birden fazla örnek hazırlanır. Örnek kesildiğinde dağılmayacak şekilde dayanıklı ise parlak ve ince kesit doğrudan hazırlanır. Taş gevrek ve kırılırsa, epoksi reçinenin tercihen vakum altında örneğe emdirilmesiyle örneğin dayanıklı hale getirilmesi sağlanır ve kesitler hazırlanır (Res. 5). Parlak kesitler veya parlatılmış ince kesitlerin bir yüzü alümina parlatma tozu (5 mikrometreden 12 mikrometreye kadar) ve elmas pasta (6 mikrometreden 1 mikrometreye kadar) ile parlatılır (Reedy 1994: 115-116).

Parlatılan örnekler makro ve mikro tanımlamaları yapılarak mozaiklerde kullanılan taş türleri (Res. 6) ve harç içerikleri tespit edilebilmektedir. Tablo 3'te Hatay Müze Otel'den alınan taş tesseraların petrografik inceleme sonuçları ortaya konulmuş ve taşların farklı yapıdaki kireç taşlarından, radyolarit, silttaş ve kil taşından oluştuğu tespit edilmiştir.

2.3. X Işını Floresans Spektroskopisi (XRF)

XRF'in Amacı: Elementler veya bileşikler karakteristik kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. X-ışını Floresans Spektroskopisi (XRF) analiz edilmek istenen örnekleri oluşturan elementleri nitel ve nicel olarak tespit etmek için kullanılan spektroskopik bir yöntemdir. Arkeoloji ve koruma - onarım gibi alanların yanı sıra jeolojik örnekler, mineraloji, ilaç analizleri, adli tıp örnekleri, biyoloji, boya pigmentleri, metal analizleri (bakır alaşımları, altın, gümüş, çinko vb) yapılabilen bir tekniktir.

Eseri oluşturan elementler nitel ve nicel olarak tespit edildikten sonra analiz sonuçları analiz edilen eser ile ilgili ulaşılmak istenen bilgiye ulaşmak için uzman kişi tarafından değerlendirilerek XRF analizi ile ulaşılmak istenen bilimsel bilgi ortaya çıkmaktadır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi çoğu zaman istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmaktadır.



Resim 5
Hatay Müze Otel Mozaikleri İnce Kesit Görüntüleri (Aydın - Kavşut 2021).

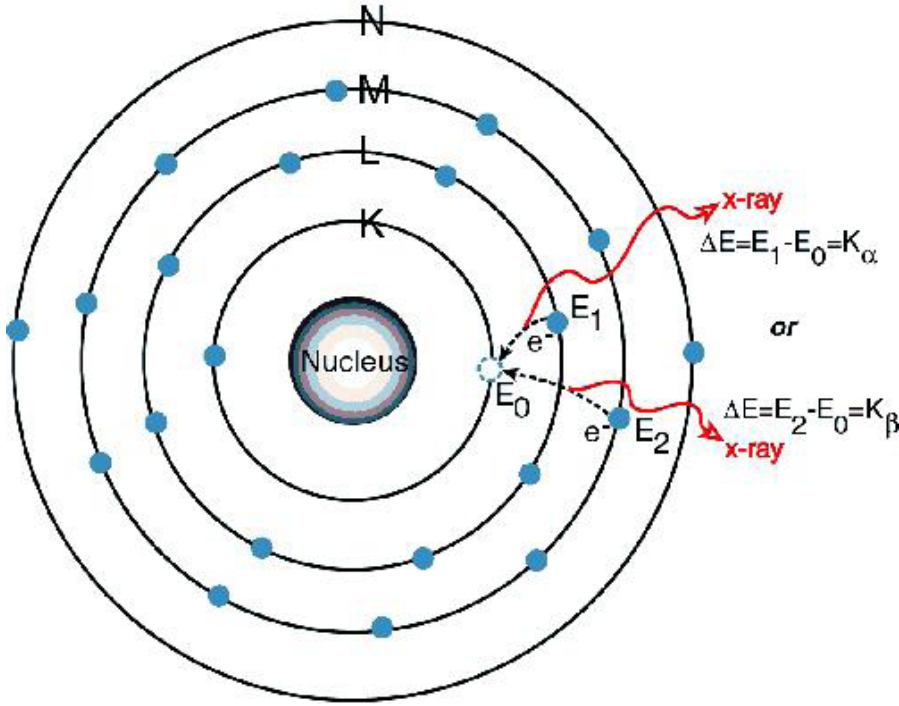
Resim 6
Müze Otel Mozaikleri Petrografi Sonuçları (Aydın - Kavşut 2021).

| Tessera No | Kayaç Türü | Doku | Sertlik (Mohs) |
|-----------------------|------------------------|------------|----------------|
| hmm-ts 6, 8, 12, | Biyosparitik Kireçtaşı | Sparitik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 20 | Silttaşı | Kırıntılı | 2,5- 3 |
| hmm-ts 23, 32,56, 57 | Biyomikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 39 | Biyomikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 28, 29 | Pelajik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 31, 44, 46 | Killi Kireçtaşı | Kristalize | 2,5- 3 |
| hmm-ts 35, | Mikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 5, 19 | Tanetaşı | Kristalize | 2- 2,5 |
| hmm-ts 3 | Silttaşı | Kırıntılı | 2,5- 3 |
| hmm-ts 22, 27, 42 | Biyomikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 13 | Kumlu Kireçtaşı | | 2- 2,5 |
| hmm-ts 26, 41, 53, 59 | Pelajik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 36 | Mikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts10 | Biyomikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 16, | Biyosparitik Kireçtaşı | Sparitik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 9 | Silttaşı | Kırıntılı | 2,5- 3 |
| hmm-ts 24, 25, 38, 43 | Biyomikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts14 | Pelajik Kireçtaşı | | 2- 2,5 |
| hmm-ts 33 | Pelajik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 34, 45 | Killi Kireçtaşı | Kristalize | 2,5- 3 |
| hmm-ts 11 | Radyolarit | | 4,5- 5 |
| hmm-ts 21, 48, 55, | Biyomikritik Kireçtaşı | Mikritik | 2,5- 3 |
| hmm-ts 30, | Killi Kireçtaşı | Kristalize | 2,5- 3 |
| hmm-ts 2, 18 | Biyosparitik Kireçtaşı | Sparitik | 2,5- 3 |

XRF Çalışma Mantığı: X-ışını floresans yöntemi analiz edilecek numune içindeki kimyasal elementlerin karakteristik X ışınlarıyla uyarılması ve elde edilen ışını spektrumunun analizine dayanan bir yöntemdir. Bir elementin karakteristik X-ışını spektrumu o elementi karakterize eden ayrı enerjilerden meydana gelir. Karakteristik X ışınlarını uyarmak için atomun iç yörüngelerinden elektron sökmek gerekir. Bu şekilde yaratılan boşluklar dış yörüngelerden düşen elektronlarca doldurulur. Her elektron geçişi sonucunda bir karakteristik X ışını salınır. Bir atomun elektronları K, L, M, N yörüngelerinde gruplaşmıştır (Ataman 2012). Çekirdeğe en yakın K yörüngesidir. K yörüngesinden bir elektron söküldüğünde, L yörüngesinden bir elektron düşerek boşluğu doldurmuşsa, L yörüngesinde meydana gelmiş boşluk da daha dış yörüngelerden düşen bir elektron tarafından doldurulabilir. Her elektron geçişi sonucunda bir X-ışını fotonu meydana geldiğinden, çok sayıda atom içeren bir numune bu tür bir süreçten geçtiğinde, eserdeki elementlerin karakteristik X-ışınları spektrumları elde edilmiş olur (Res. 7) (Hodges 1981; Mantler - Schreiner 2000).

XRF mantığını aşamalar halinde belirtmek gerekirse;

- X ışını, X ışını kaynağından çıkar.
- X ışını örneğin elektronlarına çarpıyor ve yörüngelerinden sapmalarına neden oluyor.
- Yörüngelerden sapan elektronlar ışına oluşturur.
- Örnekten saçılan floresans ışına spektrometrenin detektörüne çarpar.
- Software ile donatılmış enerji/dalga boyu detektörü elementleri oluşturan elektronları tanımlar.



Resim 7
XRF spektroskopisi (Web kaynağı 2).

XRF Spektrometreleri

Arkeolojide en yaygın kullanılan yöntemlerin başında olan XRF'in iki farklı çeşit spektrometresi bulunmaktadır. Birincisi laboratuvar tipi olan dalga boyu dağılımlı detektörlü X-Işını Floresans Spektrometresi (WD-XRF)'dir. İkincisi ise kültür varlıklarının analizinde dünyada en yaygın kullanıma sahip el tipi olarak tanımlanan taşınabilir, enerji dağılımlı detektörlü, X-Işını Floresans Spektrometresi (P-XRF, HH-XRF, Handheld-XRF, P-EDXRF şeklin kısıltmalar kullanılmaktadır)'dir.

Dalga Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (WDXRF)

Laboratuvarlarda kullanılan sabit spektrometredir ve atom numarası 5 ve üzeri olan elementleri tanımlayabilmektedir (Res. 8). Analiz edilecek örneğin laboratuvara getirilmesi gerektiğinden in situ (yerinde) analiz yapılamamaktadır.



Resim 8
WD-XRF (Solda) ve P-XRF (Sağda)
(Mahmut Aydın).

Ayrıca tarihi eserler üzerinde analiz yapılması gerektiğinde aynı eserden birden çok örnek alınamadığı durumlarda sınırlı sayıdaki örnek üzerinde çalışılmasını gerektirmektedir. Bu spektrometre için yaklaşık 3 santimetreden büyük örnekler için örnekten parça almak gerektiğinden yarı tahribatlı olarak tanımlanabilir. Yarı tahribatlı denemesinin nedeni örnekten alınan parçanın analiz sırasında asit veya herhangi bir yakma işlemine tabi tutulmayacağından ve tekrar kullanılabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Mozaik tesseralarının kimyasal kompozisyonunun belirlenmesinde faydalanılmaktadır (Argunhan 2019: 44-47).

P-XRF atom numarası 11'den büyük olan elementlerin analizinde kullanılabilir. P-XRF'nin kültürel miras objelerinin analizinde en yaygın yöntem olmasının nedeni tahribatsız analiz yapması, örnekten herhangi bir parça alınmasına gerek duyulmaması, hızlı sonuç vermesi, 30 saniye ile 3 dakika arasında her bir analiz sonucu elde edilebilmesi, taşınabilir olmasından dolayı eserin bulunduğu yerde analiz yapılabilmesidir. Yerinde ve doğru ölçüm yapabilme yeteneğine sahip bir nükleer ölçüm tekniği olan P-XRF Spektrometresi alaşım, jeolojik, plastik numunelerin yapısında, atom numarası 11'den büyük olan majör, minör ve eser miktardaki elementlerin analizleri yapılabilir (Res. 8). Analiz sonuçları spektrometre ekranında hemen kontrol edilebileceği gibi bilgisayara da excel formatında pikleriyle birlikte aktarılabilir.

Bu yöntemi zayıf kılan yanları ise şunlardır;

- Eserin yüzeyinden analiz yapması yani eserin yüzeyinden derinliklerine nüfuz edememesi, bu da eserin yüzeyindeki kirliliklerden ve korozyondan etkilenmesine neden olmaktadır.
- Hassasiyet oranının 50-100 ppm olması, atom numarası 11 ve aşağısı olan elementleri tespit edememesi, cam analizlerinde sodyum (Na) gibi önemli elementlerin tespitini imkansız kılmaktadır.
- Aynı anda yalnızca 30-40 elementi analiz edebilmesidir.

P-EDXRF spektrometrelerinin analiz edilecek numunenin hammaddesine göre farklı, alaşım modu, değerli metal modu, toprak modu, jeoloji modu gibi modları bulunmaktadır.

Bulgular ve Değerlendirmeler

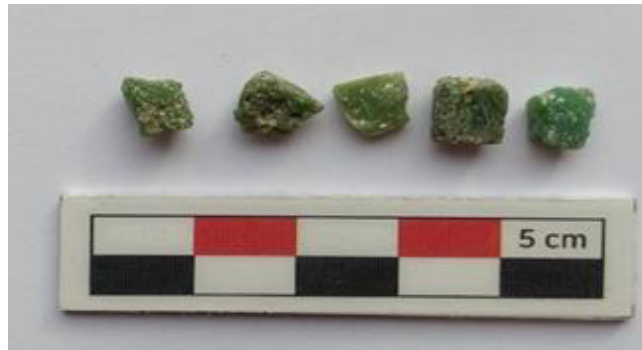
Hatay Müze Otel'de bulunan taş tesseraların P-XRF analiz sonuçlarına bakıldığında kimyasal kompozisyonunun ortaya konulduğu, taşların içeriklerinde yüksek oranda kalsiyum ve silisyum bulunduğu tespit edilmiştir (Res. 9).

Hatay Arkeoloji müzesinde bulunan Mevsimler Mozaığı'ni oluşturan ve aşırı derecede tahrip olmuş yeşil renkli cam tesseraların (Res. 10) PED-XRF analizleri yapılmıştır (Res. 11).

Resim 9

Müze Otel Taş tesseraların P-XRF analiz sonuçları (Mahmut Aydın).

| Tessera No | Mg (%) | Al (%) | Si (%) | K (%) | Ca+LE (%) | Fe (%) |
|------------|--------|--------|--------|-------|-----------|--------|
| hmm-ts1 | 14 | 1,14 | 4,17 | 0,09 | 78,63 | 1,48 |
| hmm-ts2 | 0,66 | 0,52 | 1,99 | 0,08 | 96 | 0,35 |
| hmm-ts3 | ND | 0,20 | 0,91 | ND | 98,45 | 0,21 |
| hmm-ts4 | 0,76 | 0,85 | 12,05 | 0,12 | 85,17 | 0,56 |
| hmm-ts5 | 1,6 | 0,73 | 7,70 | 0,12 | 88,69 | 0,21 |
| hmm-ts6 | 0,87 | 0,49 | 3,19 | 0,04 | 94,51 | 0,29 |
| hmm-ts7 | 0,8 | 1,35 | 10,28 | 0,27 | 86,05 | 0,61 |
| hmm-ts8 | 1,05 | 1,62 | 16,98 | ND | 75,14 | 4,34 |
| hmm-ts9 | ND | 0,67 | 2,41 | 0,06 | 95,9 | 0,33 |
| hmm-ts10 | 0,95 | 0,74 | 5,99 | 0,15 | 89,98 | 0,50 |
| hmm-ts11 | 1,1 | 0,72 | 6,47 | 0,10 | 90,05 | 0,31 |
| hmm-ts12 | ND | 0,29 | 1,15 | ND | 97,89 | 0,09 |
| hmm-ts13 | 0,97 | 0,59 | 5,55 | 0,07 | 91,85 | 0,26 |
| hmm-ts14 | 0,72 | 0,574 | 1,54 | 0,07 | 96,55 | 0,14 |
| hmm-ts15 | 0,76 | 0,91 | 2,64 | 0,04 | 94,81 | 0,37 |
| hmm-ts16 | ND | 0,77 | 2,32 | 0,23 | 96 | 0,15 |
| hmm-ts17 | 1,19 | 0,43 | 1,65 | 0,02 | 95,83 | 0,24 |
| hmm-ts18 | 1,01 | 0,83 | 3,42 | 0,20 | 93,6 | 0,21 |
| hmm-ts19 | 1,73 | 1,17 | 4,72 | 0,02 | 91,38 | 0,39 |
| hmm-ts20 | 1,36 | 0,89 | 3,06 | 0,17 | 93,42 | 0,33 |
| hmm-ts21 | 0,96 | 1,11 | 4,30 | 0,19 | 90,49 | 0,50 |



Resim 10

Mevsimler Mozaığı'ne ait bozulmuş yeşil renkli cam tesseralar (Argunhan - Aydın 2022).

Bilindiği üzere soda-kireç camlarında ana bileşenler SiO₂, Na₂O ve CaO'dır. Miktar olarak bu tür camlar %73 SiO₂, %12 Na₂O, %10 CaO, %4 MgO ve %1 Al₂O₃'den oluşmaktadır.

Yapılan analizlerde tessera camların mukavemet kazanması için gerekli olan yüksek silisyum ve kalsiyum değerlerine sahip olmadığı için aşırı tahrip olduğu anlaşılmıştır. Tahrip olmasının çevresel etkileri olsa da üretim hatası/eksikliklerinin de bozulmalarda etkili olduğu anlaşılmıştır.

Bu sonuçlar ışığında MM-1-CT kodlu örnekte, camlarda temel element olan SiO₂ miktarı %54,09 ile ortalama bir değerdedir. Bu durum, mevsimler mozağinde bulunan cam tesseraların makro olarak gözlemlendiğinde, yüzeyde gözeneklerin bulunması cam tesseraların yapısında bir bozulmaya işaret etmektedir. Camlarda dayanım artırıcı öğe olarak kullanılan CaO miktarında ortalama değer % 10 iken, MM-1-CT kodlu örnekte CaO % 3,81 oran ile düşük sonuç vermiştir. Bu sonuçta dayanıklılığının düşük olduğuna işaret etmektedir.

Cam tesseralarda genellikle renge etki eden ana elementler Co, Fe, Mn, Cu'dur. Analizi yapılan örnekte boyar madde olarak 9270 ppm değerinde olan Cu elementinden geldiği ve yeşil rengi bakır içeren kompleks bileşiklerden aldığı anlaşılmaktadır. 51220 ppm değerindeki Pb, Cu ile birlikte kullanılır. 3176 ppm değerinde olan kalay (Sn), cam tesseralarda camın bozunumuna etki edebilecek koşullar göz önünde bulundurulduğunda camlarda oksitlenmeleri önlemek amacıyla kullanıldığı düşünülmektedir. 5831 ppm değerindeki antimon (Sb) yüksek değerdedir bu da beyazlaştırıcı etkinin antimon'dan geldiğine işaret etmektedir. Son olarak analizi yapılan cam tessera'nın üretiminde kullanılan hammaddenin, stronsiyum (Sr) ve zirkonyum (Zr) içeriklerine bakılarak karasal hammadde kullanıldığı anlaşılmıştır (Res.11) (Akyol vd. 2009).

3. Sonuç

Mozaiklerin arkeolojik açıdan değerlendirilmesinin yanı sıra arkeometrik yöntemler kullanılarak da incelenmesi ve haklarında maksimum bilgi elde edilmesi gerekmektedir. Mozaikler hakkında bilimsel bilgi elde edebilmek için mutlaka arkeometrik yöntemlerden faydalanmak gerekmektedir. Bu çalışmada mozaiklerin arkeometrik açıdan incelenmesinde kullanılabilecek arkeometrik yöntemlerden bahsedilmiş bunun yanı sıra cam ve taş tessera üzerine yazarın yaptığı arkeometrik analiz çalışma örnekleri sunulmuştur.

Mozaiği oluşturan harç, taş ve cam tesseraların incelenmesinde birçok arkeometrik yöntemden faydalanılabilmektedir. Bunların başlıcaları renk belirleyiciler, petrografik analizler ve karakterizasyon yöntemleridir. Bir mozaiği oluşturan renk çeşitlilikleri tespit edilebilir, mozaiikte kullanılan taş türleri, taşların kökenleri, mozaiği oluşturan harçların içerikleri ve cam tesseraların bozulma nedenleri elde edilebilecek bilgilerin başında gelmektedir. Bunların dışında mozaiikte kullanılan pişmiş toprak tesseralar var ise uygun örnek alınma ve korunması şartıyla termoluminescence yöntemiyle tarihlenebilmektedir.

Bu çalışmada, Hatay Arkeoloji Müzesi ve Hatay Müze Otel mozaikleri üzerinde uygulanan arkeometrik yöntemler ve elde edilen sonuçlar ortaya konulmuştur. Mozaiklerde kullanılan tesseraların renklerinin tespiti, taş tesseraların karakterizasyonu ve taş türlerinin petrografik analizlerle tespiti ortaya konmuştur. Bunların yanı sıra cam tesseraların bozulma nedenleri de ortaya konmuştur.

Mozaiklerin arkeometrik yöntemlerle analizlerinden elde edilecek bilgiler arkeologlar ve restoratörler tarafından farklı bilimsel amaçlar için kullanılabilir. Arkeologlar taş veya cam tesseraların hammadde kökenine ulaşmak için,

| Element | Oran % | MM-1-CT | Element | PPM |
|--------------------------------|--------|---------|---------|-------|
| Na ₂ O | % | 1,81 | Co | 6,5 |
| MgO | % | 0,17 | Ni | 2,2 |
| Al ₂ O ₃ | % | 0,51 | Cu | 9270 |
| SiO ₂ | % | 54,09 | Sr | 325,5 |
| P ₂ O ₅ | % | 0,002 | Zr | 80,8 |
| SO ₃ | % | 0,009 | Sn | 3176 |
| Cl | % | 0,31 | Sb | 5831 |
| K ₂ O | % | 0,48 | Pb | 51220 |
| CaO | % | 3,81 | | |
| TiO ₂ | % | 0,07 | | |
| V ₂ O ₅ | % | 0,001 | | |
| Cr ₂ O ₃ | % | 0,004 | | |
| MnO | % | 0,35 | | |
| Fe ₂ O ₃ | % | 0,55 | | |
| LOI | % | 31,73 | | |
| Toplam | % | 93,87 | | |

Resim 11
Yeşil renkli cam tesseraların PED-XRF analiz sonuçları (Mahmut Aydın).

cam tesseralarda renk verici elementleri ya da cam yapımında kullanılan hammaddenin karasal veya denizsel olup olmadığını anlamak için analiz sonuçlarından faydalanabilirler. Restoratörler de analiz sonuçlarını bozulma nedenlerini anlamak, harç kompozisyonunu belirlemek ve özgün harca en yakın harç içeriğini oluşturmak için faydalanabilirler.

Kaynaklar – Bibliography

- Akyol - Aydın 2016 A. A. Akyol - M. Aydın, "Olba Kazısı Seramik Buluntuları Arkeometrik Analizleri", *Seleucia* 6, 413- 431.
- Akyol vd. 2009 A. Akyol - Ç. G. Güray - Y. K. Kadiođlu - Ş. Demirci, "Elaiussa-Sebaste cam örnekleri arkeometrik çalışmaları", *24. AST*, 13-28.
- Argunhan 2019 A. Argunhan, *Antakya Mevsimler Mozağının Arkeometrik Yönden İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Batman.
- Argunhan - Aydın 2022 A. Argunhan - M. Aydın, "Antakya Mevsimler Mozağının Arkeometrik Yönden İncelenmesi", *JMR* 15, 45-58.
- Ataman 2012 O. Y. Ataman, "Arkeometride Spektroskopi Yöntemleri", A. A. Akyol - K. Özdemir (eds.), *Türkiye'de Arkeometrinin Ulu Çınarları: Prof. Dr. Ay Melek Özer ve Prof. Dr. Şahinde Demirci'ye Armağın*, Ankara, 87-96.
- Aydın 2019 M. Aydın, "What Do We Learn About Antique Glass By Using Archaeometry", O. Dumankaya (ed.), *Çağlar Boyunca Üretim ve Ticaret : Prehistorya'dan Bizans Dönemi'ne*, Ankara, 427-436.
- Aydın - Kavşut 2021 M. Aydın - F. Kavşut, "Hatay Mozaiklerinde Kullanılan Taş Tesseraların Türü ve Kökenin Tespiti, Müze Otel Örneđi", *JMR* 14, 13-28.
- Hodges 1981 H. Hodges, *Artifacts: An introduction to primitive technology*, Newyork.
- Mantler - Schreiner 2000 M. Mantler - M. Schreiner, "X-ray Fluorescence Spectrometry in Art and Archaeology", *X Ray Spectrometry* 29, 3-17.
- Noei 2021 S. Noei, "Hierapolis Kazısı Aziz Philippus Kilisesi. Koruma ve Onarım Çalışmaları 2010-2015", F. D'Andria, - M. P. Caggia - T. Ismaelli (eds.), *Le attività delle campagne di scavo e restauro 2012-2015*, İstanbul, 745-757.
- Noei 2022 S. Noei, "Detailed Documentation and in Situ Conservation According To Mortar Characterisation of Opus Sectile Uncovered In The Saint Philip Church Of Hierapolis (Pamukkale-Turkey)", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 22, 2, 123-137.
- Reedy 1994 C. L. Reedy, "Thin-Section Petrography in Studies of Cultural Materials", *JAIC* 33,115-129.

Web Kaynakları

Web Kaynağı 1: <http://www.tekno-teknik.com/temsilcilikler/tintometer/>

Web kaynağı 2: <https://www.amptek.com/resources/xrf>

