



**NEVŞEHİR OVAÖREN KAZILARINDA BULUNAN
SERAMİKLERİN TARİHLENMESİ, KÖKEN TAYİNLERİ VE ÜRETİM
TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet KAPLAN

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2015

Mehmet KAPLAN tarafından hazırlanan “NEVŞEHİR OVAÖREN KAZILARINDA BULUNAN SERAMİKLERİN TARİHLENMESİ, KÖKEN TAYİNLERİ VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ”adlı tez çalışması aşağıdaki jüritarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

DanışmanProf. Dr. Pervin ARIKAN

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan :Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

Fizik, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye :Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Prof. Dr. Mustafa KARADAĞ

Fizik Öğretmenliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Prof. Dr. M. Atıf ÇETİNER

Fizik Anabilim Dalı, Kastamonu Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

TezSavunmaTarihi: 13/11/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Kaplan
06.11.2015

NEVŞEHİR OVAÖREN KAZILARINDA BULUNAN SERAMİKLERİN
TARİHLENMESİ, KÖKEN TAYİNLERİ VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİNİN
İNCELENMESİ
(Doktora Tezi)

Mehmet KAPLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2015

ÖZET

İpek yolu ile Kral yolunun kesiştiği bir bölge olan Nevşehir Ovaören kazı bölgesinden çıkarılan orijinal seramik örneklerinin (fincan, bardak, çanak ve tepsi) üretim teknolojileri, köken tayinleri ve tarihlemeleri hem arkeologlar hem de arkeometri çalışan bilim adamları için oldukça önemlidir. Bu çalışmada Ovaören kazı bölgesinden seçilen 20 adet seramiğin motiflerinde kullanılan mineral boyaların çeşitlerini ve elementel dağılımı belirlemek için Mikro- XRF spektrometresi analizleri kullanılmıştır. Orta tunç, orta demir ve geç demir çağına ait olan örneklerde renk pigment analizleri yapılarak uygun koruma çalışmaları için çok önemli bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışmanın devamında, Aksaray (Acemhöyük) kazı bölgesinden çıkarılan 18 adet tunç çağı seramiği, Kayseri (Kültepe) kazı bölgesinden çıkarılan 16 adet tunç çağı seramiği ve Ovaören (Yassı Höyük, Topak Höyük ve Aşağı Şehirkazı) bölgelerinden çıkarılan 27 adet demir çağı seramiği, 69 adet tunç çağı seramiği ve Ovaören kil kaynaklarından alınan örneklerin nitel ve nicel elementel analizleri WDXRF (Dalgaboyu Dağılımlı X-Işını Floresans) spektrometresi ile bölgelerin tarihsel önemi nedeniyle köken tayinleri yapmak ve karşılaştırmak için gerçekleştirilmiştir. Bu nicel analiz sonuçlarına, SPSS (Sosyal Bilimciler için İstatistik Paket programı) istatistik programı kullanılarak Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) ve Faktör Analizi (FA) çok değişkenli istatistik metotları uygulanmıştır. Bu hesaplamaların sonucunda seramiklerin köken tayini sonuçları, üretim teknolojileri ile birlikte değerlendirilmiştir. İleri aşamada Türkiye'de ilk defa uyguladığımız Rehidroksilasyon Tarihleme Metodu ile Ovaören (Yassı Höyük) den çıkarılan 8 adet orijinal seramiğin yaş tayinleri yapılmıştır. İklim koşulları nedeniyle sonuçlara düzeltme uygulanmıştır. Tüm tez çalışmasının sonuçlarının büyük bir kısmı arkeolojik yorumlarla oldukça uyumludur. Bu çalışmada kullanılan teknikler arkeometri alanında güvenilir, hassas ve hızlıdır.

Bilim Kodu : 202.2.005
Anahtar Kelimeler : Ovaören Tunç çağı Demir çağı, Seramik, Mikro-XRF; WDXRF
Rehidroksilasyon Tarihleme Metodu; Köken Tayini, SPSS
Sayfa Adedi : 93
Danışman : Prof. Dr. Pervin ARIKAN

DATING of CERAMICS FOUND in NEVSEHİR OVAÖREN EXCAVATION,
INVESTIGATION OF ORIGIN AND PRODUCTION TECHNOLOGY

(Ph. D. Thesis)

Mehmet KAPLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2015

ABSTRACT

The manufacturing technology, provenance analysis and dating of ceramic samples acquired from Ovaören (Nevşehir) excavation site where is located at intersection of Silk road and King road, is very essential for archeologist and also scientist working archeometry. In this study, Micro –XRF has been used in order to determine elemental distribution and type of mineral pigment on figures of 20 pieces ceramics which is selected from Ovaören excavation site. The pigment analysis has been performed on samples which are belong to Middle Bronze, Middle Iron and Late Iron Ages and the most important informations have been obtained for suitable conservation studies. In continuation of study, the quantitative and qualitative analysis of 18 pieces bronze age ceramics acquired from Aksaray(Acemhöyük) excavation site, 16 pieces bronze age ceramic acquired from Kayseri (Kültepe) excavation site and 27 pieces Iron Age, 69 pieces bronze age ceramics and raw clay samples acquired from Ovaören (Yassı Höyük, Topak Höyük ve Aşağı Şehir) was conducted by WDXRF (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence) spectrometry in order to compare and perform provenance analysis because of the historical significance of those excavation sites. Hierarchical Cluster Analysis (HCA) and Factor Analysis (FA) multivariate statistical methods have applied to these quantitative analysis results by SPSS (Statistical Package Program for Social Science) statistical program. The provenance analysis results and manufacturing technology of ceramic samples in the result of these calculation are evaluated together. In the advance stage, 8 pieces original ceramics acquired from Ovaören (Yassı Höyük) are dated by Rehydroxylation Dating method applied for the first time in Turkey. Some corrections are applied to obtained results because of climatic conditions. A large part of the results of whole thesis is quite consistent with archaeological review. In present techniques used in the field of archaeometry is reliable, accurate and fast.

Science Code : 202.2.005

Key Words : Ovaören, Micro-XRF; Ancient ceramics; SPSS, WDXRF;
Rehydroxylation dating

Page Number : 93

Supervisor . Prof. Dr. Pervin ARIKAN

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimi boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, birlikte çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam Sayın Prof. Dr. Pervin ARIKAN' ve Tarihlendirme çalışmam sırasında değerli fikirlerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. İbrahim TÜKENMEZ'e , numune sağlamada ve arkeolojik açıdan değerlendirmelerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Arkeoloji bölümünden, Başkan Sayın Prof. Dr. Yücel ŞENYURT, Dr. Atakan AKÇAY, Dr. Yalçın KAMIŞ' a , birlikte çalışmaktan zevk aldığım arkadaşım Dr. Yakup KALAYCI' ya, Ankara Üniversitesi Dil Tarih Coğrafya Fakültesi Arkeoloji bölümü Öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Fikri KULAKOĞLU ve Araştırma Görevlisi Güzel Öztürk'e, bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	ivx
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. TEORİ	5
2.1. X-Işınlarnının Tanımı	5
2.2. X-Işınlarnının Genel Özellikleri	5
2.3. X-Işınlarnını Madde İle Etkileştiğinde Meydana Gelebilecek Olaylar	6
2.3.1. Fotoelektrik olay	6
2.3.2. İnkohherent (kompton) ve koherent (rayleigh) saçılması	7
2.4. X-Işınlarnı Soğurulduğunda Maddede Meydana Gelebilecek Olaylar	8
2.5. Kuantum Sayıları Atomik Yörüngeler ve Geçişler	8
2.6. X-Işınlarnının Soğurulması	10
2.6.1. Lineer soğurma katsayısı	11
2.6.2. Kütle soğurma katsayısı	11
2.6.3. Atomik soğurma katsayısı	12
2.6.4. Molar soğurma katsayısı	12

	Sayfa
2.7. Primer Floresans Denklemi	12
2.8. X-Işını Floresans Analiz Teknikleri	15
2.8.1. Nitel analiz (kalitatif analiz)	15
2.8.2. Nicel analiz (kantitatif analiz)	16
2.9. Yapı Analizi	18
2.10. İstatistiksel Analiz	19
2.10.1. Kümeleme analizi	19
2.10.2. Faktör analizi	19
2.11. Rehidroksilasyon Tarihleme Metodu	20
3. DENEYSEL KISIM	23
3.1. Kazı Bölgeleri ve Arkeolojik Örnekler	23
3.1.1. Nevşehir Ova ören kazı bölgesi	23
3.1.2. Aksaray Acemhöyük kazı bölgesi	28
3.1.3. Kayseri Kültepe kazı bölgesi	28
3.2. Deney Sistemleri	29
3.2.1. Mikro XRF spektrometresi	29
3.2.2. Dalgaboyu dağılımlı XRF spektrometresi	29
3.2.3. X-Işını toz difraktometresi sistemi	30
3.2.4. Aquadyne DVS su soğurma analizörü	31
4. ANALİZLER	35
4.1. Pigment Analizi	35
4.2. Elementel ve Yapı Analizi	40
4.2.1. WDXRF Spektrometre ile elemental analiz	40
4.2.2. Yapı analizi	49

Sayfa

4.2.3. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) ve faktör analizi (FA) istatistiksel değerlendirme ile köken tayini	53
4.3. Rehidroksilasyon Metodu ile Yaş Tayinleri	62
4.3.1. OI11 (YH 07 E8 11-1) Kodlu Nevşehir Ovaören seramik numunesinin yaş tayini	63
4.3.2. OI18 (YH 07 33.10) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini	64
4.3.4. OI19 (YH 07 23.85) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini	65
4.3.5. OB54 (YH 07 E8 62-18) Kodlu seramiknumunesinin yaş tayini	66
4.3.6. OI8 (YH 07 E8- 46.2) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini	67
4.3.7. OI4 (YH 07 h 21-4) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini	67
4.3.8. OI55 Kodlu seramik numunesinin yaş tayini	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	75
EKLER	79
Ek-1. Nevşehir Ovaören ,Kayseri Kültepe, Aksaray Acem Höyük kazılarında ele geçen izinli seramiklerin kil numunelerinin kalitatif analiz sonuçları	80
Ek-2. Nevşehir Ovaören tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları	81
Ek-3. Nevşehir Ovaörentunç çağına ait ithal olabileceği düşünülen seramiklerin kantitatif analiz sonuçları	86
Ek-4. AksarayAcem höyük tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları	88
Ek-5. Kayseri kültepe tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları	90
ÖZGEŞMİŞ.....	92

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kuantum Sayıları atomik yörüngeler ve geçiş kuralları	9
Çizelge 3.1. Aquadyne DVS marka su soğurma analizörünün özellikleri	31
Çizelge 4.1. Yassı Höyük ve Topak Höyük seramikleri ve onların kalitatif analiz sonuçları	39
Çizelge 4.2. WDXRF spektrometresi ile analiz yapılırken kullanılan IQ+ programının ölçüm parametreleri	41
Çizelge 4.3. WDXRF spektrometresi ile analiz yapılırken kullanılan Protrace programının ölçüm parametreleri	42
Çizelge 4.4. Nevşehir Ovaören Yassı Höyüğe ait demir çağı seramiklerin kalitatif analiz sonucu	43
Çizelge 4.5. Nevşehir Ovaören izinli demir çağına ait seramik kantitatif analiz sonuçları	45
Çizelge 4.6. Nevşehir Ovaören , Aksaray Acem Höyük ve Kayseri iline ait Kültepe kazılarında tunç çağına ait seramiklerin kalitatif analizi sonucu	48
Çizelge 4.7. Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük, Kayseri Kültepe kazılarında alınan tunç çağına ait seramiklerin ve Nevşehir Ovaören yakın bölgelerin den alınan kil numunelerinin ortalama konsantrasyonları	48
Çizelge 4.8. Nevşehir Ovaören demir çağı seramik ve kil numunelerinin istatistik analizlerine göre oluşmuş grupların elementlere göre ortalamaları ve standart sapmaları	55
Çizelge 4.9. Nevşehir Ovaören,Kayseri Kültepe,Aksaray Acemhöyük tunç çağına ait seramik ve kil numunelerinin istatistikanalizlerine göre oluşmuş grupların elementlere göre ortalamaları ve standart sapmaları	61
Çizelge 4.10. Nevşehir Ovaören ait seramik numunelerinin muhtemel yaş aralıkları ve hesaplanan yaşları	69
Çizelge 4.11. Nevşehir Ovaören 'e ait seramik numunelerinin muhtemel yaş aralıkları ve düzeltilmiş yaşları	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum	5
Şekil 2.2. Kompton olayı	7
Şekil 2.3. K, L, M kabuklarındaki karakteristik X-ışını spektrum çizgileri	10
Şekil 2.4. X- Işınlının soğurulması	10
Şekil 2.5. Birincil floresansın hesaplamasındaki bileşenler	13
Şekil 2.6. Standartla karşılaştırma metodu için kalibrasyon doğrusu	18
Şekil 2.7. Nevşehir Ovaören seramik numunelerinin yapımından kazıdan çıkarıldığı tarihe kadar olan sürede almış olduğu kütlesi	21
Şekil 2.8. Rehidroksilasyon yaş tayini metodunun şematik gösterimi	21
Şekil 2.9. Her iki evrenin veri noktalarına karşı Şekil 2.8.' deki deneysel verilerden elde edilmiş zaman ^{1/4} ' e karşı kütlenin gradienti	22
Şekil 4.1. Yassıhöyük seramiğinin elementel analiz yapıldığı kısmı (YH10 IL175 124/7) ve Mn elementine göre çıkarılmış elementel haritası	35
Şekil 4.2. Yassıhöyük seramik (YH10 IL175 124/7) numunesinin renk pigmenti ve üzerinde bulunduğu zeminin mikro XRF spektrumu	36
Şekil 4.3. Yassıhöyük Yassıhöyük seramiğinin (YH 97 C15) analiz yapıldığı kısmını gösteren resim ve renk pigmentlerinin zeminle birlikte mikro XRF spektrumu	36
Şekil 4.4. Yassıhöyük seramiğinin (YH 97 C15) haritalandırılma sonucu	37
Şekil 4.5. Topakhöyük seramiğin şekli ve haritalandırma sonucu (TH 07 H20/7)	37
Şekil 4.6. Yassıhöyük Seramiğinin elementel analiz yapıldığı kısmı (YH 10 SUR 2) ve Mn elementine göre çıkarılmış elementel haritası	38
Şekil 4.7. Yassıhöyük seramiğinin elementel analiz yapıldığı kısmı (YH 10 IL 175 104) ve Mn elementine göre çıkarılmış elementel haritası	38
Şekil 4.8. AB14, IB6 ve IB12 seramik numunelerinin 3. kanaldaki WDXRF spektrumu	43
Şekil 4.9. AB14, IB6 ve IB12 seramik numunelerinin 5. kanaldaki WDXRF spektrumu	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. AB14, IB6 ve IB12 seramik numunelerinin 6. kanaldaki WDXRF spektrumu	44
Şekil 4.11. Nevşehir Ovaören demir ve tunç çağlarına ait seramik numunelerinin XRD sonuçları	50
Şekil 4.12. OI18 (YH-07-33-10) Nevşehir Ovaören seramik numunesinin XRD faz analizi	51
Şekil 4.13. OI11 (Yh07 E8-11-1)Nevşehir Ovaören seramik numunesinin XRD faz analizi	51
Şekil 4.14. OI19 (Yh07 23-85) Nevşehir Ovaören seramik numunesinin XRD faz analizi	52
Şekil 4.15. K4 Kil numunesinin XRD faz analizi	52
Şekil 4.16. Ovaören demir çağına ait seramik numuneleri ve kil numunelerinin bileşen 2' ye karşı bileşen 1 FA sonucu	54
Şekil 4.17. Nevşehir Ovaören demir çağına ait seramik ve kil numunelerinin HCA sonucu	54
Şekil. 4.18. Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe arkeolojik kazılarında bulunan tunç çağı seramiklerinin ve kil numunelerinin faktör analiz sonucu	18
Şekil 4.19. Nevşehir Ovaören,Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepearkeolojik kazılarında bulunan tunç çağı seramiklerinin ve kil numunelerinin dendogram analizi	58
Şekil 4.20. OI11 (YH 07 E8 11-1) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği	63
Şekil 4.21. OI18 (YH 07 33.10) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği	64
Şekil 4.22. OI2 (YH 07 F 1-4) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütlekazanç ve yaş tayini grafiği	65
Şekil 4.23. OI19 (YH 07 23.85) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ile yaş tayini grafiği	65
Şekil 4.24. OB54 (YH 07 E8-62-18) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği	66
Şekil 4.25. OI8 (YH 07 E8-46-2) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği	67

Şekil	Sayfa
Şekil 4.26. OI4 (YH 07 H 21-4) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği	68
Şekil 4.27. OI55 kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Nevşehir Ovaören Arkeoloji kazı bölgesinin son hali	25
Resim 3.2. Nevşehir Ovaörenait bazı seramik numuneleri ve yazıt	26
Resim 3.3. Nevşehir Ovaören bölgesine ait bazı seramik numuneleri	26
Resim 3.4. Cingi Pınarı	27
Resim 3.5. Ovaören Tömbül	27
Resim 3.6. Yalıntaş Göleti	27
Resim 3.7. Çorak Özü (1. yer)	27
Resim 3.8. Çorak Özü (2. yer)	27
Resim 3.9. Aksaray Acem Höyük kazılarından elde edilen bazı seramikler	28
Resim 3.10. Kayseri Kültepe kazılarından elde edilen bazı seramikler	28
Resim 3.11. Enerji dağılımlı portatif μ -XRF spektrometresi	29
Resim 3.12. PANalytical Axios WDXRF spektrometresi	30
Resim 3.13. Bruker D8 Advance model X-ışını difraktometresi	31
Resim 3.14. Aquadyne DVS su soğurma analizörü	32
Resim 4.1. WDXRF spektrometresinin şematik gösterimi	41

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Nevşehir Ovaören Arkeoloji kazı bölgesi	25
Harita 3.2. Nevşehir Ovaören Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepekazı bölgeleri	27

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
γ	Gama
n	Nötron
e^-	Elektron
e^+	Pozitron
β^-	Beta ışınları
E_e	Fotoelektronun kinetik enerjisi
h	Planck sabiti
ν	Frekans
c	Işık hızı
Z	Atom numarası
A	Atomun kütle numarası
E_b	Elektronun bağlanma enerjisi
EC	Elektron yakalama
m_e	Elektronun kütlesi
E'	Gelen fotonun enerjisi
X	X-ışının sızma derinliği
dx	Numunede X-ışının aldığı birim yol
w_{K_i}	K tabakasının floresans verimi
J_{K_i}	K- L atlama faktörü
f_i	Analit ışını yayınlanmasına sebep olan yörüngesel elektron geçiş olasılığı
φ_1	Geliş açısı
K_β	Beta ışıının şiddeti
φ_2	Fotonun numuneden çıkış açısı
ϕ	Compton saçılma açısı

Simgeler **$d\Omega_1$** **Açıklamalar**

Kaynaktan gelen ışınının numuneyi gördüğü katı açı

 $d\Omega_2$

Numuneden gelen ışınının dedektörü gördüğü katı açı

 ρ

Yoğunluk

 n

Birim hacimdeki atom sayısı

 μ_m

Numuneyi meydana getiren bütün elementlerin kütle soğurma katsayılarının toplamı

 E_i

i analitinin floresans foton enerjisi

 G

Geometriye ve kaynak şiddetine bağlı orantı sabiti

 I_p

Pik tepe şiddeti

Kısaltmalar**Açıklamalar****FA**

Faktör Analizi

GÜ-ARÇED

Gazi Üniversitesi Arkeolojik Çevre Değerleri Araştırma Merkezi

HCA

Hiyerarşik Kümeleme Analizi

SPSS

Statistical Package for the Social Sciences

SANAEM

Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

 μ XRF

Mikro X- ışını floresans

WDXRF

Dalgaboyu dağılımlı X-ışını floresans

1. GİRİŞ

X-ışınları 1895 yılında Alman fizikçisi Wilhelm Conrad Roentgen tarafından tesadüfen keşfedilmiş ve o zaman için tabiatı bilinmediğinden bu isim verilmiştir. Yük boşalma tüpünün yakınındaki siyah kağıtla kaplı olan bazı baryum platin siyanür kristallerinin yük boşalması olduğunda lüminesans yaptığını gözledi. Bu çalışmasıyla Röntgen 1901’de Nobel ödülü aldı.

X-ışınları, yüksek enerjili elektronların yavaşlaması ve atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen $\sim 10^{-5} - 100 \text{ Å}$ dalga boylu elektromanyetik radyasyondur.

XRF spektrometresi ile arkeolojik eserlerin kalitatif ve kantitatif analizlerinin sonucunda elde edilen bilgiler, arkeolojik bulgularla bir arada değerlendirildiğinde ortaya çıkan yorumlar tarihe her yönde ışık tutmaktadır. Kullanılan pigmentler, şekiller ve malzemeler seramiğin periyodunu, orijinini ve teknolojisi hakkında bilgi vermektedir.

Eski çağlara ait seramikler, cam ve metal çok yaygın olarak kullanılan arkeolojik kalıntılardır. Nükleer analitik teknikler kültürel varlıkların malzeme yapısının kimyasal karakterizasyonunu belirlemede önemli rol oynar. Bu bağlamda, taşınabilir cihazlar laboratuvara taşınamayan değerli kültürel varlıkların yerinde analiz edilmesine olanak sağlar Goffer Z. (2007), Josa V., Bertolino S., Lagunes A., Riveros J. ve Castellano G. (2010), Hradil , D., Grygar, T., Hradilova J. ve Bezdicta, P. (2003), Mazzocchin G., Agnoli, F. ve Colpo, I. (2003), Aloupi, E., Karydas, A. ve Paradellis, T. (2000).

Laboratuvara taşınamayan kültürel nesnelerin yerinde analizini sağlamak ihtiyacı taşınabilir mikro-XRF spektrometrelerin gelişmesine yol açmıştır. Mikro-XRF rutin işler için tercih edilen bir teknik olmasının sebebi ölçüm esnasında numunelerin sabit kalıp, cihazın hareketliliğinden dolayıdır. Diğer tekniklerden avantajı, mikro-XRF uygun maliyetli, hızlı, çoklu element analizi ve tahribatsız analiz etmeye sahip olmasıdır.

Arkeolojik eserlerin özellikle seramiklerin kökenlerini belirlemede nitel analiz sonuçları yaygın bir şekilde uygulanmaktadır Mantler, M. ve Schreiner, M. (2000), Milazzo , M. ve

Cicardi ,C. (1997), Pillay, A., Punyadeera, C., Jacobson, L., ve Eriksen, J. ((2000), Punyadeera, C., Pillay, A., Jacobson, L. ve Whitelaw, G.(1997), Scott, D. (2001), Grieken, R. ve Markowicz, A (1993), Williams-Thorpe, O., Potts, P. ve Webb. P. (1999).

Çanak, çömlek, belirli dönemlerdeki kap tiplerinin çeşitliliği, yapım teknolojileri ve hamur yapısı bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Bulunduğu arkeolojik çağlara ait katın tarihini ve ait olduğu kültürü anlamakta kullanılan bir ölçüttür. Bu bakımdan o toplumun aynı zamanda ekonomik ve sosyal göstergesini belirtir. Nakliye kaplarının ve ithal kapların varlığı ticari ağları belgelemektedir. Sofra kapları ve servis tabakları da yemek alışkanlıklarını ve ev halkının sosyal yapısını yansıtmaktadır internet: M. Gates, Kinet Höyük Kazıları, Antik Issos (Yeşilköy-Dörtüol, Hatay).

Pişirilmiş killerin en önemli özelliği 400 derecenin üzerindeki bir sıcaklıkta pişirildikten sonra, artık eski plastik kil haline dönüştürülememesi, kırıldıktan sonra tekrar kullanılamaması ve böylece yok olmayan tarihi bir kalıntı olarak günümüze kadar kırıldığı bölgede kalabilmesidir. Bu nedenle pişmiş kil bazlı kaplar arkeolojik araştırmalarda en yoğun ve yaygın olarak bulunan en eski teknoloji ürünüdür. Hamurun yapısı, pişirilme ve biçimlendirilme teknikleri, kap biçimleri ve yüzey görünüşleri incelendiğinde, kullanıldıkları devir toplumlarının gereksinimlerini, ulaştıkları teknolojik aşamaları, farklı toplumların birbiriyle olan ilişkilerini, sosyal yapılaşmalarını hatta etnik farklılıklarını, bu toplumların yaşadıkları bölgeyi ve yaşam süreçlerini ortaya koyan en önemli ipuçlarını verir (Ökse, 1999: 14-18).

Çok değişkenli istatistik teknikler, kil bazlı seramik, çanak ve çömlek gibi arkeolojik kalıntıların köken tayinlerinde kullanılmıştır Hart. F. ve Adams S. (1983)., Mirti P., Aceto M. ve Preacco Ancona M. (1998), Mirti, P. , Casoli, A., Barra M., Bagnasco, M. ve Ancona, M. (1995) .

Roma dönemine ait duvar resimlerinde pigmentler ve boyama teknikleri incelenmiştir Siddall (2006).

Tablo ve resimlerde XRF spektrometre yöntemiyle pigment analizleri incelenmiştir. Claes M., Ham R., Janssens K ve Grieken R. (1999).

Hindistan bölgesindeki arkeolojik kazılardan çıkmış çanak çömleklere, Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans tekniği uygulanarak, istatistiksel değerlendirme ile köken tayinleri yapılmıştır Ravisankar ve diğerleri (2014).

Suriye bölgesine ait seramiklerin yaş tayinleri ve XRF sonuçlarına istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak köken tayinleri yapılmıştır Bakraji, E. Abboud, R. ve Issa, H. (2014).

XRF analiz yöntemi ile volkanik kayalarındaki köken tayinleri yapılmıştır G. Jones, G. Bailey ve C. Beck (1997).

Kil minerallerinde kristal yapı ünitelerinin tabakaları arasında su bulunur. Tuğla, briket ve seramik gibi fırınlanmış killi malzemeler arkeolojik kalıntılarda yaygın olarak bulunmaktadır. Seramiklerin çevre nemiyle kimyasal birleşmesi sonucu olarak ilk yapım zamanından itibaren sürekli olarak kütleleri artar (burada rehidroksilasyon olarak tanımlanmıştır). Çevre nemiyle (rehidroksilasyon) seramiklerin yavaş ilerleyen kimyasal birleşmeleri arkeolojik tarihlenmenin temelini oluşturur. Bir seramik numunesi onun ilk yapımından itibaren nemle almış olduğu kütle kazanımını belirleyerek rehidroksilasyon kinetik sabitini ölçmek için neme maruz bırakılarak onun yaşı belirlenebilir. Kinetik sabiti sıcaklığa bağlıdır. Buradaki zaman skalasının üs değerinin seramiklerde 1/4 ile orantılı olduğu deneysel olarak elde edilmiştir Wilson ve diğerleri (2009), Wilson M. ,Hoff W., Hall C., McKay B. ve Hiley A. (2003), Traore K. , Bernadji F. ve Blanchart (2006), Hamilton, A. ve Hall, C. (2012), Gualtieri A. ve Ferrari S. (2006).

Üs kanunu katsayısı, klasik Brownian diffüzyon sürecinde beklendiği gibi 1/2 değil aslında tam olarak 1/4 olduğu yüksek hassasiyetle ölçülen verilerin analizleri göstermiştir Richards (1977).

Temel kilmineral bileşenleri, kaolinit, illite ve klorit' dir. Fırınlama esnasında ilk yeşil kilde zayıf bağlı olan moleküler su kaybolur. Sonra 450 -900 °C sıcaklıkta su $2\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}^{2-}$ kimyasal dehidroksilasyon vasıtasıyla oktahedral tabakalardan kaybolur. Daha yüksek sıcaklıklarda ileri reaksiyonlar wallastonite CaSiO_3 ,mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$) ve spinel (MgAl_2O_4) gibi su bazlı olmayan mineraller gerçekleşir Rodriguez, N., Cultrone, G., Sanchez N. ve Sebastian, E. (2003). Buna karşılık ağır killi seramikler için bu reaksiyonlar

açık bir şekilde tamamlanmamıştır Cultrone, G., Rodriguez, C., Sebastian, E., Cazalla, O. ve Torre M. (2001). Seramik, tuğla, briket gibi malzemeler yüksek sıcaklık ve yangına maruz kalınca ilk yapımından sonra yıllar boyunca nemle almış olduğu kütleyi geri vereceğinden yani tarihleme saati sıfırlanacağından, bir yerde yangın olup olmadığı hakkında bilgi de verebilmektedir.

Tezin ikinci bölümünde X- Işınları genel özellikleri, madde ile etkileşimleri örneklerle uygulanan analizler konularında bilgiler verilmiştir. Bunlar analiz konuları, XRF, nitel ve nicel analiz, XRD yapı analizi , SPSS İstatistiksel Analiz ve Rehidraksilasyon Tarihleme tekniğidir.

Tezin üçüncü kısmında Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe kazı bölgeleri, bu kazı bölgelerinden elde edilen bazılarınının da ithal olabileceği düşünülen arkeolojik seramikler (fincan, bardak, çanak ve tepsi), mikro XRF spektrometresi, dalga boyu dağılımlı XRF spektrometresi ve Aquadyne DVS su soğurma analizörü deney sistemleri öncelikle anlatılmıştır. Ayrıca kullanılan deney sistemlerinin detayları verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde seramik örneklerinin pigment analizleri, elemental ve yapı analizleri, istatistiksel yöntemlerle köken tayinleri ve Rehidraksilasyon metodu ile yapılan yaş tayinleri açıklanarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Son kısımda toplu halde sonuçların irdelenmesi ve öneriler yazılmıştır.

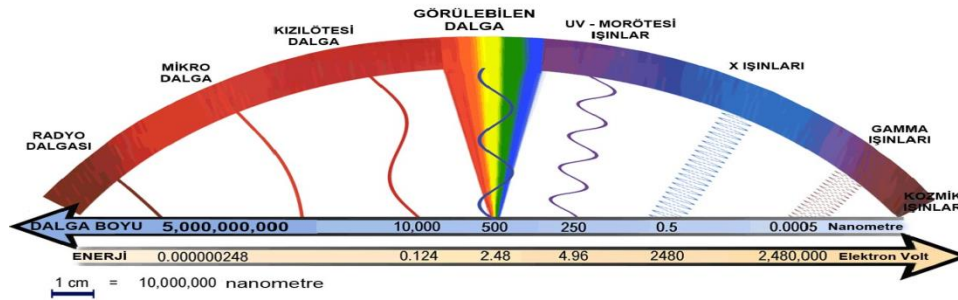
Mikro X- Işınları Floresans (μ XRF), Dalga boyuna bağlı X- Işınları Floresans (WDXRF), X- Işınları Kırınım (XRD) analizleri ve Rehidroksilasyon tarihleme metodu ile yaş tayini analizleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde (SANAEM) RER/0/039 "Extending and Diversifying the Application of NuclearTechnology in Culturel Heritage" projesi kapsamında yapılmıştır.

2. TEORİ

2.1. X-Işınlarnn Tanımı

Kaynağından ıraksayan doğru çizgiler boyunca uzağı doğru dalga veya parçacıklar halinde yayılan enerjiye radyasyon denir. Doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmeleri için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri ile ivmeli hareket eden yüklü parçacıkların ısıdığı enerji radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyon temel olarak parçacık radyasyonu ve dalga tipi radyasyon olarak iki şekilde sınıflandırılır. Parçacık radyasyonu belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden küçük parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon, belli bir enerjiye sahip kütsüz radyasyon çeşididir. Titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir (elektromanyetik).

X- ışınları yaklaşık 10^{-5} m ile 100 Å aralığında dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalardır. X-ışınlarının en genel kaynağı bir metal hedefi yüksek enerjili elektronlarla bombardıman edilirken bu elektronların yavaşlamasıdır. Ayrıca elektronların yörünge geçişleri ile de meydana gelebilirler Şahin ve Demir (2013)



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum

2.2. X-Işınlarnn Genel Özellikleri

- Sürekli spektrum oluştururlar
- Karakteristik çizgi spektrumu oluştururlar,
- Karakteristik bant spektrumu oluştururlar,

- d) Karakteristik soğurma spektrumunu meydana getirirler
- e) Işık hızında yayılırlar
- f) Doğru çizgiler boyunca yayılırlar
- g) Madde transfer etmeksizin yayılırlar
- h) Gözle görülmezler duyularımızla hissedilemezler Şahin ve Demir (2013).

2.3. X-Işınlarını Madde İle Etkileştiğinde Meydana Gelebilecek Olaylar

X-ışınları, paralel bir demet halinde bir maddeden geçirilirse maddenin atomlarıyla etkileşir. Madde içine giren X-ışınları fotonları, madde atomunun bağlı elektronları, yaklaşık serbest elektronları ve çekirdeği ile etkileşimde bulunur. Bu etkileşimler aşağıda belirtilmiştir.

- a) Etkilenmeden geçiş
- b) Yansıma
- c) Kırılma
- d) Kutuplanma
- e) Kırınım
- f) Koherent (Rayleigh) saçılma
- g) İnkoherent (Compton) saçılma
- h) Fotoelektrik olayı
- i) Çift oluşumu

Bu etkileşimin en önemlileri fotoelektrik, Compton ve Rayleigh saçılmalarıdır Şahin ve Demir (2013).

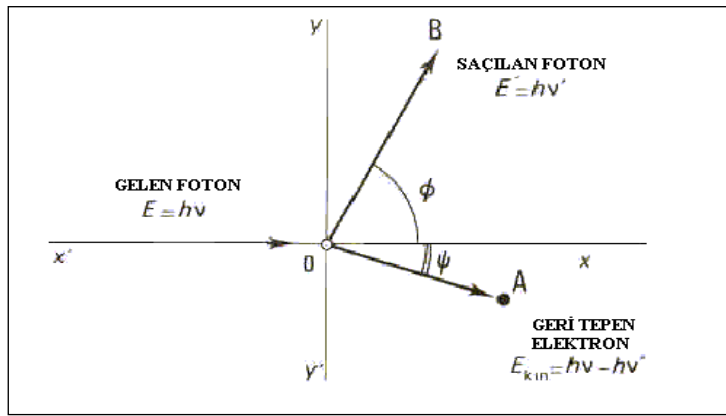
2.3.1. Fotoelektrik olay

Madde üzerine gelen x-ışınının veya γ -ışınının enerjisinin tamamını madde atomunun iç yörüngedeki elektronlarından birine aktararak, bu elektronu yörüngesinden sökmeye fotoelektrik olay denir. Yerinden sökülen bu elektrona ise fotoelektron adı verilir. $h\nu$ enerjili bir fotonun maddenin bir elektronu tarafından soğurulması durumunda fotoelektronun kinetik enerjisi;

$$E_e = h\nu - E_b \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada E_b elektronun atomun yörüngesine bağlanma enerjisidir. Gelen fotonun enerjisi E_b değerine yakınsa soğurulma olasılığı o kadar yüksektir. Bu değerden uzaklaştıkça soğurulma olasılığı düşer. Fotoelektrik olay gelen X-ışını fotonlarının şiddetine ve enerjisine bağlıdır Bertin (1975).

2.3.2. İnkohherent (kompton) ve koherent (rayleigh) saçılması



Şekil 2.2. Kompton olayı

Belli bir enerjiyle gelen x-ışını veya γ -ışını fotonu atomun dış yörüngesindeki elektronlardan birine çarptığında enerjisinin bir kısmını elektrona aktararak Şekil 2.2. deki gibi saçılır. Fotonun kalan enerjisi farklı bir doğrultuda saçılır. Elektronun saçılma açısına ψ dersek, enerji ve momentumun korunumu ilkeleri uygulandığında kompton enerjisi Eş. 2.2 deki şeklindedir Bertin E. (1975).

$$E' = \frac{E}{\left\{ 1 + \left[\left(\frac{E}{m_e c^2} \right) (1 - \cos \phi) \right] \right\}} \quad (2.2)$$

E ve E' gelen ve saçılan fotonların enerjileri (keV), $m_e c^2$ elektronun durgun kütle enerjisidir.

Bu tür saçılmalarda atomun elektronu atoma zayıf bağlıdır. Eğer elektron atoma sıkı bağlıysa kompton olayı olma olasılığı düşer. Atom numarası arttıkça, elektronlar atoma daha sıkı bağlanacağından, atom numarası Z arttıkça kompton olayı olma olasılığı azalır.

Rayleigh saçılması elastik bir saçılmadır. Madde üzerine gelen X-ışınları maddenin elektronlarını aynı frekansta titreştirirler. Titreşen elektronlar her yönde ve aynı frekansta X-ışınları yayınlarlar. Bu tür saçılmada, numune içindeki atomun atom numarası Z arttıkça Rayleigh saçılması olma olasılığı artar Bertin E. (1975).

2.4. X-Işınları Soğurulduğunda Maddede Meydana Gelebilecek Olaylar

- a) Sıcaklık artması
- b) Dielektrik ve elektrik özelliklerin değişmesi
- c) İyonlaşmanın meydana gelmesi
- d) Radyoliz, fotoliz, kimyasal reaksiyonlar çökmeler, serbest radikal üretimi
- e) Fotografik olaylar: renk merkezlerinin ve diğer örgü kusurlarının oluşumu
- f) Radyasyon hasarları
- g) Floresans ya da fosforesans
- h) İkincil karakteristik X-ışını ve bant spektrumlarına uyarma
- i) Auger, geri tepme ve fotoelektronların uyarılması
- j) Uyarma, hasar, genetik değişime veya biyolojik dokuda ölüm Şahin ve Demir (2013) : 9-11.

2.5. Kuantum Sayıları Atomik Yörüngeler ve Geçişler

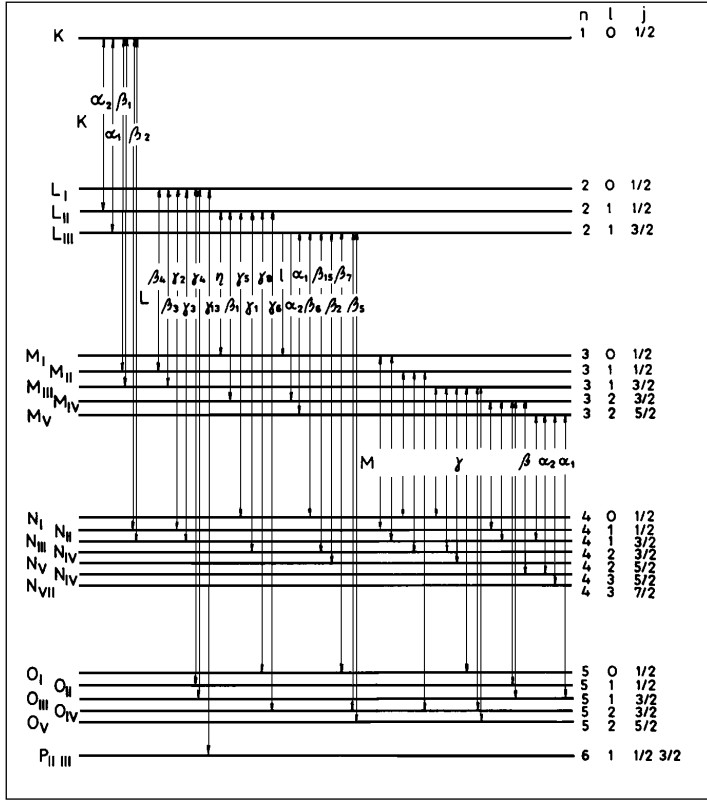
Atomun belirli yörüngelerinde dolanan elektronlar Pauli prensibine göre farklı kuantum durumlarına sahiptirler. Çizelge 2.1. 'de kuantum durumlarını ifade eden kuantum sayıları ve onların alabilecekleri değerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Kuantum Sayıları atomik yörüngeler ve geçiş kuralları

Sembol	Adı	Önemi	Alabileceği değerler	Geçiş kuralları
n	Baş	Kabukları belirler	1,2,3,...n K,L,M,...	$\Delta n \neq 0$
l	Açısal	Yörüngesel açısal momentum	0,1,...(n-1) s,p,d,...	$\Delta l = \pm 1$
m	Magnetik	Magnetik alanda yörüngenin davranışı	-l,...,0,...+l	
s	spin	Spin yönü	$\pm 1/2$	
j	Toplam	l ve s'nin vektörel toplamı	$l \pm 1/2$	$\Delta j = \pm 1$ veya 0

X-ışınları veya γ -ışınlarıyla etkileşime giren atomun iç yörüngelerindeki elektronlar sökülebilir. Meydana gelen bu boşluklar, ısımalı ve ışımasız geçişler olarak, daha üst enerji seviyelerinden gelen elektronlar tarafından doldurulurlar. Atomun herhangi bir yörüngesinden sökülen elektronun yerine yaklaşık 10^{-12} - 10^{-14} saniye içerisinde üst enerji seviyelerinden bir elektron geçer. Bu geçişler esnasında elektron fazla enerjisini x-ışını olarak yayınlar.

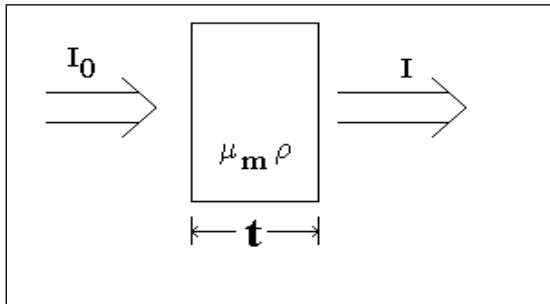
K kabuğundaki boşluklar L kabuğundan gelen elektronlarla doldurulursa K_{α} , M ve N kabuğundan gelen elektronlarla doldurulursa K_{β} geçişleri olarak adlandırılırlar. K tabakasındaki boşluk diğer tabakalardan elektronlarla doldurulursa bütün bu geçişlere K serisi olarak adlandırılır. Eğer L tabakasında ise buna L serisi denilmektedir. Bu geçişler kurallara göre olmaktadır. Bu geçişler $\Delta n \neq 0$, $\Delta l = \pm 1$ ve $\Delta j = \pm 1, 0$ geçiş kurallarına göre olmaktadır. Bu kurallara uygun geçişler izinli geçişler olarak adlandırılır Bertin E. (1975).



Şekil 2.3. K, L, M kabuklarındaki karakteristik X-ışını spektrum çizgileri

2.6. X-Işınlının Soğurulması

I_0 şiddetindeki bir X-Işını demetinin t cm kalınlığında ve yoğunluğu ρ (gr/cm^3) olan bir soğurucu üzerine dik olarak geldiğini varsayalım.



Şekil 2.4. X- Işınlının soğurulması

Çıkan X-Işın demetinin şiddeti I , her zaman için I_0 dan küçüktür. Çünkü maddeden geçerken X-Işınları soğurulma veya zayıflama işlemine uğrarlar. Bu zayıflama olayı, Lambert Yasası ile verilir:

$$\frac{dI}{I} = -\mu dt \quad (2.3)$$

Burada μ lineer soğurma katsayısıdır (cm^{-1}). Eksi işaretinin anlamı, maddeden geçerken şiddetin her zaman azaldığını ifade etmektedir.

$$I = I_0 \exp(-\mu t) \quad (2.4)$$

Bu şekilde 4 tane soğurma katsayısı çıkarılabilir.

2.6.1. Lineer soğurma katsayısı

Birim kalınlık başına, birim alanda soğurulmayı verir.

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu t \quad (2.5)$$

Eş. 2.4' ün doğal logaritması alınır;

$$\mu = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{t} [\text{cm}^{-1}] \quad (2.6)$$

elde edilir Bertin E. (1975).

2.6.2. Kütle soğurma katsayısı

μ_m , birim kütle başına birim alandaki soğurulmayı verir.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \quad (2.7)$$

ile gösterilir.

2.6.3. Atomik soğurma katsayısı

μ_a , atom başına birim alandaki soğurulmayı verir.

$$\mu_a = \frac{\mu}{\rho} \frac{A}{N} = \frac{\mu}{N} \frac{\text{cm}^2}{\text{Atom}} \quad (2.8)$$

ile verilir.

2.6.4. Molar soğurma katsayısı

μ_{mol} , mol başına birim alan başına soğurulmayı verir.

$$\mu_{\text{mol}} = \frac{\mu}{\rho} A \quad (\text{cm}^2/\text{mol}) \quad (2.9)$$

ile verilir (Bertin 1975).

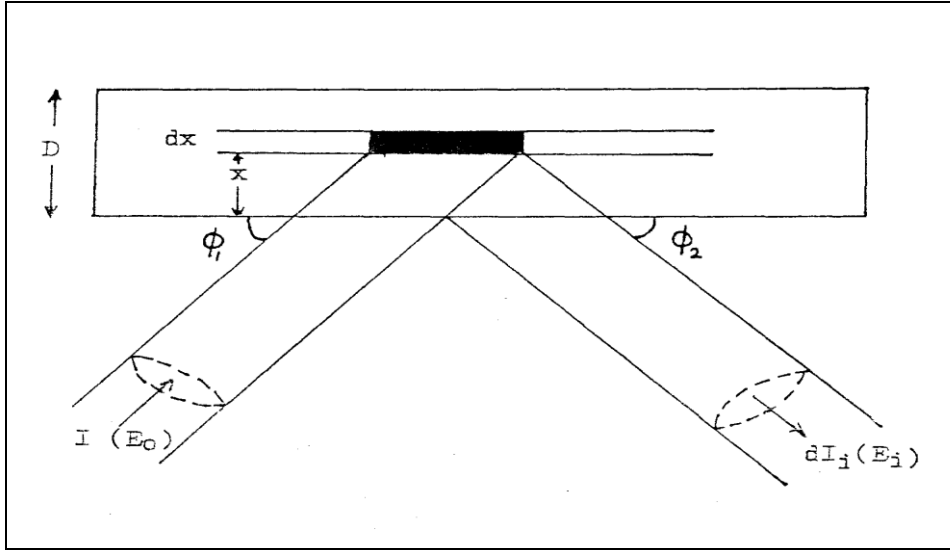
2.7. Primer Floresans Denklemi

Kantitatif X-ışını spektrometrik analizinde analit (numunedeki ilgi konusu olan element) tarafından yayımlanan karakteristik X-ışını şiddeti ölçülür ve bu değer analit konsantrasyonunu tayin etmekte kullanılır.

Yayımlanan X-ışını şiddeti aşağıdaki faktörlerden etkilenir;

- Primer X-ışını demetinin spektral dağılımı
- Primer X-ışınlarının analit ve matris tarafından absorplanması
- Analit elektronlarının uyarılma ihtimaliyeti ve floresans verimi
- Analit ışınlarının matrisle etkileşmesi
- X-ışını spektrometresinin geometrisi

Düzgün dağılımlı homojen ve D kalınlığında olan numunede analitin $K\alpha$ şiddet denklemi şöyle hesaplanır.



Şekil 2.5. Birincil floresansın hesaplamasındaki bileşenler

Yüzeyden x derinliğinde dx tabakası içinde i elementi tarafından yayımlanan K_α şiddeti üç önemli faktöre bağlıdır. Radyasyon kaynağından çıkan E_0 enerjili ışın demeti numuneye ϕ_1 açısıyla gelerek numuneye etkileşip ϕ_2 açısıyla numuneden ayrılır. X-ışını floresans şiddeti hesaplamasındaki bileşenler Şekil 2.5’de görülmektedir.

1. E_0 enerjili uyarıcı kaynağından yayınladığı fotonların x menziline ulaşma olasılığı:

$$\exp [-\mu_m(E_0)\rho_m x/\sin\phi_1] \quad (2.10)$$

Burada;

μ_m ; E_0 enerjisine bağlı matrisin kütle soğurma katsayısı

ρ ; Yoğunluk

ϕ_1 ; Geliş açısı

Ayrıca i ; analiti, m ; matrisi ifade eder. Analit analizi yapılan element, matris ise analit dışındaki tüm numuneyi ifade eder.

2. Uyarıcı fotonun x ile $x+dx$ arasındaki tabakada bir i analitini uyarması sonucu bir boşluk yaratarak K_α floresans fotonu yayınlama olasılığı ;

$$\tau_i(E_0)w_{K_i} \left(1 - \frac{1}{J_{K_i}}\right) f_i\rho_i dx \quad (2.11)$$

Burada;

τ_i : E_0 enerjisine bağı olarak i elementinin fotoelektrik kütle soğurma katsayısı

w_{K_i} : K-Kabuğundaki floresans verim

J_{K_i} : K-L atlama oranı

f_i : Analit ışını yayınlanmasına sebep olan yörüngesel elektron geçiş olasılığı

$\rho_i dx$: dx tabakasındaki bir i elementinin birim alan başına düşen kütlesi (gr/cm^2) dir.

Eş. 2.11 deki ifadeye K_i dersek Eş. 2.11

$$K_i \rho_i dx \quad (2.12)$$

olur.

3. dx tabakasından yayınlanan floresans fotonların dedektöre ulaşma olasılığı:

$$\varepsilon(E_i) \exp [-\mu_m(E_i) \rho_m x / \sin \varphi_2] \quad (2.13)$$

Burada; $\varepsilon(E_i)$: Dedektör verimi

$\mu_m(E_i)$: Matrisin E_i enerjisinde kütle soğurma katsayısı

E_i : i analitin floresans foton enerjisi

φ_2 : fotonun numuneden çıkış açısı

Toplam kütle soğurma katsayısını tanımlarsak,

$$\chi_i = \mu_m(E_0) / \sin \varphi_1 + \mu_m(E_i) / \sin \varphi_2 \quad (2.14)$$

Burada μ_m , numuneyi meydana getiren bütün elementlerin kütle soğurma katsayılarının toplamı olarak verilmiştir.

$$\mu_m(E) = \sum_{j=1}^n C_j \mu_j(E) \quad (2.15)$$

Numunenin dx tabakasındaki i analitin floresans şiddeti yukarıda hesaplanan 3 faktörün çarpımına eşittir.

$$dI_i = G \varepsilon(E_i) K_i \rho_i dx_i (\exp [-\mu_m(E_0) \rho_m x / \sin \varphi_1] \exp [-\mu_m(E_i) \rho_m x / \sin \varphi_2]) \quad (2.16)$$

$$dI_i = G \varepsilon(E_i) K_i (\exp [-\mu_m(E_0) \rho_m x / \sin \varphi_1] + \exp [-\mu_m(E_i) \rho_m x / \sin \varphi_2]) \rho_i dx_i \quad (2.17)$$

Yukarıdaki denklemin D kalınlığındaki numune boyunca integralini alırsak;

$$dI_i = \int_0^D G\epsilon(E_i)K_i(\exp[-\mu_m(E_0)/\sin\phi_1 + \mu_m(E_i)/\sin\phi_2] \rho_m x) \rho_i dx_i \quad (2.18)$$

X=0 dan D ye kadar yapılan integrasyon sonucunda i analitinin floresansının şiddeti

$$I_i = G\epsilon(E_i)K_i\rho_i \frac{1}{\chi_i\rho_m} [1 - \exp(-\chi_i D\rho_m)] \quad (2.19)$$

G, geometriye ve kaynak şiddetine bağlı orantı sabiti

$$\frac{\rho_i}{\rho_m} = C_i \quad (2.20)$$

i elementinin ağırlık konsantrasyonu

$$I_i = G\epsilon(E_i)K_iC_i \frac{[1 - \exp(-\chi_i D\rho_m)]}{\chi_i} \quad (2.21)$$

$G\epsilon(E_i) K_i$ terimine S_i dersek, i elementinin X-ışını spektrometresine hassasiyetidir.

Eş. 2.20' yi düzenlersek

$$I_i = S_iC_i \frac{1 - \exp(-\chi_i D\rho_m)}{\chi_i} \quad (2.22)$$

elde edilir.

I_i , D kalınlığındaki numunenin genel primer floresans şiddet ifadesini $\rho_m D$, birim alan başına kütleyi göstermektedir Jenkins, R., Gould, R. ve Gedcke, D. (1981).

2.8. X-Işını Floresans Analiz Teknikleri

2.8.1. Nitel analiz (kalitatif analiz)

Moseley kanununa göre karakteristik X-ışını fotonunun enerjisi ile karakteristik emisyon çizgisi oluşturan elementin atom numarası arasında basit bir ilişki vardır. Bu da her elementin verilen bir seride (K,L,M,..) karakteristik çizgilerin bir numarasını yayınladığını

gösterir. Bilinmeyen maddenin atom numarasının verilen serisinin çizgilerinden enerjini ölçülmesi ile uyarılmış elementlerin atom numarası belirlenebilir. Nitel analiz genellikle numune içindeki elementleri belirlemek için kullanılır . X-ışını tüpünden elde edilen ışıyla uyarılan numune tahribatsız olarak analiz edilebilmektedir Jenkins, R., Gould, R. ve Gedcke, D. (1981).

Herhangi bir spektral analiz metodunda olduğu gibi, bir spektral çizgiler grubu, bilinmeyen bir elementi temsil eder.

2.8.2. Nicel analiz (kantitatif analiz)

Nicel analiz bir numunedeki elementlerin yüzde olarak oranının belirlenmesidir. Nicel analizlerde önce analiz yapılacak numune hazırlanır, analit uygun seviyede uyarılır, şiddeti ölçülür ve ölçülen şiddet elementel konsantrasyona dönüştürülür (Bertin 1975).

X-ışını floresans spektroskopisinde katı, sıvı, toz numunelerle çalışılabilir. Toz numuneler ince mylar kaplı numune kaplarına konarak veya basınç altında tablet haline getirilerek analiz edilebilir.

Analizlerde ortaya çıkan soğurulma-artırma etkisi “Matris Etkisi” olarak bilinir. Soğurulma-artırma etkisi, matrisin kimyasal bileşiminden meydana gelir. Numune kalınlığına ve uyarıcı radyasyonun maddeye girginliğine ve enerjisine bağlı olarak değişir. Soğurulma-artırma etkisini azaltmak için kullanılan metodlar (Bertin 1975).

- a) Standartla Karşılaştırma Metodu
- b) Matris Seyreltme Metodu
- c) İnce Film Metodu
- d) Standart Ekleme ve Seyreltme Metodları
- e) Matematiksel Düzeltmeler
- f) Deneysel Düzeltme Metodu

Standartla karşılaştırma metodunda numunelerden elde edilen analit pik şiddeti numuneler gibi benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip standartlardan elde edilen analit pik şiddetiyle karşılaştırılır.

Analizde kullanılan standartların konsantrasyonu ve analit pik tepe şiddetleri kullanılarak lineer kalibrasyon doğrusu elde edilir.

Bu doğru,

$$I_p = mC + I_B \quad (2.23)$$

ile verilir.

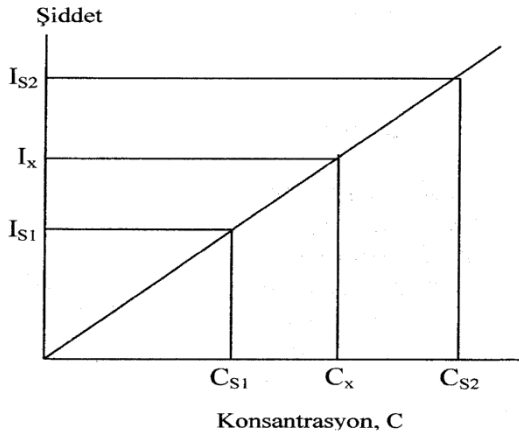
I_p pik tepe şiddeti, C konsantrasyon, m kalibrasyon faktörü birim zaman ve konsantrasyon başına sayıdır ve I_B denklem sabitidir. Numune içindeki analit konsantrasyonu x , iki standart S_1 ve S_2 arasında bulunuyorsa lineer bir doğrudan,

$$C_X = C_{S1} + \frac{I_X}{I_{S2}} \frac{I_{S1}}{I_{S1}} (C_{S2} - C_{S1}) \quad (2.24)$$

C_X analit konsantrasyonu bulunur. Lineer doğru Şekil 2.6.' de verilmiştir. Eğer kalibrasyon doğrusu lineer değil ise, iki standart metodu aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$\frac{[(I_{S1}/I_{S2})(C_{S2}/C_{S1})] - 1}{C_{S2} - C_{S1}} = \frac{[(I_{S1}/I_X)(C_X/C_{S1})] - 1}{C_X - C_{S1}} \quad (2.25)$$

Toz numunenin homojen olmaması, partikül büyüklüğünün, yoğunluğunun, şekil ve yapısının farklı olması durumlarında toz numune ile çalışmak zordur. Floresans şiddeti partikül büyüklüğü ile ilgili olduğundan, numunenin çok iyi öğütülüp homojen hale getirilmesi gerekir. Ayrıca partikül büyüklüğü ve diğer matris etkilerinin ortadan kaldırılması için, numune ve standardın aynı partikül büyüklüğüne ve matrise sahip olmaları gerekir .



Şekil 2.6. Standartla karşılaştırma metodu için kalibrasyon doğrusu

Partikül büyüklüğü etkileri;

- Partikül büyüklüğü etkileri ortadan kalkana kadar öğütme,
- Numune ve standardı aynı partikül büyüklüğü ve dağılımında, aynı metotla öğütme,
- Kuru seyreltme (tercihen aynı partikül büyüklüğünde toz ilavesi yapılır),
- Yüksek basınçta tabletleme,
- Yüksek enerjili radyasyon kullanma,
- Matematik düzeltme metotları ile kompanse edilir Jenkins, R., Gould, R.W. ve Gedcke, D. (1981).

2.9. Yapı Analizi

X-ışınları kırınım yöntemi örneğin toz halindeki malzemelerin, kristalin mineral yapılarının karakterizasyonunda kullanılan temel tekniklerden biridir. Numune üzerine gönderilen dalga boyu bilinen x-ışınları farklı açılarda Bragg kanununa göre malzemedeki düzlemler tarafından kırınıma uğratılır. Bu yöntemle elde edilen desenler her bir faz için parmak izi niteliğinde olup, malzeme içerisinde bulunan faz yapılarının tayinini sağlar. [internet:http://www.aku.edu.tr/web/Sayfa.aspx?ID=57JQM25NDAU339832AQ101](http://www.aku.edu.tr/web/Sayfa.aspx?ID=57JQM25NDAU339832AQ101).

İnorganik ve kristalin maddelerin araştırılmasına uygun olan X-Işını Toz Difraktometre cihazı oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. Metaller, alaşımlar, çimento, kil ve kayaç türünde maddeler, kaplama malzemeleri, seramikler, organik maddeler, inorganik polimerler, heterojen katı karışımlar, böbrek taşı, vb. maddeler ile içeriği bilinmeyen bir

malzemenin içerdği bileşik veya element tayini için kullanılmaktadır. internet : <http://ttm.istanbul.edu.tr/?p=8697>, son girilme tarihi 25.10 .2015.

2.10. İstatistiksel Analiz

Çok değişkenli istatistik analiz yöntemlerinden olan Faktör ve Hiyerarşik kümele analizleri XRF nitel analiz sonuçlarına uygulanarak kil tabanlı arkeolojik eserlerde köken tayinleri yapılabilmektedir.

Bu çalışmada SPSS paket programı kullanılarak istatistik analiz yapılmıştır. Amacımız sınıflama yapmak olduğu için Faktör Analizi ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi kullanılmıştır. Elde edilen kantitatif analiz sonuçlarına Faktör Analizi ve Hiyerarşik Kümeleme analizi ile gruplandırılmış ve dendrogram grafiği kullanılarak oluşturulmuştur.

2.10.1. Kümeleme analizi

Köken tayini çalışmasında çok değişkenli istatistik tekniklerden birisi olan Hiyerarşik Kümeleme Analizi tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu kümeleme analizinin amacı birbirine benzer özelliğe sahip olan objeler veya olayların aynı grupta ya da kümede toplanmasını, benzer olmayanlar ise gruplardan ayrılarak başka yerlerde yerleşmelerini sağlar. Hiyerarşik kümeleme analizinin gösterimi genellikle dendogramlardır. Kümeleme analizi iki gözlemlerin ya da değişkenlerin birbirlerine yakınlık veya uzaklıklarına bakılarak yapılır. Kümeleme analizi birbirine benzer olan gözlemlerin aynı gruplarda toplanmasını amaçlaması bakımından diskriminant analizi ile, birbirine benzer değişkenlerin aynı gruplarda toplanmasını amaçlaması nedeniyle de faktör analizi ile benzerlik göstermekte olup veri indirgeme özelliği vardır Çakmak, (1999).

2.10.2. Faktör analizi

Faktör analizi birbirleriyle ilişkili veri yapılarını birbirinden bağımsız ve daha az sayıda yeni veri yapılarına dönüştürmek, bir olayı açıkladıkları varsayılan değişkenleri gruplayarak ortak faktörleri ortaya koymak, bir olayı etkileyen değişkenleri gruplamak amacıyla yapılan bir analiz yöntemidir. Bu yöntem de de veri indirgeme söz konusudur. Faktör analizi değişkenleri gruplayarak ortak faktörler tanımlama özelliğine sahiptir.

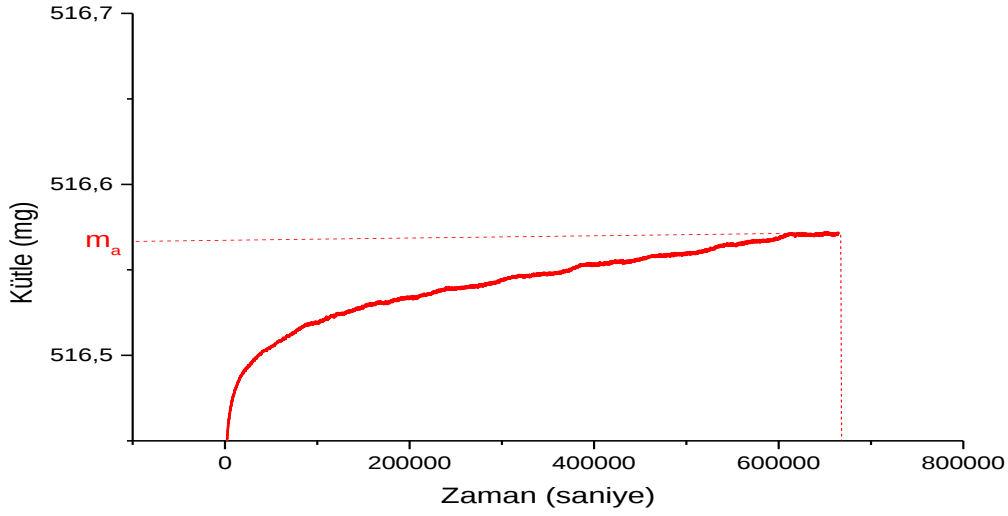
Değişken sayısını azaltmak ve değişkenler arasındaki ilişkilerden yararlanarak bazı yeni yapılar ortaya çıkarmak bu yöntemin amaçlarıdır Özdamar, (2004).

Faktör modelinin uygun olabilmesi için değişkenler mutlaka birbiri ile ilişkili olmalıdır. Faktör analizi, altında değişkenler seti olan ve faktör olarak adlandırılan genel değişkenin oluşturulması biçimidir. Faktör analizi, verilerin küçültülmesi işlemini görür Gürsakal, N., (2001).

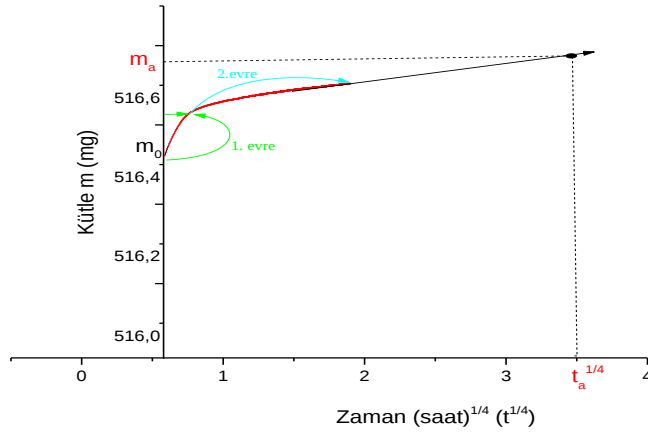
2.11. Rehidroksilasyon Tarihleme Metodu

Çevre nemiyle kil tabanlı arkeolojik örneklerin zamanın $1/4$ üssü ile ($\text{zaman}^{1/4}$) kütle kazanımı rehidroksilasyon tarihleme metodunun temelini oluşturur. Rehidroksilasyon oranları, kazı bölgesi ile örneklerin aynı iklimlendirilme koşullarına tabi tutularak kütle kazanım ölçümlerinden elde edilir.

500°C' de fırınlandıktan sonra seramik kilinin matrisi içinde 3 farklı su bulunur. Birincisi fiziksel olarak absorblanmış sudur. Sıvı olarak mevcuttur. Bu sıvının kaybı dehidrasyon, kazanç ise rehidrasyon olarak tanımlanır. İkincisi, fiziksel olarak adsorblanmış sudur. Seramik matrisinin iç yüzeyinde zayıf bağlı olan sudur ve 200°C 'nin altında yok olur. Üçüncüsü ise, kimyasal adsorblanmış sudur. seramik matrisin amorf bileşeni olan aluminosilicate mineral içinde bağlı hidroksil grupludur. Seramik numunelerinin yaşını tayin etmek için, çevre şartlarından muhafaza edebilmek ve bu tip suyun aluminosilicate mineralle yeniden birleşmesinin oranını hesaplamaya ihtiyaç vardır Clelland, S. (2013).



Şekil 2.7. Nevşehir Ovaören Seramik numunelerinin yapımından kazıdan çıkarıldığı tarihe kadar olan sürede almış olduğu kütlesi



Şekil 2.8. Rehidroksilasyon yaş tayini metodunun şematik gösterimi

Seramik numunesinin yaşını hesaplayabilmek için Şekil 2.8' deki 2 evrede kırmızı çizgiyle çizilen bölümü lineer fit edersek,

$$m = \alpha t^{1/4} + c \quad (2.26)$$

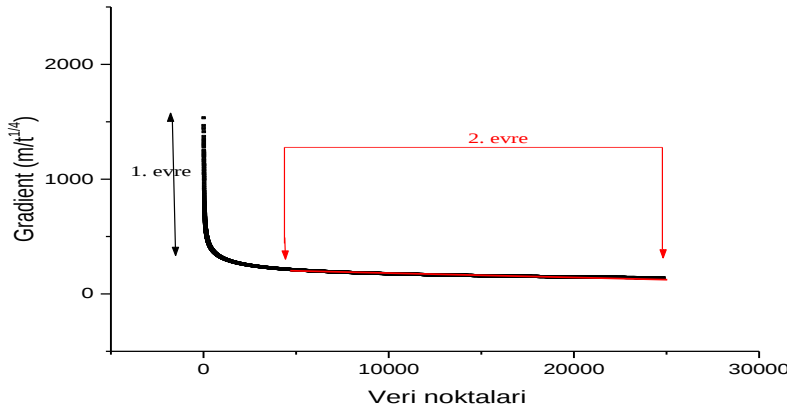
elde edilir. Burada α ve c sabittir. α doğru denkleminin eğimini, c ise $t = 0$ °C' de eksenini kestiği noktadır. m_a değeri ise ilgilendiğimiz seramik numunesinin yaşamı boyunca

kazanmış olduğu kütledir ve bu kütleye karşılık gelen zaman skalası ise bize numunenin yaşını verir.

Burada belirgin 2 evre mevcuttur. 1. evre 500°C' de fırınlandıktan sonra çevre şartlarıyla dengeye gelmesidir. Çok kısa, yaklaşık bir kaç saat sürmektedir ve numunenin yaşını belirlemeye hiç bir katkısı yoktur. 2. evre sadece Rehidroksilasyon sürecinden dolayı kütle kazanımıdır ve çok önemlidir. Bu evrenin gradienti sabit olması gerekmektedir. Şekil 2.9.' da gösterilmiştir. Bunun için uygun zaman geçtikten sonra veri almaya devam edilir. Çünkü seramiğin yaşını belirlemede bu veriler kullanılacaktır. Wilson, M. (2009), Hamilton, A. ve Hall, C. (2012).

$$m_a = \alpha t_a^{1/4} + c \quad (2.27)$$

halini alır.



Şekil 2.9. Her iki evrenin veri noktalarına karşı Şekil 2.8.' deki deneysel verilerden elde edilmiş zaman^{1/4} ' e karşı kütlenin gradienti

Deneysel değerleri yerlerine yazılıp buradan t_a çekilirse, numunenin ilk yapım zamanındaki seramik ocağından çıktığı tarihe ulaşılır.

3. DENEYSEL KISIM

3.1. Kazı Bölgeleri ve Arkeolojik Örnekler

3.1.1. Nevşehir ovaören kazı bölgesi

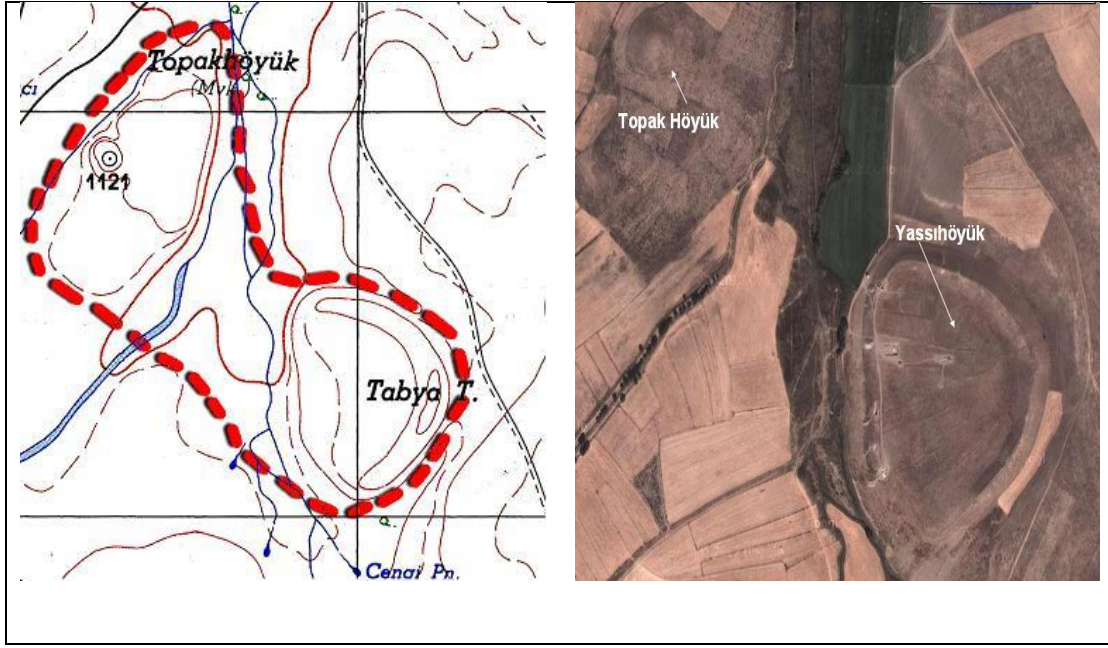
Nevşehir Ovaören kazı bölgesi, Nevşehir İli, Gülşehir İlçesi'ne, bağlı eski adı Göstesin olan Ovaören Kasabası'nın 2.5 km güneyinde yer almaktadır. Ovaören, yöre halkının Yassihöyük (Tabya Tepe) ve Topak höyük olarak adlandırdığı ve birbirlerinden yaklaşık 350 m uzaklıkta yer alan iki yerleşim alanından oluşmaktadır (Harita 3.1.). Bunlardan 500 x 350 x 15 m boyutlarındaki Yassihöyük etrafı yer yer 10 m yükseklikte korunmuş surlarla çevrili bir kent yerleşmesidir. Söz konusu kentin yaklaşık 500 m kuzey batısında yer alan Topak höyük ise 110 x 90 x 20 m boyutlarında küçük bir höyüktür. Üst kısmı giderek sivrileşen höyüğün doğu eteğinden başlayarak surlarla çevrili kente doğru uzanan, ova seviyesinden yaklaşık 5 m yüksekliğe sahip geniş teras her iki yerleşimi birbirine bağlayan aşağı şehri oluşturmaktadır Senyurt , (2008).

2007 yılından itibaren kazı çalışmaları Arkeolojik Çevre Değerleri Araştırma Merkezi Müdürü (ARÇED) ve Gazi Üniversitesi Arkeoloji Bölüm başkanı S.Y. Şenyurt öncülüğünde başlamıştır. Ovaören'de söz konusu yerleşim birimleri Orta Anadolu yerleşim tarihine ışık tutan kesintisiz bir kültürel devamlılık sunar. Yapılan ayrıntılı yüzey araştırmaları ve kazılar Ovaören'de yerleşimin Kalkolitik Çağ'a (M.Ö 5500-3000) kadar indiğini göstermektedir. Kızılırmak'ın kollarından birini oluşturan Bağderesi ve Kerük Deresi gibi küçük derelerin de beslediği kaynak etrafında gelişen bu yerleşim birimlerinden Topakhöyük Kalkolitik Çağ'dan Erken Tunç Çağı sonuna kadar iskan görmüştür. Orta Tunç Çağı'nda yerleşim, höyüğün doğusuna doğru gelişmiş ve bu alanda Asur Ticaret Kolonileri Çağı'nı temsil eden bir kent haline dönüşmüştür. Geç Tunç Çağı'nda kaynağın oluşturduğu derenin doğu yakasına kayan yerleşim, etrafı surlarla çevrili büyük bir Hitit kenti olarak varlığını devam ettirmiştir. Demir Çağı'nda da yoğun yerleşime sahne olan surlarla çevrili kentin gerek Hitit İmparatorluk ve gerekse Geç Hitit Dönemi'nde özellikle Tabal Krallığı'na bağlı önemli kentlerden biri olduğu anlaşılmaktadır. Daha önceden bilinen Suvasa ve yeni keşfettiğimiz Göstesin hiyeroglifli

kitabelerinin söz konusu kente sırasıyla 2.5 km ve 3.5 km mesafede yer almaları bu düşünceyi doğrulamaktadır.

Tabal Krallığı hakkında, yaşayışı, kültürü, ticareti vb. konularda çok fazla bilginin olmaması bu kazı bölgesinden çıkarılan arkeolojik seramiklerin kökeninin belirlenmesinin önemini arttırmaktadır. Kalkolitik Çağ'dan Orta Çağ'a kadar kesintisiz bir yerleşime sahne olan Ovaören Anadolu' içinde oldukça önemli bir jeopolitik konuma sahiptir. Zengin maden rezervleri nedeniyle birçok güçlü devletlerin çekişme alanında olmuştur. Kral Yolu ile İpek Yolu'nu Anadolu'nun orta kesiminde birbirine bağlayan doğal bir güzergah üzerinde yer almasıyla önemini artıran Ovaören bundan sonraki kazı ve araştırmalarla Anadolu Arkeolojisi'ni aydınlatmaya devam edecektir. Ayrıca Kayseri yada Ovaören'e yakın bölgelerde bazı çağlara ait tarihi kalıntılar yoktur fakat Ovaören'de her döneme ait mevcuttur Senyurt , (2008). Ovaörende tunç çağı yaklaşık (M.Ö. 2700-1180) dönemlerini kapsamaktadır. Bu dönemler içerisinde Asur Ticaret Kolonileri çağı (M.Ö. 2000- 1720) dönemlerinde bölge ticaret merkezi konumunda olmuştur. Nevşehir Ovaören bölgesi, Kral yolu ve İpek yolunun kesiştiği bölgede olması sebebiyle bölgenin önemini daha da artırmaktadır. İpek yolu, Çin'in en uç noktasından başlayıp Anadolu'nun çeşitli yerlerinden geçerek İstanbul'da birleşen ve oradan da Avrupa'nın içlerine giden bu yol boyunca, yükleri taşıyan kervanlar sadece ticaretin gelişmesini değil, Asya ile Avrupa arasında günümüzde de izleri görülen kültür alışverişini de sağlamıştır. M.Ö. 6. yüzyılda Kral Yolu, Efes'ten başlamakta ve Sardes, Gordion, Hattuşaş üzerinden Kayseri'ye varmakta ve Gülek Boğazı'ndan geçerek Susa'ya ulaşmaktaydı. Zaman içerisinde Hattuşaş'ın önemini kaybetmesiyle Kral Yolu Tuz Gölü'nün güneyinden geçmeye başlamıştır. internet:URL:[http://www.bilgiyuvasi2016.com/baharat-yolu-kral-yolu-ve-ipek-yolu-turkiye %e2%80%99de-hangi-guzergahi-izlemistir.html#ixzz3rba6qrPW](http://www.bilgiyuvasi2016.com/baharat-yolu-kral-yolu-ve-ipek-yolu-turkiye-%e2%80%99de-hangi-guzergahi-izlemistir.html#ixzz3rba6qrPW)

Nevşehir Ovaören' de M.Ö. 330-100 yılları arasında Helenistik, M.Ö. 550-330 yılları arasında Akamenid, M.Ö. 610-550 Med- Lidya, M.Ö. 700-610 Kimmer- İskit (Geç Tabal), M.Ö. 1550-700 yılları arasında Hitit dönemi, M.Ö. 2000-1720 yılları arasında Asur Ticaret Kolonileri Çağı mevcuttur.



Harita 3.1. Nevşehir Ovaören Arkeoloji kazı bölgesi



Resim 3.1. Nevşehir Ovaören Arkeoloji kazı bölgesinin son hali



Resim 3.2. Nevşehir Ovaörenait bazı seramik numuneleri ve yazıt



Resim 3.3. Nevşehir Ovaören bölgesine ait bazı seramik numuneleri

Seramik örneklerden bazılarının resimleri Resim 3.2. ve 3.3. 'de verilmiştir.

Nevşehir Ovaören bölgesindeki kazılardan elde edilen seramiklerde kullanıldığı düşünülen kil numunelerin alındığı bölgesel kil yatakları resimleri Resim 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8 'de verilmiştir.



Resim 3.4. Cingi Pınarı



Resim 3.5. Ovaören Tömbül



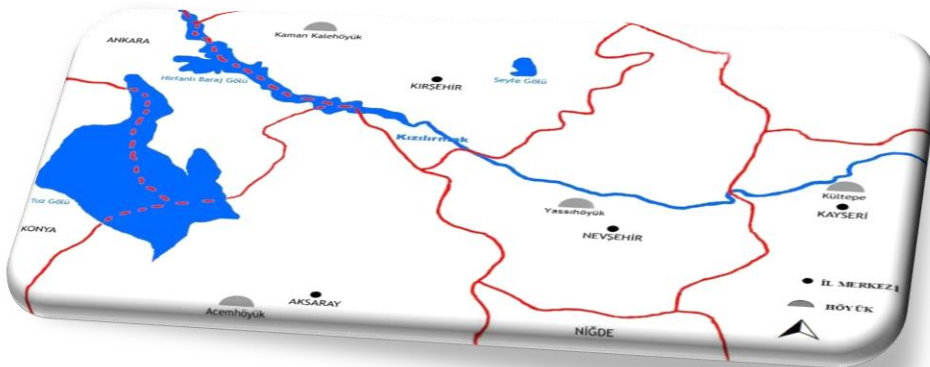
Resim 3.6. Yalıntaş Göleti



Resim 3.7. Çorak Özü (1. yer)



Resim 3.8. Çorak Özü (2. yer)



Harita 3.2. Nevşehir Ovaören Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepekazı bölgeleri

3.1.2. Aksaray Acemhöyük kazı bölgesi

Orta Anadolu’ da kuzey-güney, doğu-batı eski ticaret yolunun yakınındaki Acemhöyük yerleşimi 700x600 m.lik höyük ve bunun çevresindeki Aşağı şehirden oluşur. Höyük en az Eski Tunç Çağı (M.Ö. 2500) başından itibaren iskân görmüştür. Kentte en parlak dönem Asur Ticaret Kolonileri Döneminde (M.Ö.2000-1800) yaşanmıştır. internet: <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/Eklenti/10075,turkiye-arkeolojisi.pdf?0> Aliye Öztan Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih- Coğrafya Fakültesi, Arkeoloji Bölümü Aksaray Acem Höyüğüne ait bazı seramikler Resim 3.9' da gösterilmiştir.



Resim 3.9. Aksaray Acem Höyük kazılarında elde edilen bazı seramikler

3.1.3. Kayseri Kültepe kazı bölgesi

Kayseri-Sivas karayolunun 20. km.sinde yolun 2 km. kuzeyindedir. Yüksekliği 22 m. çapı 50 metreyi bulan bir höyük tepe ile onun etrafını çeviren "Karum" adı verilen aşağı şehirden ibarettir. Karum sahası; höyüğün doğu ve güneydoğu eteklerini çevirmektedir. M.Ö. 1950-1650 yıllarında Anadolu'ya ticaret maksadıyla gelen Asurlu tüccarlar tarafından iskân edilmiştir. internet: <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44894/kanesh-kultepe.html> Kayseri Kültepe' ye ait bazı seramikler Resim 3.10 'da gösterilmiştir.



Resim 3.10. Kayseri Kültepe kazılarında elde edilen bazı seramikler

3.2. Deney Sistemleri

Kullanılan sistemler, pigment ve elementel analizler için μ XRF, PANalytical Axios WDXRF spektrometresi, yaş tayini deneyleri Aquadyne DVS Su Soğurma Analizörüdür. Radyoaktivite Ölçüm ve Analiz Bölümünde, yapı analizleri de Teknoloji Bölümünde bulunan Bruker D8 Advance model X-ışını toz kırınım difraktometresi ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Mikro XRF spektrometresi

Mikro-XRF spektrometresi (Resim 3.11.), dedeksiyon sistemi olarak katı hal Si(Li) Peltier-soğutmalı dedektör (aktif alanı 10 mm^2), uyarıcı kaynak olarak 30 W'lik Mo anotlu X-Işını tüpü kullanmaktadır. Tüpten çıkan X-ışınlarını numuneye yönlendirmek için polycapillary lens'li bir geometri mevcuttur. Yerleştirilen uzun mesafeli optik mikroskop numunenin yüzeyi üzerinde ilgilendiğimiz ve analizi gerçekleştirilecek noktanın belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Bu deneysel düzeneğin 3 boyutlu 0,01 mm'lik adımlarla hareket yeteneğine sahip olması, 5 cm^2 'lik bir yüzeyin elementel haritalandırmasına olanak sağlar.



Resim 3.11. Enerji Dağılımlı Portatif μ -XRF Spektrometresi (İnternet : <http://www.taek.gov.tr/kurumsal/birimler/bagli-kuruluslar/sanaem/191-radyoaktivite-ve-analitik-olcum-bolumu.html>)

3.2.2. Dalgaboyu dağılımlı XRF spektrometresi

Tablet haline getirilmiş olan numuneler PANalytical Axios WDXRF spektrometresi (Resim 3.12) ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerde Majör element analizi için sistemde yer alan yarı kantitatif analiz programı IQ+ kullanılmıştır. Trace (eser) elementi

analizinde ise yarı kantitatif analiz programı olan Pro Trace programı kullanılmıştır. Numunenin uyarılması için kullanılan 4 kW'lık Rh hedefli X-Işını tüpüdür. Tüp çıkış penceresi önünde numune kabını uyarmayıp sadece numuneyi uyarmasını sağlayan ve ölçüleri numune kabına otomatik olarak ayarlayan slit geometrisi mevcuttur. Ölü zaman (dead time)'ı azaltmak yani dedektörde saturasyonu önlemek ve istenmeyen tüp ışınlarını yok etmek için filtreler kullanılmıştır. Numunenin uyarılması ile ortaya çıkan karakteristik X-Işınlarının açısal dağılımını sağlamak içinde kristal seti mevcuttur.



Resim 3.12. PANalytical Axios WDXRF spektrometresi (İnternet:<http://www.taek.gov.tr/kurumsal/birimler/bagli-kuruluslar/sanaem/191-radyoaktivite-ve-analitik-olcum-bolumu.html>)

3.2.3. X-Işını toz difraktometresi sistemi

Bazı örneklerin yapı analizi X-ışını difraktometresi ile yapılmıştır. Analizler Bruker D8 Advance model difraktometre ile gerçekleştirilmiştir. Resim 3.13' de X-ışını difraktometresinin şekli verilmiştir.

Analizler toz kırınım yöntemiyle yapılmıştır. Difraktometrede hedef bakır (Cu) tüptür. Kullanılan detektör NaI detektörüdür. $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu yayınlayan kaynak içerisinde ışınlanmıştır. Hedefe gelen farklı dalga boylu ışınlar monokromatörde tek dalga boyuna indirger. Böylece dalga boyu ve enerji sabittir.



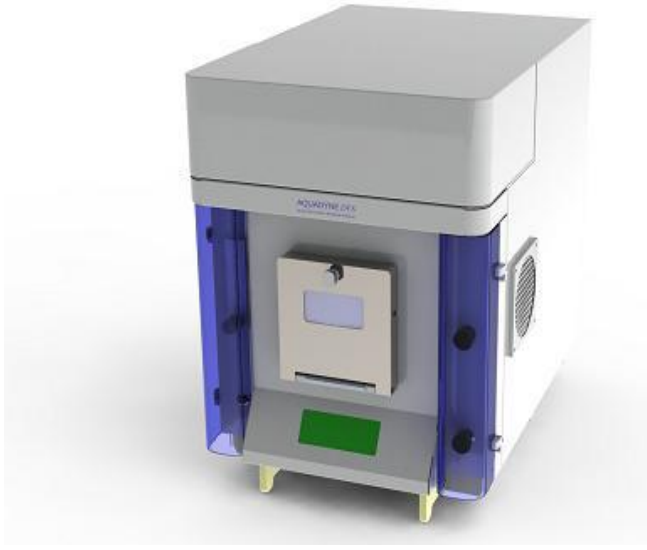
Resim 3.13. Bruker D8 Advance model X-ışını difraktometresi (İnternet: <http://www.taek.gov.tr/malzeme-teknolojisi/591-xrd-nedir-x-isini-kirinimi-nedir.html>)

3.2.4. Aquadyne DVS su soğurma analizörü

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen 8 adet seramik numunenin yaş tayini analizi su soğurma analizör ile yapılmıştır. Resim 3.14' de Aquadyne DVS marka su soğurma analizörünün şekli verilmiştir.

Çizelge 3.1. Aquadyne DVS marka su soğurma analizörünün özellikleri

Balans tipi	Ultra duyarlı elektronik mikrobals
Balans Kapasitesi (herbiri)	5g
Balans Kapasitesi (birlikte)	10g
Dinamik tartım bölgesi (herbiri)	-500mg to +500mg, 0 to +1000mg
Dinamik tartım bölgesi (birlikte)	-1000mg to +1000mg, 0 to +2000mg
Tartım rezolasyonu	0.1µg
Bağıl nem aralığı	<2% - 98% (sıcaklığa bağlı)
Bağıl nem rezolasyon	0.1%
Bağıl nem doğruluğu	± 0.8% Bağıl nem 25°C 'de
Numune kabin sıcaklık aralığı	<10 - 80°C
Numune kabin sıcaklığı hassasiyeti	± 0.1°C
Gaz akış oranları	0 - 200 cm ³ /dak



Resim 3.14. Aquadyne DVS su soğurma analizörü

Kazı bölgelerinden getirilen seramik numunelerine ilk önce numuneyi yıkadıktan sonra tel fırçayla yada zımparayla yüzeyde oluşan kalıntıları, sır ve boya malzemelerinden kurtulmak amacıyla seramiğin hammaddesine kadar yok edilerek temizlenir. Terazide yaklaşık olarak 0,50-0,60 gr olacak şekilde tartılır. Numuneyi gece boyunca fırında yaklaşık 105 °C' de çevre neminden kurtulmak amacıyla kurutulur. Sonra Aqua Dyne DVS marka su soğurma analizörü cihazına numuneye dışarıdan nem almayacak şekilde taşınır. Nevşehir iline ait meteoroloji'den yaklaşık son 50 yıla ait sıcaklık ve nem değerleri alınarak ortalamaları hesaplanmış ve sırasıyla 10,4 ° C ve %59,9 olarak bağıl nem değerleri elde edildi. Ovaörene ait meteorolojik bir veri bulunmadığından en yakın bölge Nevşehir değerlerini kullanıldı. Burada ilk yapılan deney Şekil 2.7.' deki m_a değerini deneysel olarak bulmaktır. Bunun için cihazın kabin sıcaklığını 10,4 ° C ve bağıl nemi %59,9 olacak şekilde ayarlanıp yaklaşık 26-30 gün boyunca (numunenin kil yapısına bağlı olarak) ve 30 saniye aralıklarla seramik numunesinin 0,1 μ gr hassasiyetle kütlesi sabit kalıncaya kadar deneyi sürer. Bu deneyi yapmamızın amacı, seramik numunesinin yapıldığı günden kazı yapılana kadar geçen sürede yani gömülü olduğu uzun yıllar boyunca kazanmış olduğu kütleye ulaşmaktır. Bu kütle değeri yaşını belirlemek için ilk adımdır ve çok önemlidir. Bu deneysel verinin yanlış belirlenmesi, numune yaşını yanlış hesaplamaya yol açar. Cihazda iki adet kefe bulunup iki adet seramik numunesinin aynı anda deneyi yapılabilir. Bu m_a değeri deneysel olarak belirlenir. Böylece numunenin yaşına ait olan kütle elde edilmiş olur. Bu deneye ait grafik Şekil 2.7' de gösterilmiştir.

İkinci deney ise, cihazdan numune alınıp 500 ° C' de yaklaşık 4 saat fırında kurutulur. Pişirme esnasında zayıf bağlı moleküler su kaybolur, 450 -900 ° C deki sıcaklıkta su $2 \text{ OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}^{2-}$ kimyasal dehidroksilasyon vasıtasıyla kaybolur. Fırından numuneler alınıp yaklaşık 2-3 saat desikatörde soğutulur. Sonra mikro balans cihazına taşınır. Tekrar kabin sıcaklığını 10,4 ° C ve bağıl nemi % 59,9 olacak şekilde ayarlanır. Yaklaşık 25-30 gün boyunca 30 saniye aralıklarla kütle değerleri alınır. Seramik numunesi 500°C' de fırınlandıktan sonra deney süresi boyunca geçen zaman ($\text{saat}^{1/4}$) $t^{1/4}$ e karşı kütle kazanımı mg olarak Şekil 2.8.' deki grafikte gösterilmiştir.

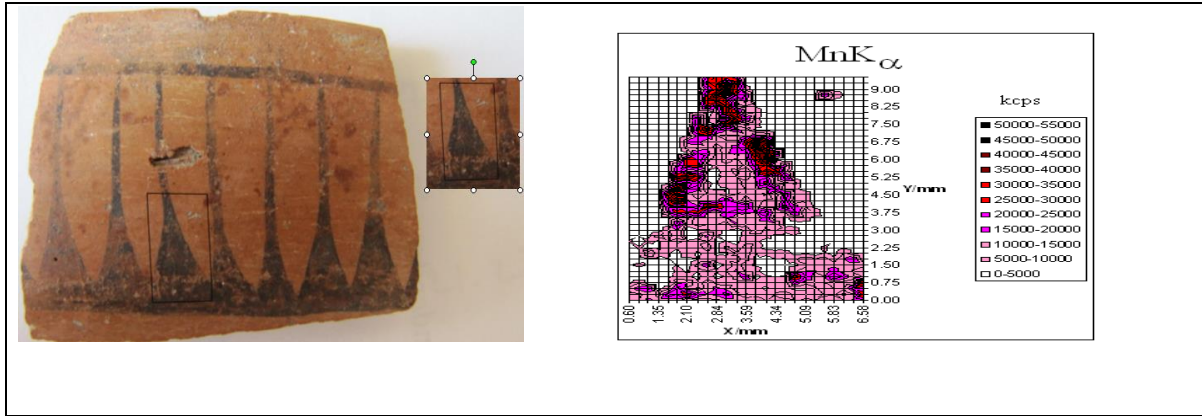
4. ANALİZLER

4.1. Pigment Analizi

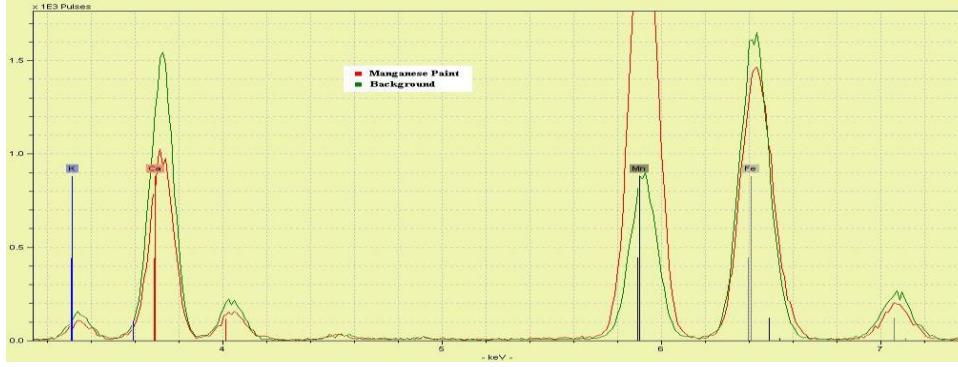
Gazi Üniversitesi Arkeoloji Bölümü ARÇED tarafından sağlanan yakın demir çağı (M.Ö. 600-330.), Orta demir çağı (M.Ö.850-600) ve Orta tunç çağı (M.Ö. 2000-1650) dönemlerine ait olduğu tahmin edilen 20 adet Ovaören seramiğinin pigment analizleri mikro XRF spektrometresi ile yapılmıştır.

Bütün numuneler analizi yapılmadan önce uzun yıllar toprak altında kalması nedeniyle yüzeyinde oluşan tortular yıkanıp ve fırçayla temizlenmiştir. Sonra desenleri ve desenlerin altındaki zemini içerecek şekilde analizleri gerçekleştirilmiştir. Nevşehir Ovaörene ait bazı boyalı seramikler Resim 3.2. ve 3.3.' de verilmiştir.

Seramikteki desenlerin rengi siyah,kahve ve bunların karışımından oluşmaktadır.Bu çalışmada mikro-XRF vasıtasıyla 20 adet seramik numunesi haritalandırılmıştır. Yassı Höyük seramiği Numune kodu YH10 IL 175 124/7 olan Yassı Höyük seramiği siyah renk pigmentine sahiptir. Numunenin elementel haritasının çıkarıldığı bölge ve bu bölgenin Mn elementi için haritası Şekil 4.1.'te verilmiştir.



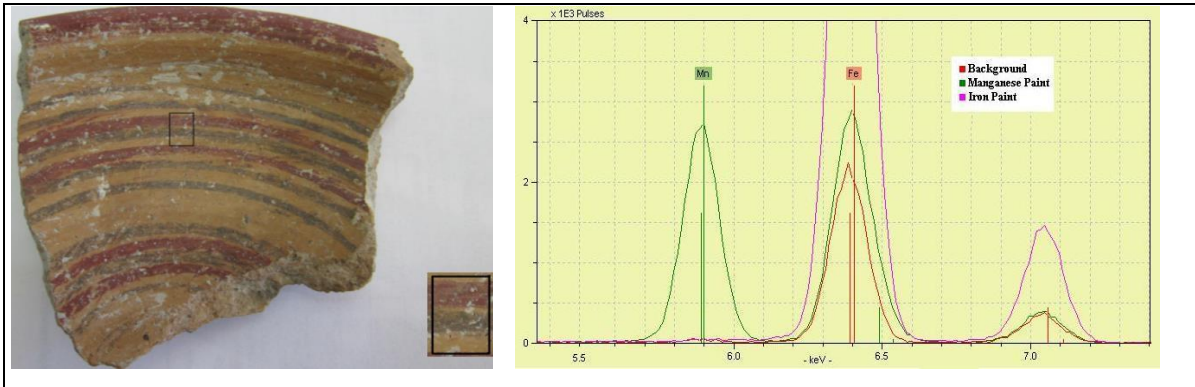
Şekil 4.1. Yassıhöyük Seramiğinin elementel analiz yapıldığı kısmı (YH10 IL175 124/7) ve Mn elementine göre çıkarılmış elementel haritası



Şekil 4.2. Yassihöyük Seramik (YH10 IL175 124/7) numunesinin renk pigmenti ve üzerinde bulunduğu zeminin mikro XRF spektrumu

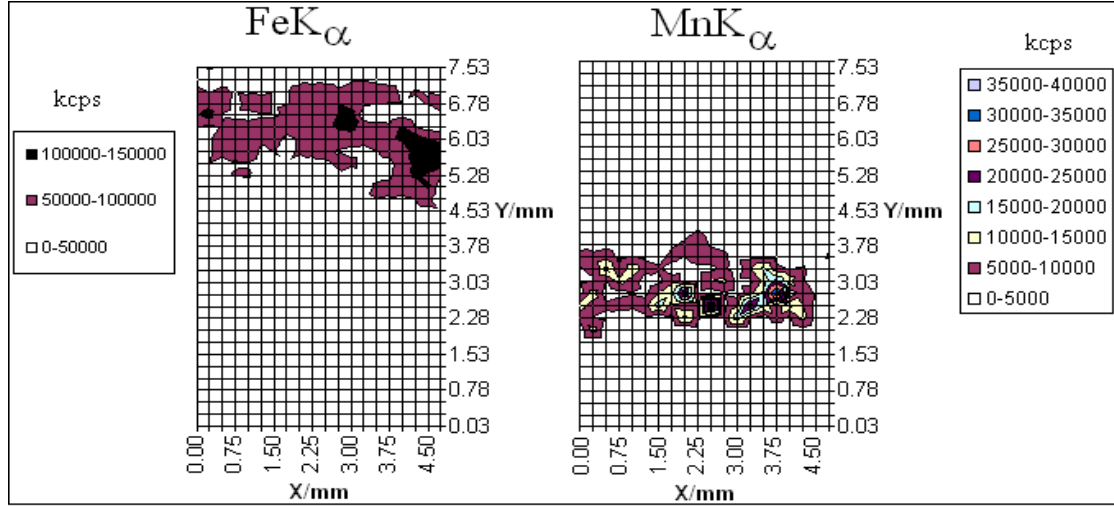
Mikro XRF haritalandırma analizi göstermiştir ki siyah pigmentler majör olarak Mn (mangan) ve minör olarak Ca (kalsiyum) ve V (Vanadyum) içerir. Bu seramiğin ve üzerindeki siyah pigmentin XRF spektrumu üst üste çizilmiş hali Şekil 4.2’ de verilmiştir. Mn cevherinin Yakın demir çağında seramiklerde siyah renk pigmenti olarak kullanıldığını göstermektedir.

Diğer bir Yassihöyük seramik numunesi (numune kodu:YH 97 C15) siyah ve kırmızı pigmente sahiptir. Seramik, siyah ve renk pigmentinin mikro-XRF spektrumunun üst üste çizilmiş hali Şekil 4.3’de verilmiştir. Seramik malzemelerinin XRF spektrumu, siyah ve kırmızı pigment sırasıyla kırmızı, yeşil ve pembe renklerin şekli çizilmiştir. Mikro XRF analizi sonuçları göstermiştir ki siyah pigmentte majör olarak MnO ve minör olarak V içermektedir. Benzer olarak kırmızı pigment ise majör olarak Fe_2O_3 ve minör olarak V ve As içerdığını göstermiştir.



Şekil 4.3. Yassihöyük Seramiğinin (YH 97 C15) analiz yapıldığı kısmını gösteren resim ve renk pigmentlerinin zeminle birlikte mikro XRF spektrumu

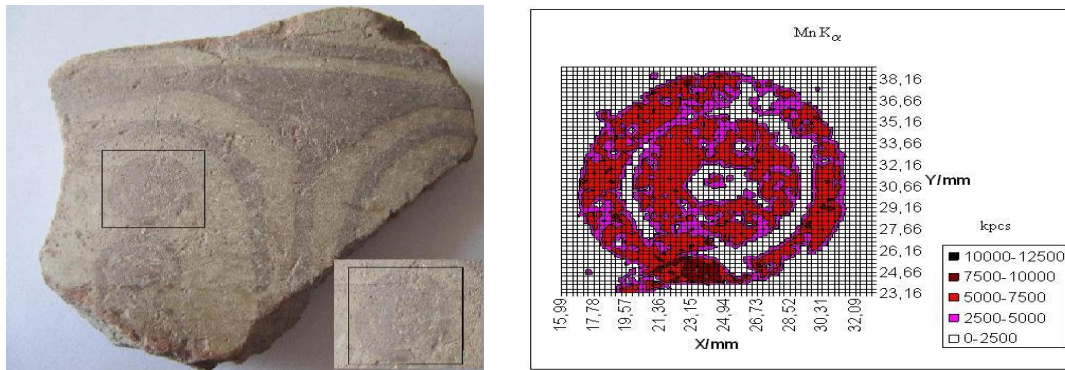
Bu seramiğin MnO ve Fe₂O₃ elementlerine göre çıkarılmış elementel haritaları Şekil 4.4’de verilmiştir. Bu da gösterir ki; Mn ve Fe cevherleri Yakın demir çağında seramikler de siyah ve kırmızı pigmentler de kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Yassıhöyük seramiğinin (YH 97 C15) haritalandırılma sonucu

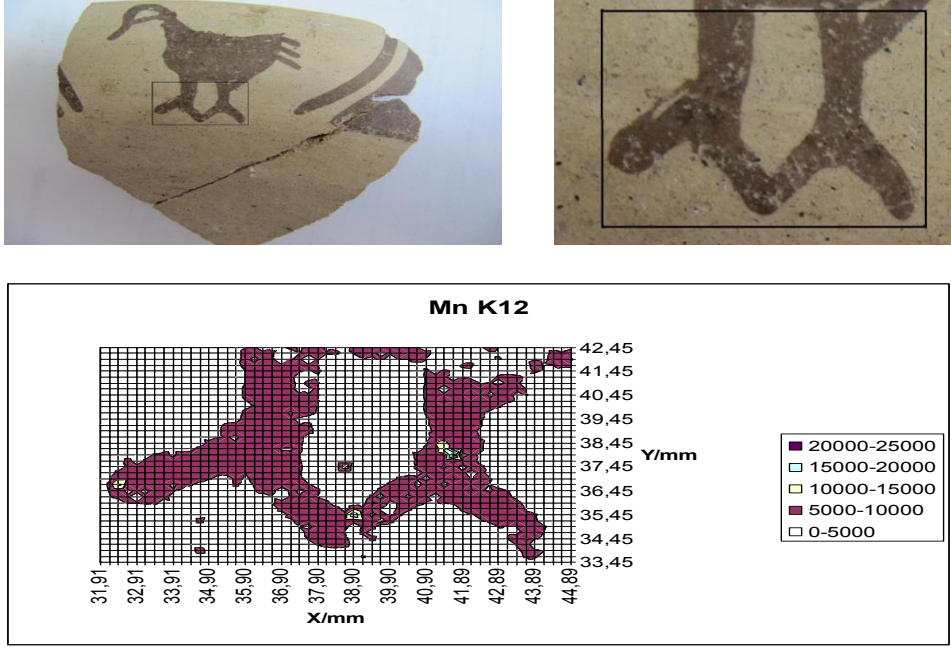
Numune kodu TH 07 H20/7 olan ve Topakhöyük numunesi üzerindeki şekiller zamanla silinmiş ve yüzey aşınmasından dolayı renginin ne olduğunu söylemenin mümkün olmadığı bir seramiktir. Bu seramik Fe elementi için herhangi bir elementel harita

çıkılmamaktadır. Mn elementi için elementel haritanın kolayca ortaya çıktığı yani şeklin renginin siyah olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.5). Böyle durumlarda mikro-XRF yardımıyla pigmentler ve onun orijinal renklerini ve şekillerini kolayca belirlenebilmektedir.

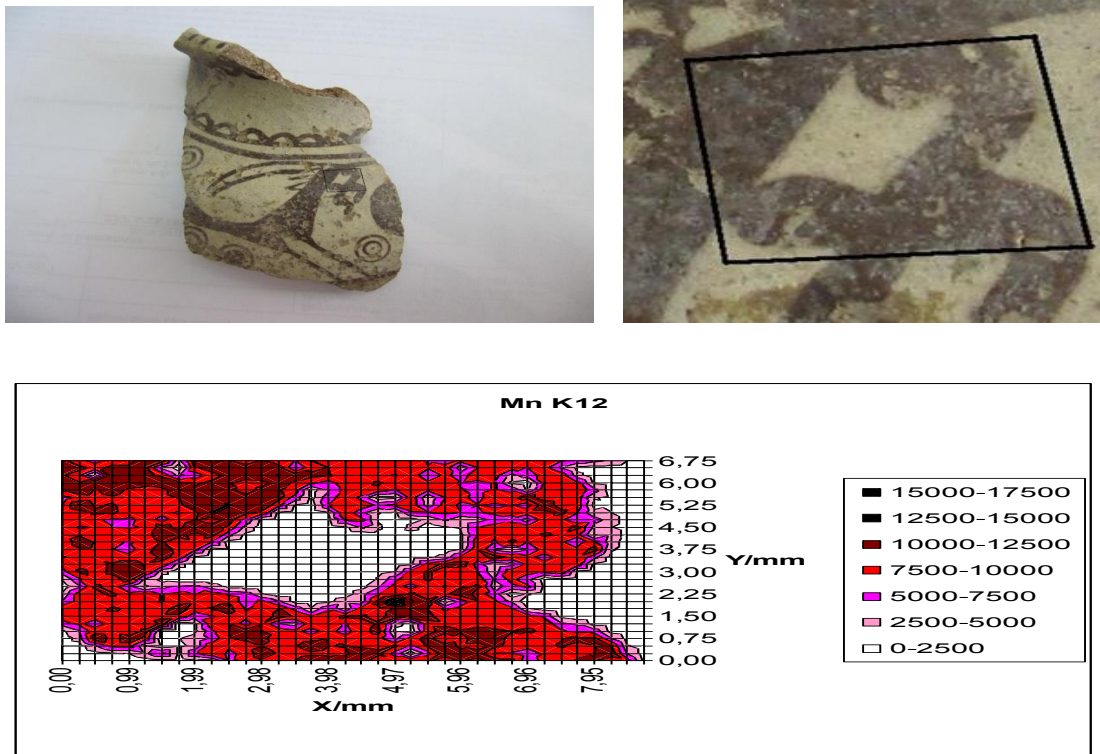


Şekil 4.5. Topakhöyük seramiğinin şekli ve haritalandırma sonucu (TH 07 H20/7)

Bu çalışmada Nevşehir Ovaören kazı bölgesinden elde edilen 20 adet seramiğin elementel haritalandırmasından çıkan analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Yassihöyük Seramiğinin elementel analiz yapıldığı kısmı (YH 10 SUR 2) ve Mn elementine göre çıkarılmış elementel haritası



Şekil 4.7. Yassihöyük seramiğinin elementel analiz yapıldığı kısmı (YH 10 IL 175 104) ve Mn elementine göre çıkarılmış elementel haritası

Çizelge 4.1. Yassı Höyük ve Topak Höyük seramikleri ve onların kalitatif analiz sonuçları

Numune Kodu	Renk	Gözlenenler		Dönemi	Numune Kodu	Renk	Gözlenenler		Dönemi
		Major Elementler	Minor Elementler				Major Elementler	Minor Elementler	
AS09 GE-47 19/40	Kırmızı	Fe		Orta Tunç Çağı	YH 10 IK 175 59/4	Siyah	Mn	Ti, Ba	Geç Demir Çağı
TH 07 GT 184	Siyah	Mn	Ni,Cr, V	Orta Tunç Çağı	YH 97 C3	Koyu Kahverengi	Fe+Mn		Geç Demir Çağı
						Siyah	Mn		Geç Demir Çağı
TH 07 GT 183	Kırmızı	Fe	As	Orta Tunç Çağı	YH 10 IL175 75/1	Siyah	Mn	V	Geç Demir Çağı
	Siyah	Mn			YH 10 IL175 10/4	Siyah	Mn		Geç Demir Çağı
YH 10 SUR 2	Siyah	Mn	Ti	Orta Demir Çağı	YH 10 IK175 52/9	Siyah	Mn	Ti	Geç Demir Çağı
TH 07 H 207	Siyah	Mn	Ti, V	Orta Demir Çağı	YH 07 6/85	Koyu Kahverengi	Fe+Mn	V	Geç Demir Çağı
YH 10 IK175 80/1	Koyu Kahverengi	Fe+Mn		Orta Demir Çağı	YH 07 62/18	Koyu Kahverengi	Fe+Mn		Geç Demir Çağı
YH10 IL175 124/7	Siyah	Mn	Ca,V	Orta Demir Çağı	YH07 E8 33/3	Koyu Kahverengi	Fe+Mn		Geç Demir Çağı
YH07 B9/1	Kırmızı	Fe		Orta Tunç Çağı	YH 97 C15	Kırmızı	Fe	V, As	Geç Demir Çağı
YH09 IJ175 40/1	Siyah	Mn		Orta Demir Çağı		Siyah	Mn	V	Geç Demir Çağı
YH10 IK175 207/12	Koyu Kahverengi	Fe+Mn	V	Orta Demir Çağı	YH07 2/79	Kırmızı	Fe	Cr, V	Geç Demir Çağı
						Koyu Kahverengi	Fe.Mn		Geç Demir Çağı

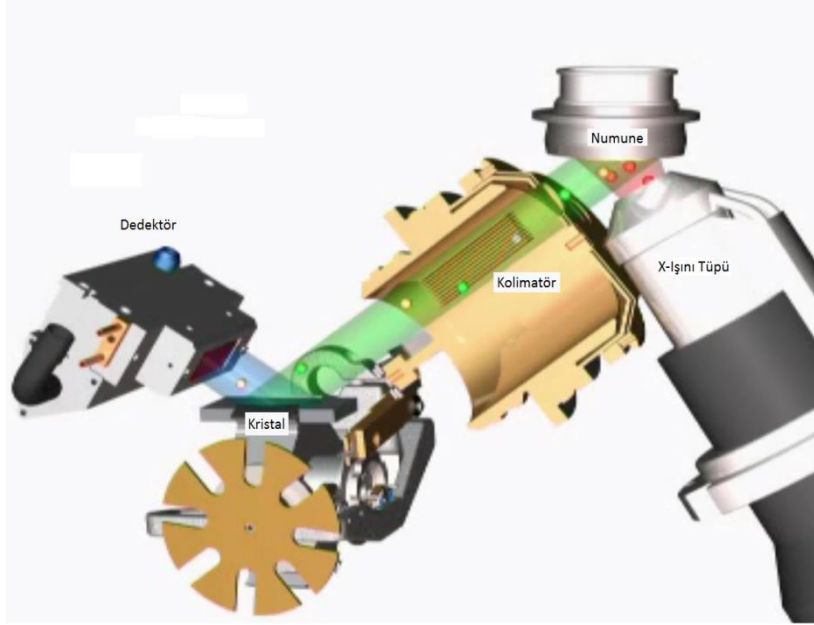
Ovaören kazı bölgesine ait seramiklerin desenlerindeki gözlenen boyalar genellikle siyah, kırmızı, kahverengi ve bunların çeşitli tonları şeklindedir. Yapılan mikro XRF analiz sonucuna göre majör element olarak Mn ve Fe elementleri seramiklerde sırasıyla siyah ve kırmızı renkleri vermesi için kullanılmıştır. Minör elementler olan Ni, Cr, V, As, Ti ve Ba kullanılan Mn ve Fe cevherinden geldiği ve renk tonlamasında fazla katkısı olmadığı ortaya çıkmaktadır. Kahverengi ve bunların tonları ise siyah ve kırmızı renk veren Mn ve Fe elementlerinin karışımlarıyla elde edilmiştir. Bazı kahverengi ve bunların tonları gibi görünen desenlerde ise analiz sonucunda sadece Mn elementi kullanılmıştır. Bu da göstermiştir ki, çıplak gözle görülemeyen ya da tarih boyunca silinmiş desenlerde kullanılan pigmentler analiz sonucu ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma, bölgede kazıda bulunan önemli seramik parçalarının birleştirilmesinde, taklit olup olmadığının belirlenmesinde, restorasyonunda ve eserlerin korunmasında önemli bir literatür kaynağı olacaktır. Ayrıca seramik numunesi dışındaki önemli arkeolojik eserlerde de bu yöntemin uygulanmasıyla benzer çalışmaların yapılabileceğinin de önünü açmaktadır. Bu yöntem, bu tür arkeometrik çalışmalara önemli katkılar sağlayabilir.

4.2. Elementel ve Yapı Analizi

4.2.1. WDXRF spektrometre ile elemental analiz

Nevşehir Ovaören Yassı Höyüğe ait demir çağı seramik numunelerinin elementel analizi

Bu çalışmada, Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen 27 adet Yassı Höyüğe ait demir çağı (M.Ö. 1000-330) seramik numuneleri (fincan, bardak, çanak ve tepsi) uzun süre toprak altında kalması sebebiyle yüzeyinde oluşan tortulardan kurtulmak için suyla yıkandı, yüzeyi fırçalandı ve temizlendi. Nevşehir Ovaören'nin çeşitli bölgelerine ait seramiğin hammaddesinde kullanıldığı düşünülen 5 adet kil numuneleri içerisinde bulunan ot, taş vs. gibi yabancı cisimler temizlendikten sonra yaklaşık 700 derecede fırında pişirildi. Kil ve tüm seramik numuneleri izinli olduğundan dolayı öğütücüde öğütüldü ve homojen hale getirmek için yeterli miktarda alınarak karıştırıcıda 15 dakika karıştırıldı. 25 tonluk basınç altında toz numunelerden yaklaşık 3 gramlık tablet elde edildi. Bu hazırlanan seramik ve kil numuneleri WDXRF spektrometre (Resim 4.1.) ile kalitatif ve kantitatif analizleri yapılmıştır.



Resim 4.1. WDXRF spektrometresinin şematik gösterimi

Numunelerde majör element analizi için sistemde yer alan yarı kantitatif analiz programı IQ+ kullanılmıştır. IQ+ programı için ölçüm parametreleri Çizelge 4.2.' de verilmiştir. Trace (eser) elementi analizinde ise yarı kantitatif analiz programı olan ProTrace programı kullanılmıştır. ProTrace programı için ölçüm parametreleri Çizelge 4.3.' de verilmiştir. Numunenin uyarılması için 4 kW'lık X-Işını tüpü kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. WDXRF spektrometresi ile analiz yapılırken kullanılan IQ+ programının ölçüm parametreleri

IQ+									
KA Piki	LA Piki	Kristal	2d(nm)	Kolimatör	Dedektör	Tüp Filtresi	kV	mA	
Te-Ce	-	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	None	60	66	
Mo-I	-	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Brass (400 µm)	60	66	
Kr-Tc	Ra-Am	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	
Zn-Rb	Re-U	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (200 µm)	60	66	
V-Cu	Pr-W	LiF 220	0,2848	150 µm	Flow	None	50	80	
K-V	In-Ce	PX10	0,4027	150 µm	Flow	None	25	160	
P-Cl	Zr-Ru	Ge 111-C	0,6532	300 µm	Flow	None	25	160	
Si-Si	Rb-Sr	PE 002-C	0,8749	300 µm	Flow	None	25	160	
Al-Al	Br-Br	PE 002-C	0,8749	300 µm	Flow	None	25	160	
O-Mg	V-Se	PX1	4,9900	300 µm	Flow	None	25	160	

Çizelge 4.3. WDXRF spektrometresi ile analiz yapılırken kullanılan Protrace programının ölçüm parametreleri

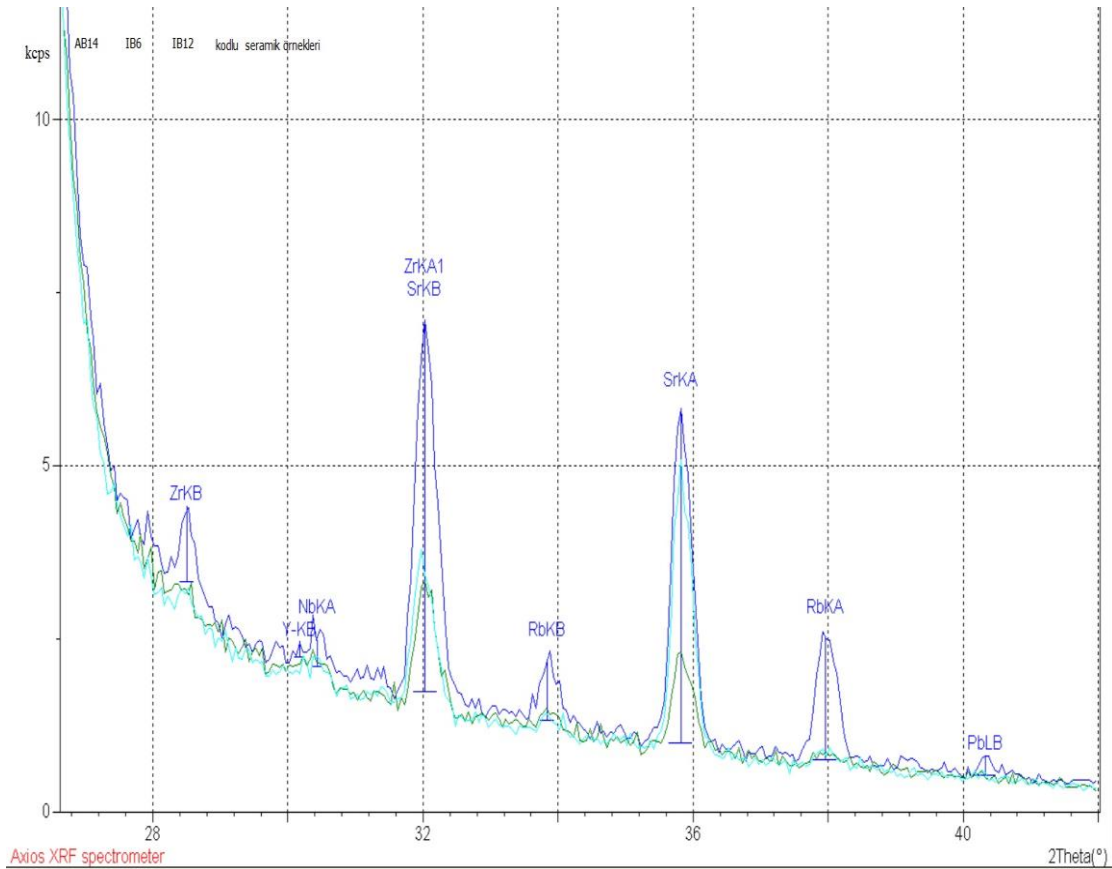
ProTrace									
	Pik	Kristal	2d	Kolimatör	Dedektör	Tüp Filtresi	kV	mA	Açı(°2θ)
I	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Brass (400 µm)	60	66	17,516
Te	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Brass (400 µm)	60	66	18,240
Sb	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Brass (400 µm)	60	66	19,019
Sn	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Brass (400 µm)	60	66	19,829
Cd	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Brass (400 µm)	60	66	21,673
Ag	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Brass (400 µm)	60	66	22,663
Rh	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	-	60	66	17,539
Mo	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	20,306
Nb	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	21,375
Th	LB	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	21,888
Zr	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	22,527
Y	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	23,776
Sr	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	25,127
U	LA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	37,275
Rb	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	26,597
Pb	LB	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	40,365
Tl	LB	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	41,741
Br	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	42,830
As	KB	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	43,584
Se	KA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	45,669
Bi	LA	LiF 220	0,2848	150 µm	Sintilasyon	Al (750 µm)	60	66	47,357
Hg	LA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (200 µm)	60	66	35,884
Ge	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (200 µm)	60	66	36,312
Ga	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (200 µm)	60	66	38,899
Hf	LB	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	Al (200 µm)	60	66	39,894
Zn	KA	PX10	0,4027	150 µm	Sintilasyon	-	60	66	41,784
W	LA	PX10	0,4027	150 µm	Flow	Al (200 µm)	60	66	43,015
Ta	LA	PX10	0,4027	150 µm	Flow	Al (200 µm)	60	66	44,411
Cu	KA	PX10	0,4027	150 µm	Flow	-	60	66	45,015
Ni	KA	PX10	0,4027	150 µm	Flow	Al (200 µm)	60	66	48,656
Yb	LA	PX10	0,4027	150 µm	Flow	Al (200 µm)	60	66	49,072
Co	KA	PX10	0,4027	150 µm	Flow	-	60	66	52,807
Sm	LA	LiF 220	0,2848	300 µm	Flow	-	60	66	101,248
Cr	KA	LiF 220	0,2848	300 µm	Flow	-	50	80	107,193
Ce	LB	LiF 220	0,2848	300 µm	Flow	-	50	80	111,715
Nd	LA	LiF 220	0,2848	300 µm	Flow	-	50	80	112,772
V	KA	LiF 220	0,2848	300 µm	Flow	-	50	80	123,282
La	LA	PX10	0,4027	150 µm	Flow	-	50	80	82,942
Ti	KA	PX10	0,4027	300 µm	Flow	-	40	100	86,193
Ba	LA	PX10	0,4027	300 µm	Flow	-	40	100	87,206
Cs	LA	PX10	0,4027	300 µm	Flow	-	40	100	91,877
Sc	KA	PX10	0,4027	300 µm	Flow	-	32	125	97,765

Nevşehir OvaörenYassı Höyüğe ait demir çağı seramik numunelerinin yapılan XRF kalitatif analizinden gözlenen ortak elementler Çizelge 4.4.' de verilmiştir.

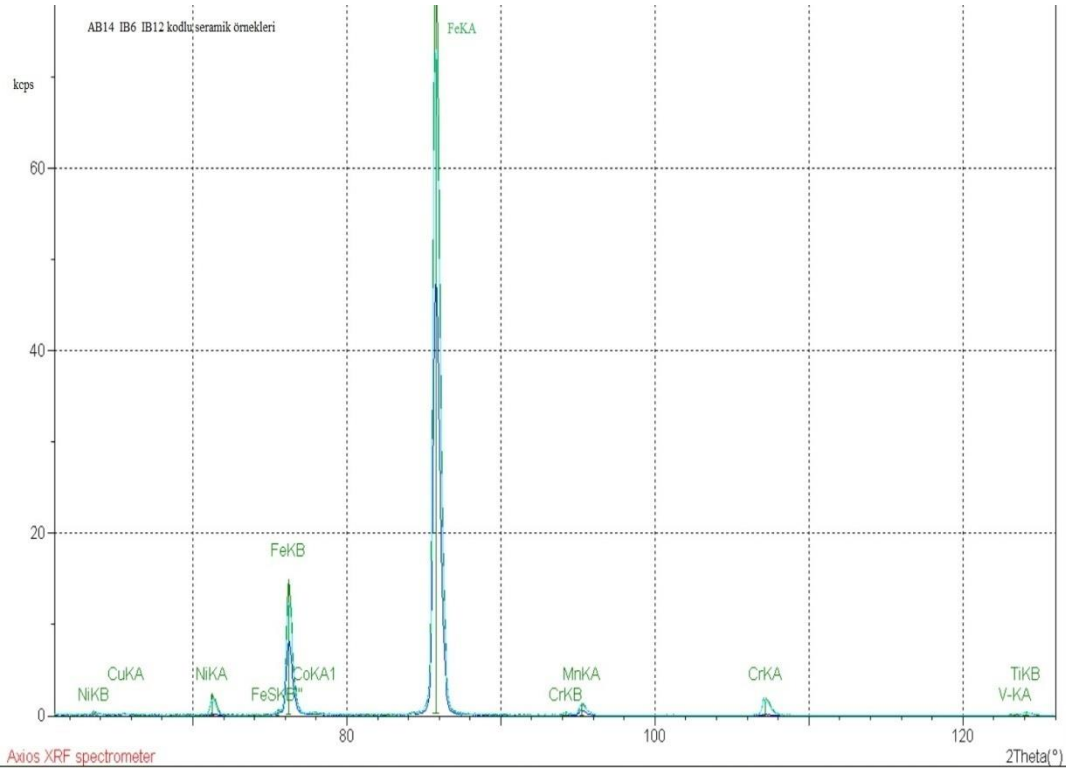
Çizelge 4.4. Nevşehir Ovaören Yassı Höyüğe ait demir çağı seramiklerin kalitatif analiz sonucu

	Sc	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr
Minör elementler	Y	Zr	Nb	Sn	Ba	La	Ce	Nd	Pb	Th	U	
Majör elementler	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Ti	Fe ₂ O ₃	SO ₃		

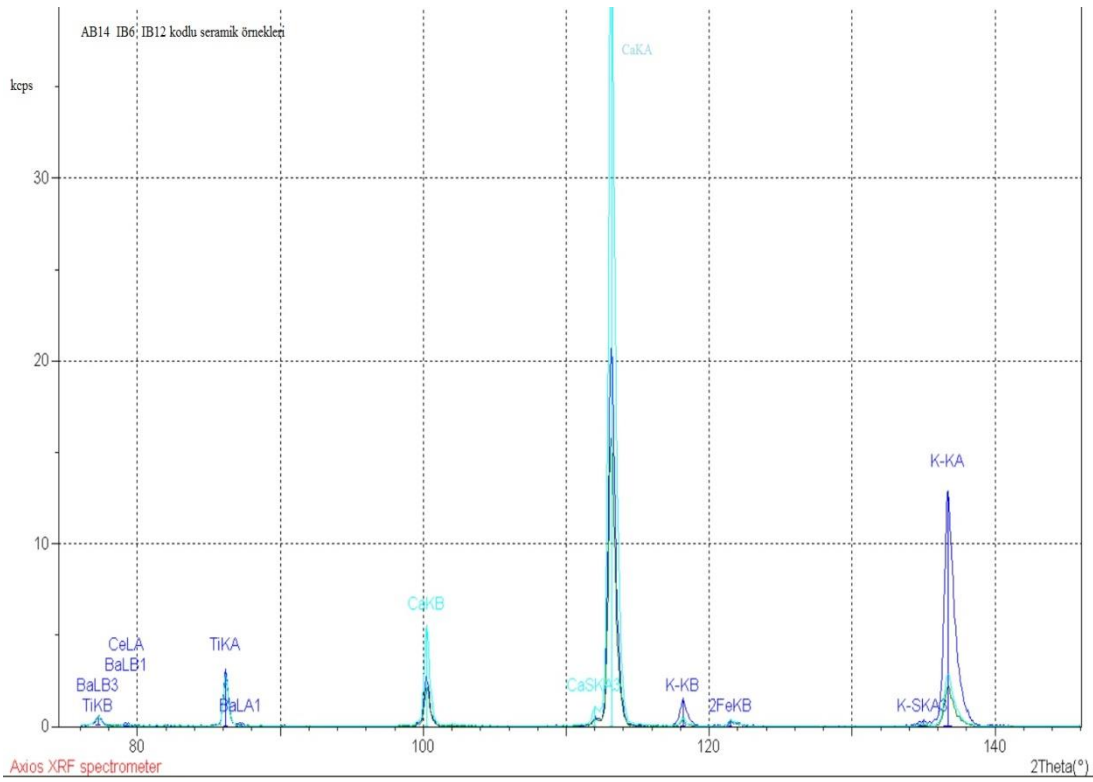
Kalitatif analiz yapıldıktan bazı seramik numunelerin WDXRF spektrometre ile IQ+ ve Protrace analiz programları kullanılarak elde edilen spektrumları Şekil 4.8., Şekil 4.9.ve Şekil 4.10.' da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. AB14, IB6 ve IB12 seramik numunelerinin 3. kanaldaki WDXRF spektrumu



Şekil 4.9. AB14, IB6 ve IB12 seramik numunelerinin 5. kanaldaki WDXRF spektrumu



Şekil 4.10. AB14, IB6 ve IB12 seramik numunelerinin 6. kanaldaki WDXRF spektrumu

Aynı seramiklerin ve kil örneklerinin XRF tekniği ile yapılan kantitatif analiz sonuçları Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Nevşehir Ovaören izinli demir çağına ait seramik kantitatif analiz sonuçları

		OI1	OI2	OI3	OI4	OI5	OI6	OI7	OI8	OI9	OI10	OI11	OI12	OI13	OI14
%	Na ₂ O	1,7	1,3	0,7	0,6	1,0	1,1	0,7	1,0	1,5	1,0	0,6	0,7	0,7	1,3
	MgO	2,3	2,9	3,2	1,3	5,6	5,7	1,6	3,2	3,2	3,1	3,1	3,7	3,2	2,8
	Al ₂ O ₃	16,8	15,3	15,6	17,9	13,7	14,4	16,0	17,2	15,2	13,5	15,3	17,7	15,0	16,4
	SiO ₂	56,8	55,3	50,0	61,7	47,3	47,9	56,5	57,6	55,9	44,9	48,0	50,9	54,8	55,9
	P ₂ O ₅	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,6	0,2
	K ₂ O	2,4	1,9	2,5	2,3	2,3	2,2	2,8	1,7	3,2	1,8	1,3	1,5	3,2	2,4
	CaO	7,6	12,0	15,5	5,8	16,6	15,1	13,4	6,9	10,9	22,9	18,3	15,2	12,6	9,7
	Ti	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,4	0,5
P p m	Sc	15,0	20,1	20,5	12,8	21,3	22,4	14,5	20,7	12,6	24,1	25,2	22,0	14,5	16,7
	V	112	130	124	101	119	123	76	146	77,4	112	118	92,5	65,5	103
	Cr	129	147	122	80,0	301	324	94,3	187	153	263	81,3	172	103	133
	Co	20,1	22,1	23,3	16,0	34,4	35,8	15,3	27,0	15,5	25,9	23,5	24,0	18,0	21,7
	Ni	56,7	60,4	62,3	37,4	301	317	50,3	80,9	67,7	181	33,1	78,8	54,6	61,5
	Cu	36,9	31,9	49,2	28,2	45,3	49,9	23,7	39,5	19,9	36,7	28,9	52,5	43,2	36,3
	Zn	108	69,8	69,7	74,6	87,6	91,7	77,6	74,8	71,3	89,9	58,0	52,6	70,6	68,7
	Ga	18,6	13,1	12,0	16,6	12,7	13,9	15,6	13,9	13,6	11,8	10,8	12,1	12,9	13,9
	As	6,8	6,1	5,1	53,6	26,3	25,4	63,2	3,2	35,1	122	7,3	6,7	6,3	10,1
	Rb	149	72,4	63,9	145	75,3	79,4	144	72,6	128	64,7	27,1	63,7	103	91,9
	Sr	264	281	370	409	480	487	725	218	523	490	297	316	432	238
	Y	38,7	21,5	19,9	22,5	21,4	22,3	20,9	21,8	20,9	21,5	14,1	18,2	24,8	27,7
	Zr	187	109	98,6	143	127	136	153	107	171	103	40,3	80,6	130	142
	Nb	19,0	8,7	8,2	9,5	12,0	12,2	14,0	9,2	13,2	7,4	3,0	5,4	12,3	9,8
	Sn	4,6	1,4	4,1	4,8	5,1	3,4	1,5	4,9	4,1	3,7	1,9	4,2	7,5	3,2
	Ba	341	314	1067	431	341	361	574	264	369	236	237	315	288	294
	La	35,6	17,4	13,6	15,4	17,8	20,1	34,9	18,9	31,8	15,6	4,9	8,7	27,6	20,2
	Ce	66,9	29,0	27,3	45,6	39,4	33,8	51,0	32,7	45,9	23,7	0,5	21,8	40,4	53,1
	Nd	29,1	13,6	16,9	16,4	19,3	17,6	16,5	13,9	17,7	13,6	4,7	8,2	16,6	21,6
	Pb	22,4	14,5	15,8	22,1	17,8	18,1	34,6	16,2	32,1	31,1	6,0	14,3	19,4	21,6
	Th	24,2	9,5	9,0	12,7	9,7	10,0	19,9	10,9	16,4	7,0	2,7	7,3	17,3	13,7
	U	5,0	2,0	3,1	2,1	3,5	3,7	5,5	1,7	6,0	2,9	1,3	3,1	3,3	3,4

Çizelge 4.5. (devam) Nevşehir Ovaören izinli demir çağına ait seramik kantitatif analiz sonuçları

		OI15	OI16	OI17	OI18	OI19	OI20	OI21	OI22	II17	II18	II19	II20	II21
%	Na ₂ O	1,3	1,1	1,3	0,9	1,6	0,9	0,6	1,7	1,0	1,8	1,7	1,2	1,3
	MgO	5,2	2,5	2,3	1,0	1,7	1,4	2,2	2,7	7,7	5,7	4,2	4,1	3,6
	Al ₂ O ₃	11,7	17,6	17,1	17,3	18,2	20,5	14,4	18,4	13,2	13,6	18,5	16,4	17,7
	SiO ₂	45,7	60,2	60,3	53,4	57,5	59,6	48,4	55,6	45,9	49,0	56,8	52,6	52,5
	P ₂ O ₅	0,4	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,5	0,7	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3
	K ₂ O	2,3	2,8	3,0	3,6	3,5	3,2	2,8	1,9	2,2	3,0	2,0	3,1	3,5
	CaO	21,2	4,7	5,4	4,4	4,7	3,9	20,1	5,2	16,1	15,6	5,9	11,3	9,0
	Ti	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,6
P P m	Sc	18,2	13,1	12,4	12,4	10,3	12,2	14,7	15,5	19,2	12,6	21,5	20,7	18,9
	V	90,6	93,1	80,8	131	62,2	101	73	137	151	107	123	148	137
	Cr	334	233	145	66,9	82,5	87,2	62,6	118	385	289	287	136	160
	Co	25,5	23,3	15,6	17,6	13,5	8,7	12,1	28,0	35,1	24,2	26,0	21,9	22,7
	Ni	219	90,4	46,0	21,5	31,7	33,7	38,1	56,6	299	187	110	54,1	80,1
	Cu	30,5	25,3	25,4	19,4	21,7	18,2	21,1	34,3	44,9	35,6	34,7	28,4	34,7
	Zn	74,2	64,1	61,0	64,7	77,8	68,5	69,7	84,9	98,5	84,9	76,2	74,1	86,6
	Ga	10,4	14,7	14,1	15,0	19,4	17,1	14,4	16,4	13,3	13,0	17,2	13,0	14,7
	As	23,1	10,3	15,9	12,6	7,7	86,5	70,5	16,0	19,8	34,7	11,4	5,9	31,6
	Rb	65,3	104	92,3	159	269	140	147	52,6	69,0	86,7	71,8	53,2	71,4
	Sr	482	263	417	163	196	211	468	402	491	419	192	196	284
	Y	17,1	29,0	27,3	24,5	47,1	27,6	23,6	31,3	20,7	19,6	30,9	18,4	20,8
	Zr	112	174	145	198	220	192	207	167	110	130	169	94,2	117
	Nb	9,9	12,6	10,7	12,5	25,3	11,5	16,0	10,8	10,7	11,8	12,4	7,0	10,2
	Sn	3,2	4,5	3,5	5,1	5,7	4,8	5,0	2,4	8,9	10,0	9,0	9,5	7,0
	Ba	498	404	995	413	274	410	588	414	453	425	390	286	460
	La	20,2	26,0	25,7	22,2	37,9	30,0	37,4	25,0	26,1	34,3	33,6	16,0	30,2
	Ce	29,9	52,5	40,5	49,0	77,8	52,4	61,0	39,2	55,0	62,2	65,8	28,5	67,5
	Nd	12,4	20,7	18,0	11,1	29,9	24,0	24,7	21,2	21,9	24,6	28,8	16,7	17,3
	Pb	16,2	25,3	22,0	41,2	43,5	29,5	41,5	11,5	17,6	24,1	22,7	16,3	27,6
	Th	10,1	14,3	12,2	20,9	33,5	16,4	23,5	10,8	9,8	14,0	11,9	9,1	12,5
	U	5,3	3,1	3,1	4,9	4,5	3,3	4,7	2,2	2,5	4,2	2,0	1,3	1,9

Bu seramiklerden I20 ve OI11 kodlu seramik numunelerde uranyum elementine rastlanmadığı için minimum dedeksiyon limiti değeri (MDL) olan 1,3 ppm değeri alınmıştır. Demir (Fe₂O₃), manganez (Mn) ve kükürt (SO₃) gibi elementlerin kantitatif analiz sonuçları, seramiklerde boya maddesi olarak kullanıldığından dolayı seramiğin hammaddesine bulaşma ihtimalinden dolayı istatistiksel değerlendirmeye alınmamıştır.

Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe arkeolojik kazılarında bulunan tunç çağıseramiklerinin elementel analizleri

İpek yolu ile Kral yolunun kesiştiği bölge olan Nevşehir Ovaören kazı bölgesinden elde edilen seramik numuneleriyle, Ovaören' e yakın farklı kazı bölgeleri olan Aksaray Acem höyük ve Kayseri Kültepe kazılarından alınan seramik numunelerinin birlikte analiz sonuçlarının değerlendirilmesinin amacı, seramik örneklerinin köken tayinlerinin yapılması ve yapım teknolojilerinin karşılaştırılmasıdır. Bu analiz sonucunda da bu bölgelerin birbirleriyle ticaret ağlarını tespit etmektir. Köken tayinleri, WDXRF spektrometresi nicel analizleri sonuçlarını çok değişkenli istatistiksel yöntemlere uygulayarak yapılmıştır. Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe arkeolojik kazılarına ait bölgeler Harita 3.2 'de gösterilmiştir.

Nevşehir Ovaören tunç çağı (M.Ö. 2700-1180) yılları arasında, Aksaray Acem Höyük tunç çağı (M.Ö. 2500-1700) yılları arası ve Kayseri Kültepe Kültepe'de Erken Tunç çağının başlangıç tarihi olarak (M.Ö. 2700–2600) yılları gösterilir. Bu bölgelere ait seramik numuneleri uzun süre toprak altında kalması sebebiyle yüzeyinde oluşan tortulardan kurtulmak için suyla yıkandı, yüzeyi fırçalandı ve temizlendi. Daha sonra öğütücüde öğütüldü ve homojen hale getirmek için yeterli miktarda alınarak karıştırıcıda 15 dakika karıştırıldı. 25 tonluk basınç altında toz numunelerden yaklaşık 3 gramlık tabletler elde edildi. Bu hazırlanan seramik ve kil numuneleri WDXRF spektrometre ile kalitatif ve kantitatif analizleri yapılmıştır.

Analizi yapılan seramik çeşitleri fincan, bardak, çanak ve tepsidir. Nevşehir Ovaören kazılarından elde edilen seramiklerden 69 adet, bunlardan 32 adet Topak Höyük, 28 adedi Aşağı şehir, 9 adedi Yassı Höyüğe aittir. Bunlara ilaveten yine Aksaray ili Acem Höyük kazılarından 18 adet ve Kayseri iline ait Kültepe kazılarından elde edilen 16 adet ve toplamda 103 adet seramik numunelerinin deneyleri yapılmıştır. Bu seramiklerden IB kodlu 16 adet ve OB51 kodlu seramik numuneleri Ovaören kazılarından elde edilmiştir. Arkeologların verdiği bilgiye göre, bu seramiklerin Ovaören seramiklerine, hem yapım teknolojileri hem de görünüm itibarıyla benzememekte olduğunu, başka bölgelerden ya da ithal olabileceğini ileri sürmektedirler.

Çizelge 4.6. Nevşehir Ovaören , Aksaray Acem Höyük ve Kayseri iline ait Kültepe kazılarında tunç çağına ait seramiklerin kalitatif analizi sonucu

Minör elementler	Sc	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr
	Y	Zr	Nb	Sn	Ba	La	Ce	Nd	Pb	Th	U	
Majör elementler	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Ti	Fe ₂ O ₃	SO ₃		

Kültepe seramiklerinden KB9 ve KB13 kodlu seramik numunelerde uranyum elementine rastlanmadığı ve AB14, IB12, AB18 ve OB35 kodlu seramiklerde ise 1,3 değerinden düşük olduğu için minimum dedeksiyon limiti değeri (MDL) olan 1,3 ppm değeri alınmıştır. Seramiklerde ve kil numunelerinde Demir (Fe₂O₃), manganez (Mn) ve kükürt (SO₃) elementleri birkaç numunede rastlanmadığı ve boya maddesi olarak kullanıldığından dolayı seramiğin hammaddesine de işleyebileceğinden istatistiksel değerlendirmeye alınmamıştır.

Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük, Kayseri Kültepe kazılarında alınan tunç çağına ait seramiklerin ve Nevşehir Ovaören yakın bölgelerinden alınan kil numunelerinin WDXRF spektrometre ile yapılan kantitatif analiz sonuçlarının minör ve majör elementler göre örneklerin kendi içindeki minimum ve maksimum değerleri, bunların ortalama konsantrasyonlarının değerleri ve standart sapmaları Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük, Kayseri Kültepe kazılarında alınan tunç çağına ait seramiklerin ve Nevşehir Ovaören yakın bölgelerinden alınan kil numunelerinin ortalama konsantrasyonları

	Element	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std.Sapma
%	Na ₂ O	0,1	2,5	1,3	0,4
	MgO	1,1	27,5	14,3	4,3
	Al ₂ O ₃	7,8	32,0	19,9	3,9
	SiO ₂	42,7	66,3	54,5	4,8
	P ₂ O ₅	0,1	0,9	0,5	0,1
	K ₂ O	0,4	8,3	4,3	1,0
	CaO	1,9	29,8	15,9	5,5
	Ti	0,3	0,7	0,5	0,1
P P m	Sc	5,4	27,7	16,5	3,6
	V	48,5	218	133	25,1
	Cr	25,0	1804	915	301
	Co	4,0	86,3	45,1	13,8

Çizelge 4.7. (devam) Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük, Kayseri Kültepe kazılarının dan alınan tunç çağına ait seramiklerin ve Nevşehir Ovaören yakın bölge lerinden alınan kil numulerinin ortalama konsantrasyonları

Ni	9,2	1369	689	237
Cu	9,3	66,7	38,0	10,9
Zn	46,3	130	88,5	14,6
Ga	8,0	27,2	17,6	3,0
As	1,3	252	127	56,4
Rb	10,2	697	354	69,0
Sr	24,1	2996	1510	330
Y	11,6	111	61,3	10,1
Zr	10,0	376	193	52,8
Nb	5,0	56,4	30,7	6,2
Sn	0,9	19,8	10,4	3,7
Ba	31,2	1345	688	233
La	7,6	255	131	24,5
Ce	15,1	350	183	35,6
Nd	3,2	75,2	39,2	8,8
Pb	1,6	91,6	46,6	15,3
Th	3,4	98,5	51,0	11,8
U	1,3	16,6	9,0	2,4

Çizelge 4.5. incelendiğinde majör elementler içerisinde % SiO₂, Al₂O₃, Ti ve MgO konsantrasyon değerleri diğer % değerlerden oldukça yüksektir. Minör elementler içerisinde Sr, Cr, Ni, Ba ve Rb ppm değerlerinin ortalamaları oldukça yüksektir. Sr için minimum ve maksimum değerleri 24,1 ve 2996 ppm, Cr için minimum ve maksimum değerleri 25 ve 1804 ppm, Ni için minimum ve maksimum değerleri 9,2 ve 1369 ppm , Ba için minimum ve maksimum değerleri 31,2 ve 1345 ppm ve Rb için minimum ve maksimum değerleri 10,2 ve 697 ppm'dir ve oldukça aralarında yüksek fark bulunmaktadır.

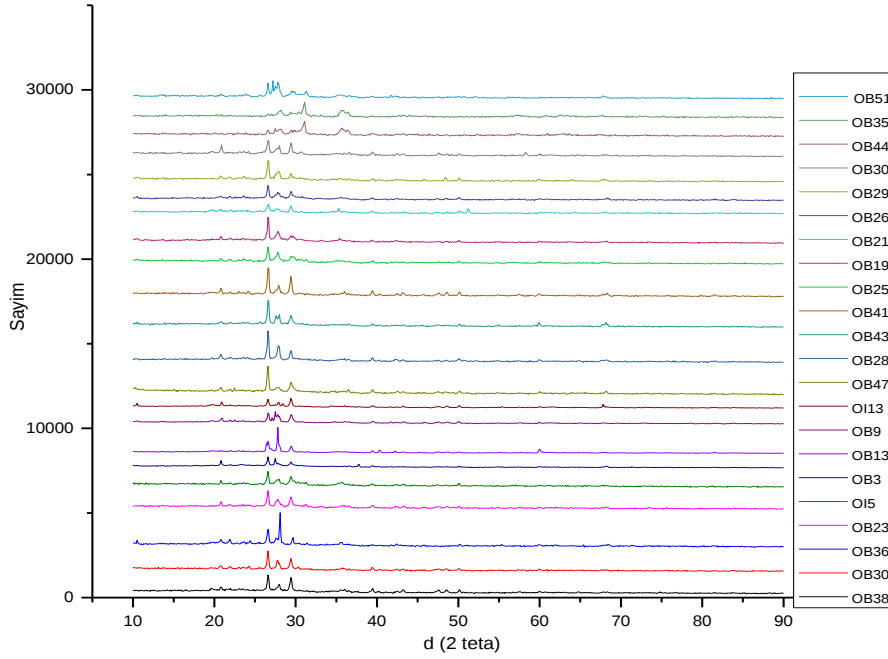
Nevşehir Ovaören, Aksaray ili Acem Höyük ve Kayseri Kültepe ye ait seramik numunelerinin kantitatif analiz sonuçları Ek 1 ' de verilmiştir.

4.2.2. Yapı analizi

Ölçüm tekniğine göre,numune hareketsiz olduğundan yalnız gelen açı değişir. Diffract plus EVA-2002 programının EVA Application 8.0.0.2 versiyonu kullanılarak hızlandırma gerilimi 40 kV, anot-katot arasındaki akım 40 mA, sıcaklık oda sıcaklığı olarak ayarlanarak analizler yapılmıştır. 0-10° arası saçılmalar fazla olduğu için açı 10° ile 80°

arasında 2θ ya bağılı olarak değiştirilmiştir. Dedektör her bir adımda $0,02^\circ$ döner, her bir noktanın ölçüm süresi 0,6 s dir. Bir numunenin analizi yaklaşık 38 dakika sürmektedir.

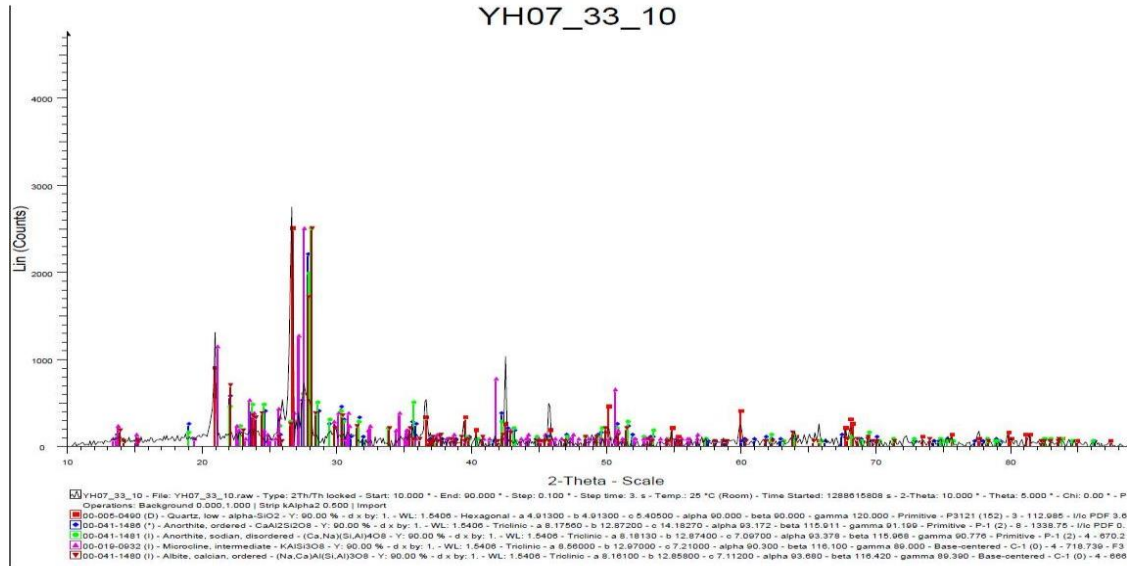
OI5, OI13, OB3, OB9, OB13, OB19, OB21, OB23, OB25, OB26, OB28, OB29, OB30, OB35, OB36, OB38, OB41, OB44, OB43, OB47, OB51, kodlu Nevşehir Ovaören kazılarından elde edilen 22 adet seramiklerin XRD analizleri yapılmıştır.



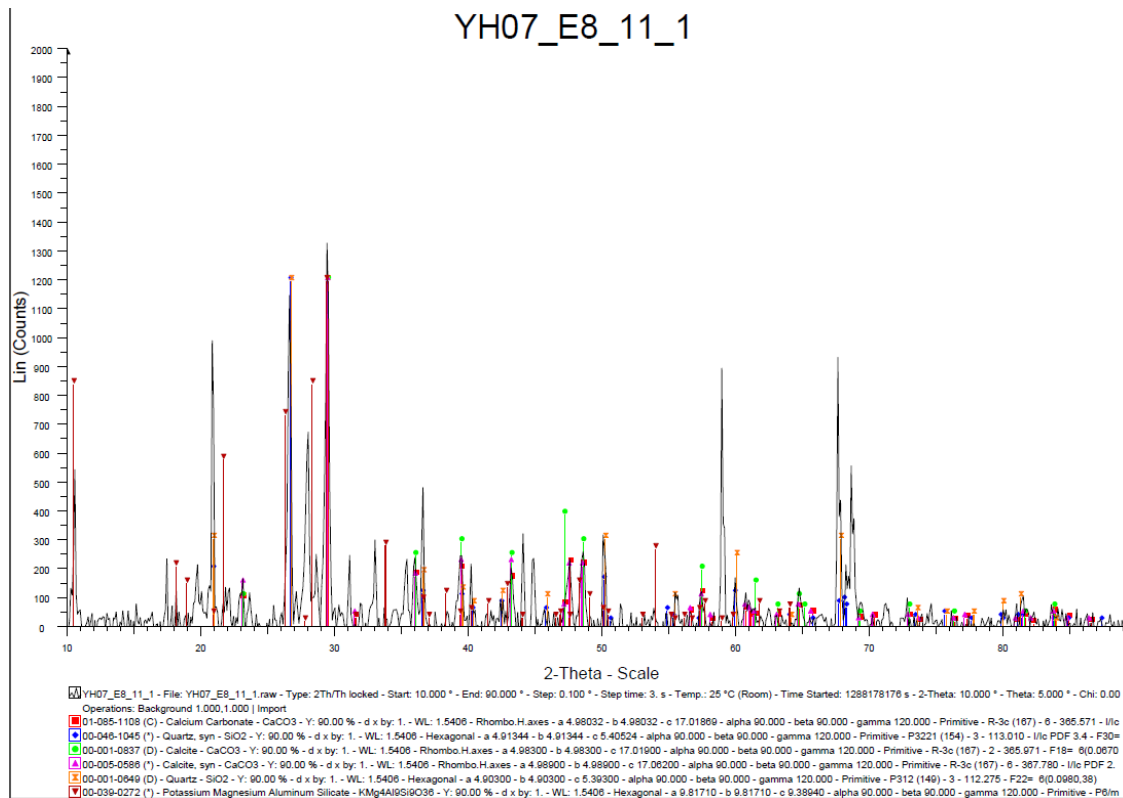
Şekil 4.11. Nevşehir Ovaören demir ve tunç çağılarına ait seramik numunelerinin XRD sonuçları

Nevşehir Ovaören kazılarından elde edilen demir ve tunç çağına ait bazı seramik numunelerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4.11' de gösterilmiştir. Buradan da açıkça görülmektedir ki, OB51 kodlu seramik numunesi diğerlerinin mineral yapılarına benzememektedir.

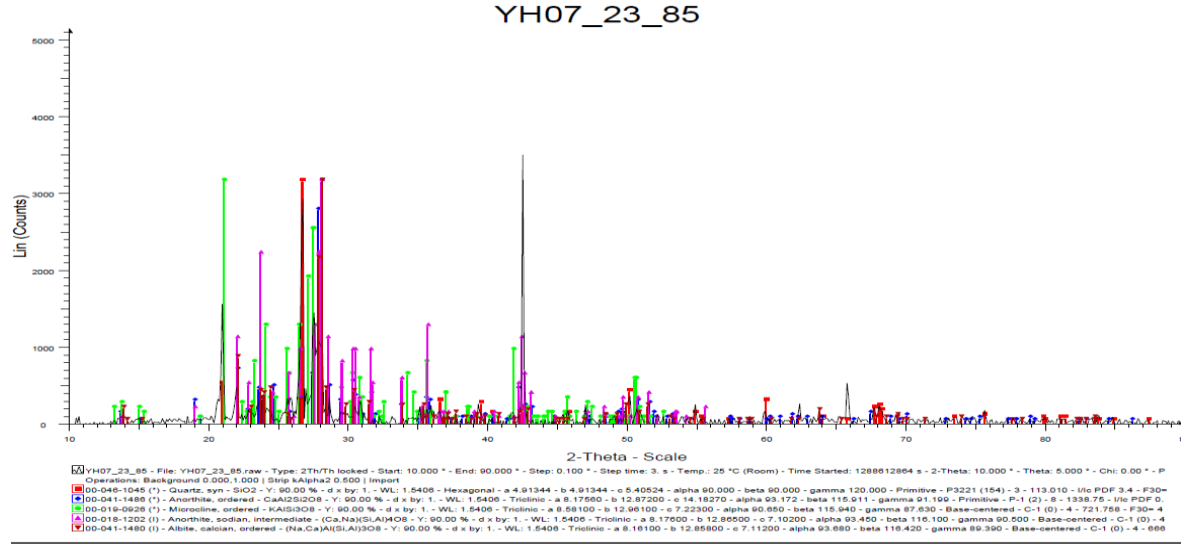
Seramik örneklerden bazılarının XRD faz analiz sonuçları Şekil 4.12. Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.' de verilmiştir. Şekil 4.15.' de ise K4 kil numunesinin XRD faz analizi görülmektedir.



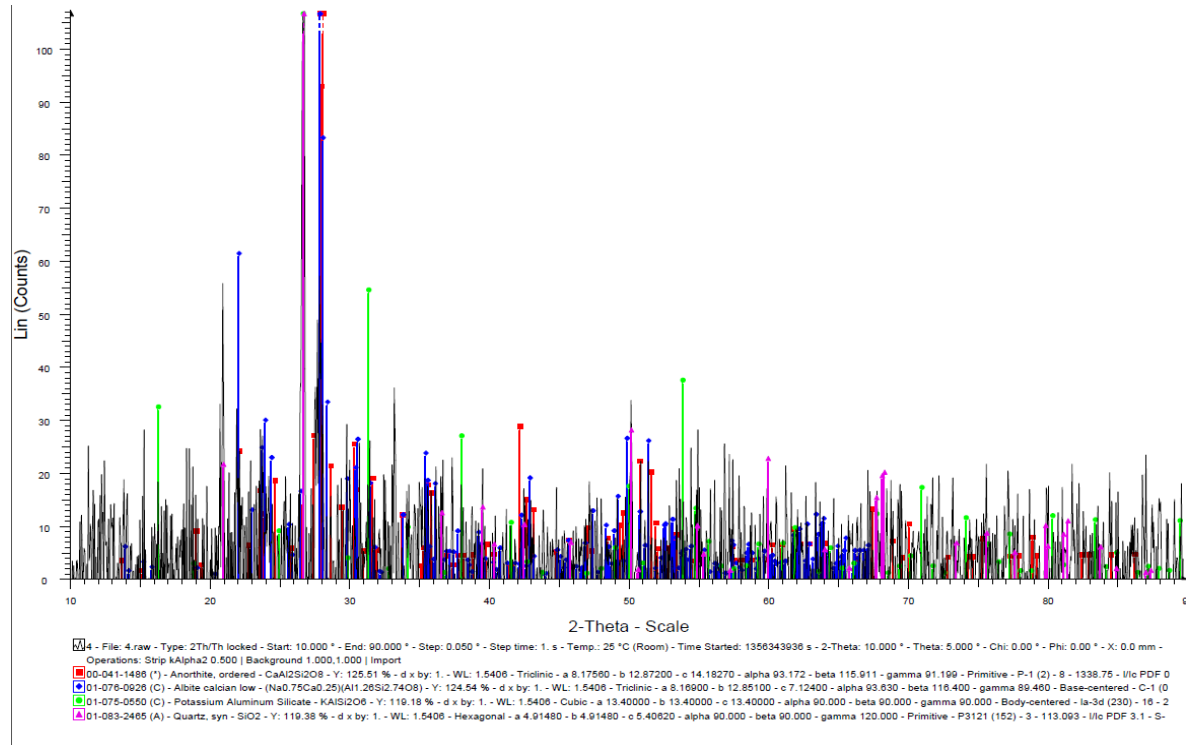
Şekil 4.12. OI18 (YH-07-33-10) Nevşehir Ovaören seramik numunesinin XRD faz analizi



Şekil 4.13. OI11 (Yh07 E8-11-1)Nevşehir Ovaören seramik numunesinin XRD faz analizi



Şekil 4.14. OI19 (Yh07 23-85) Nevşehir Ovaören seramik numunesinin XRD faz analizi



Şekil 4.15. K4 Kil numunesinin XRD faz analizi

Analiz sonuçlarına göre OI18 (YH-07-33-10) , OI11 (Yh07 E8-11-1), OI19 (Yh07 23-85) seramikleri ve K4 kil numunelerinde kuvarz, albite, microcline, anorthite, calcite, potasyum alüminyum silikat, potasyum magnezyum alüminyum silikat, kalsiyum karbonat mineralleri bulunmaktadır. Feldispatlar; potasyum, sodyum, kalsiyum, nadiren baryumlu alüminyum silikatlar olup en önemli mineral grubunu oluştururlar. Alkali feldispatlar;

kimyasal yapıları aynı, fakat farklı kristal şekillerine sahip bu grubun mineralleri ortoklas (KAlSi_3O_8), sanidin, mikroklin, anortoz ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) olup genel formülleri KAlSi_3O_8 'dir. Plajioklaslar, Na- Ca feldispat olup, saf albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ile saf anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) arasında sürekli bir katı eriyik yaparlar. Bu sonuçlarla plajioklaslar ve alkali feldispat grubunda oldukları anlaşılmaktadır

4.2.3. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) ve faktör analizi (FA) istatistiksel değerlendirme ile köken tayini

SPSS programı kullanılarak yapılan istatistiksel değerlendirmeler seramiklerin köken tayinleri için en temel veri kaynağı olmuştur. Uygulamada veri olarak WDXRF spektrometresi ile elde edilen kantitatif elementel sonuçlardan majör olan , Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , Ti minör olan, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, La, Ce, Nd, Pb, Th, U elementleri kullanılmıştır. İstatistik analizlerde iki farklı analiz yöntemi Hiyerarşik kümeleme analizi ve faktör analizi uygulanmıştır.

Faktör analizi metodu olarak Temel Bileşenlerine Ayırma Analizi uygulanarak yapılmıştır. HCA için ölçüm mesafesi olarak Öklit uzaklığı , grupta için En Yakın Komşular kümeleme metodu kullanılmıştır.

Nevşehir Ovaören' e ait kazılarında elde edilen seramiklerin (fincan, bardak, çanak ve tepsiler) istatistik analiz sonuçlarına bakılarak karşılaştırıp, Nevşehir Ovaören bölgesine ait olmadığına ya da ithal olabileceği düşünülen seramik numuneleri arasında kökenlerinin aynı olup olmadıkları karşılaştırılır. Eğer varsa ticaret merkezlerini , ticaret ilişkilerini belirlemektir. Ayrıca üretim teknolojileri hakkında da bilgi verebilmektedir. Arkeoloji ve tarih bilgileri ile birlikte yorumlamaları tarih öncesi çağlara ait bilinmeyenlere ışık tutmaktadır. Sonuçlar kesin ve güvenilirdir.

Nevşehir Ovaören Yassı Höyüğe ait demir çağı seramik numunelerinin HCA ve FA istatistiksel değerlendirme ile köken tayinleri

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilmiş 27 adet demir çağına ait seramik numunelerinin ve 5 adet Nevşehir Ovaören'e yakın 5 bölgeden alınmış kil numunelerinin WDXRF spektrometresi ile yapılan elementel analiz sonuçlarına FA ve HCA

Faktör analiz sonuçlarına göre Nevşehir Ovaören demir çağına ait seramik ve kil numuneleri 2 grupta toplanmıştır. Şekil 4.14 'de kırmızı renkte işaretlenmiş olan noktalar 1. grup olarak belirlenmiştir. Bu grupta Ovaören bölgesine ait seramik numuneleri ve K1 (Cingi Pınarı), K3 (Yalıntaş Göleti), K4 (Çorak Özü (1. yer)) kodlu Ovaören bölgesinden alınan kil numunelerini temsil etmektedir. 2. grupta mavi renkte işaretlenmiş olanlar ise OI17= YH 07 7.9 ve OI3= YH-07 G-12-2) Nevşehir Ovaören seramikleri ile aynı kökene sahip olmayıp farklı bir grupta yer almıştır. Orijinleri hakkında bir bilgi yoktur. Bu seramikler bölge ticaret merkezi olduğundan dolayı ya Ovaören'le ticareti olan başka yerleşim bölgelerinden ya da ithalat yoluyla gelmiş olabileceği belirlenmiştir. Kil numunelerinden K5 (Çorak Özü (2. yer)) ve K2 (Ovaören Tömbül) iki gruptan ayrılmıştır. Bu sonuç, bölgeden getirilen bu iki kil numunesinin Ovaören seramiklerinin hammaddesinde kullanılmadığı anlamına gelmektedir. K1, K3 ve K4 kil numuneleri ise Ovaören seramiklerinin hammaddesinde kullanılmış olduğu istatistik analiz sonuçlarından elde edilmiştir. Şekil 4.17. deki dendogram olarak gösterilmiş Hiyerarşik kümeleme analizi sonucuna göre 2 grup oluşmaktadır. Ayrıca KL2 ve KL5 kodlu kil numuneleri bu gruplardan ayrılmıştır. Faktör analizi ile Hiyerarşik kümeleme analizinin sonuçları birbirini destelemektedir.

27 adet Ovaören seramiği ve 5 adet kil numunesinin WDXRF analiz sonuçlarına HCA ve FA uygulandıktan sonra oluşmuş 2 grubun elementel konsantrasyonlarının grup ortalamaları ve standart sapmaları çizelge 4.8.' de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Nevşehir Ovaören demir çağı seramik ve kil numunelerinin istatistik analizle rine göre oluşmuş grupların elementlere göre ortalamaları ve standart sapmaları

	Grup 1 (n=28)			Grup 2 (n=2)	
	Element	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma
%	Na ₂ O	1,2	0,4	1,0	0,5
	MgO	3,3	1,5	2,8	0,7
	Al ₂ O ₃	16,1	2,0	16,4	1,1
	SiO ₂	53,6	4,8	55,2	7,2
	P ₂ O ₅	0,3	0,1	0,3	0,0
	K ₂ O	2,5	0,6	2,7	0,3
	CaO	11,7	5,5	10,4	7,1
	Ti	0,5	0,1	0,4	0,0
P P m	Sc	16,8	4,4	16,5	5,7
	V	108,5	25,9	102,6	30,8

Çizelge 4.8. (devam) Nevşehir Ovaören demir çağı seramik ve kil numunelerinin istatistik analizlerine göre oluşmuş grupların elementlere göre ortalamaları ve standart sapmaları

Cr	174,8	92,6	133,6	16,3
Co	21,8	6,8	19,5	5,4
Ni	98,9	87,2	54,2	11,5
Cu	33,6	10,7	37,3	16,8
Zn	77,4	16,8	65,4	6,2
Ga	14,2	2,2	13,1	1,5
As	27,5	28,9	10,5	7,6
Rb	101,8	48,3	78,1	20,1
Sr	362	141,8	393	33,2
Y	24,1	6,8	23,6	5,2
Zr	140,0	40,8	121,9	32,9
Nb	11,3	4,1	9,5	1,8
Sn	5,2	2,3	3,8	0,4
Ba	381	94,2	1031	51,1
La	24,7	8,6	19,7	8,6
Ce	45,4	17,0	33,9	9,3
Nd	18,9	6,1	17,5	0,8
Pb	26,1	15,8	18,9	4,4
Th	13,9	6,3	10,6	2,3
U	3,4	1,3	3,1	0,0

Ovaören seramikleri ile kil numunelerine ait 1. grup 28 adet ve diğer 2. gruptaki 2 adet Ovaören kazılarında elde edilmiş seramiklerin kimyasal konsantrasyonlarının ortalamaları incelendiğinde, SiO₂, MgO, Cr, Zn, Rb, Sr, Zr, Sn, La, Ce, Pb, Th gibi elementlerin değerlerinin farklı olduğu açıkça Çizelge 4.6.' de görülmektedir. Ovaören seramikleri ile 2. gruptaki OI17 ve OI3 kodlu seramiklerin Ni, As ve Ba kimyasal konsantrasyonlarının ortalamaları yaklaşık 2, 3 kat farklılık göstermektedir. İki grubun birbirinden farklı oldukları ortalamalarından da açık bir şekilde görülmektedir .

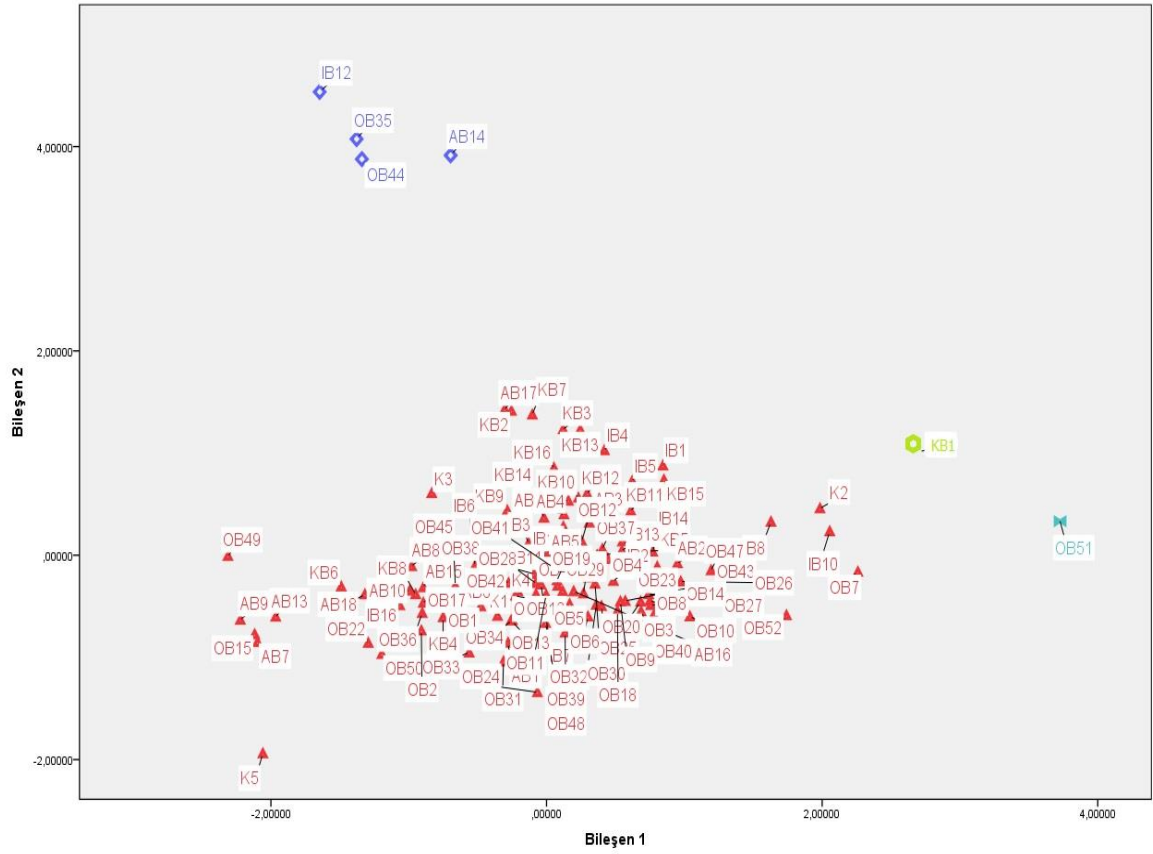
Nevşehir Ovaören „Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe arkeolojik kazılarında bulunan tunç çağı seramiklerinin HCA ve FA istatistiksel değerlendirme ile köken tayinleri

Nevşehir ovaören kazılarında elde edilen seramik örneklerinin bölgeye ait seramik numunelerinin olması yanında bu bölgenin seramiklerine kil yapıları ve yapım teknolojileri farklı örneklerde mevcuttur. Arkeologların elinde arkeolojik kalıntıları (seramik, metal, boyalar, cam, çanak ve çömlemler vs.) analiz edecek herhangi bir ölçme teknikleri bulunmamaktadır. Sadece eski buluntular ve yazıtlardan yorumlayarak arkeolojik eserler

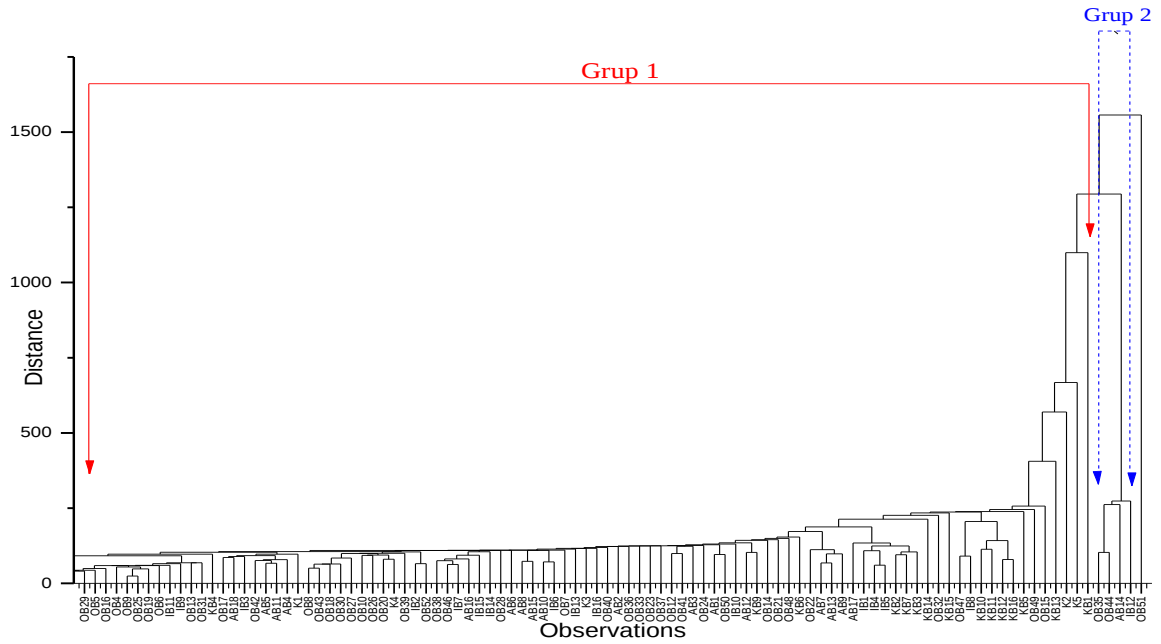
hakkında fikir sahibi olmaktadırlar. XRF spektrometresi ile çeşitli istatistik yöntemler de uygulayarak hem hızlı hem güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

Nevşehir Ovaören'nin joepolitik konumu, Kral yolu ve İpek yolunun kesiştiği bölgede olması nedeniyle bu bölgeyle civar bölgeler arasında ve yurt dışı ile bir ticaretin olduğu tarihi bulgularla bilinmektedir. Nevşehir Ovaören bölgesinde yapılan kazı çalışmalarından elde edilen seramiklerde de arkeologlar tarafından yorumlanamayan ama tahmin edilen seramik örnekler mevcuttur. Nevşehir 'e yakın bölgelerden Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe kazılarında çıkmış seramik numuneleri alıp, bu bölgeler arasında ticaretin yapılıp yapılmadığını ve Ovaören seramiklerinin kökenine uyup uymadığını ispatlamak, Nevşehir Ovaören seramik numunelerine benzemeyen, ithal olabileceği varsayılan seramiklerin hangi bölgelere ait olabileceklerini araştırmak amacıyla analiz edilmiştir.

Nevşehir Ovaören kazılarından elde edilen 69 adet, bunlardan 32 adet Topak Höyük, 28 adedi Aşağı şehir, 9 adedi Yassı Höyüğe ait seramik (fincan, bardak, çanak ve tepsi) numuneleridir. Aksaray ili Acem Höyük kazılarından elde edilen 18 adet ve Kayseri iline ait Kültepe kazılarından elde edilen 16 adet seramik numuneleridir. Toplamda 103 adet seramik numunesi ve 5 adet Nevşehir Ovaören'e yakın 5 bölgeden alınmış kil numunelerinin WDXRF spektrometresi ile yapılan elementel analiz sonuçlarına FA ve HCA için majör olan , Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , Ti eser olan, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, La, Ce, Nd, Pb, Th, U elementleri kullanılmıştır. uygulanmıştır. Örnek hazırlama ve deney prosedürleri 4.2.1.2. uygulanan işlemlerle aynı şekildedir. Bu istatistiksel analiz sonuçları FA temel bileşenler ve HCA dendogram olarak Şekil 4.18. ve Şekil 4.19' da gösterilmiştir.



Şekil. 4.18. Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe arkeolojik kazılarında bulunan tunç çağı seramiklerinin ve kil numunelerinin faktör analiz sonucu



Şekil 4.19. Nevşehir Ovaören, Aksaray Acem Höyük ve Kayseri Kültepe arkeolojik kazılarda bulunan tunç çağı seramiklerinin ve kil numunelerinin dendrogram analizi

Faktör Analizi (FA) ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) sonuçlarına göre 2 grup oluşmaktadır. 1. grupta Topak Höyük, Yassı Höyük, Aşağı şehir, Acem Höyük, Kayseri Kültepe bölgelerine ait seramik ve 5 adet kil numuneleri bulunmaktadır. Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen bu bölgeye ait olmadığı veya ithal olduğu düşünülen IB kodlu 15 adet seramik numuneleri de 1. Grupta yani Ovaören bölgesine ait seramik numuneleriyle benzer olduğu istatistik analiz sonuçlarından belirlenmiştir. 1. gruptaki numuneler daha ayrıntılı incelenirse K2 ve K5 kil numuneleri alt grubunu oluşturmaktadır. Böylece bu 2 adet kil numunesi bölge seramiklerinin yapımında kullanılmadığı anlamına gelmektedir. 2. grup seramik numuneleri ise AB14 kodlu Acem höyük bölgesi kazılarında, IB12 kodlu seramik Ovaören Aşağı Şehir bölgesi kazılarında elde edilmiş ithal olacağını varsayılan, OB35 ve OB44 kodlu seramik Nevşehir Ovaören Topak Höyük bölgesine ait kazılardan elde edilmiş fakat bölgeye ait olmadığı düşünülen metal seramiklerdir. Arkeologlar, IB12, OB35 ve OB44 kodlu metal seramik numuneleri Nevşehir Ovaören seramikleriyle, AB14 kodlu metal seramiğin Acem höyük seramikleriyle yapım teknolojileri ve hammaddesiyle benzerlik göstermedikleri, bölgeye ait olmadığı ve ya ithal olabileceği ileri sürülmektedir. HCA ve FA sonuçları göre bu 4 adet metal seramiğin farklı bölgelerdeki kazılardan elde edilmesine rağmen aynı grupta olduğu yani 2. grupta yer aldığı , kökenlerinin aynı olduğu belirlenmiştir. Kayseri Kültepe kazısından elde edilen KB1 kodlu seramik ve Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen OB51 kodlu seramik numunesi ise 2. gruptan ayrıldığı belirlenmiştir. OB51 kodlu seramik numunesi Arkeologların verdiği bilgiye göre kil yapısı ve yapım teknolojisinin bölge seramiklerine benzemediği bildirilmiştir. KB1 kodlu seramik ise Kültepe seramik numunelerine benzemediği, Kültepe, Ovaören ve Acem höyük seramik numuneleri gruplarından ayrıldığı görülmüştür. KB1ve OB51 kodlu bu seramiklerin ithal olabileceği ya da başka bölgelerden geldiği sonucu çıkmaktadır. İstatistik analiz sonuçları göre Nevşehir Ovaören, Kayseri Kültepe ve Aksaray Acem höyük bölgeleri arasında bir ticaretin olduğu ve seramik yapımlarında kullanılan killerin aynı oldukları sonucu çıkmaktadır. Üretim teknolojileri hakkında bilgi vermektedir. Gruptan ayrılan seramik numuneleri ise bu bölgelerin dışından ya da ithal olabileceği sonucu çıkmaktadır. İstatistik analiz sonuçları ile arkeologların verdiği bilgiler hemen hemen tamamıyla örtüşmektedir.

Arkeologlar, IB kodlu 15 adet seramik numunelerinin bu bölge seramiklerine uymadığını ve ithal olabileceklerini ileri sürmektedirler. Yapılan istatistik analiz sonuçlarına göre, IB12 kodlu seramik dışındaki bu seramiklerin bölge seramikleriyle aynı grupta

çıkılmaktadır. Aynı kil yatağını kullanmış farklı ocaklar bulunabileceği ve bu bölge seramiklerinin hangi ocakları kullandıkları ilerideki yapılacak kazılarda gün ışığına çıkartılabilecektir.

XRD analiz sonuçlarına göre OB51 kodlu seramik numunesi diğerlerinin mineral yapılarına benzememektedir. İstatistik sonuçlarında da gruplardan ayrıldığı bilinmektedir. OB35 ve OB44 kodlu seramik numunesi aynı mineral yapıda oldukları XRD sonucuna göre belirlenmiştir. Bu seramikler tunç çağı dönemine ait olup Şekil 4.18 ve Şekil 4.19' da gösterilen Faktör analizi ve Hiyerarşik kümeleme Analiz istatistik sonuçlarında 2. grupta yer aldığı görülmektedir. OB35 ve OB44 kodlu seramik numunesinin XRD analiz sonuçlarına göre diğer sonuçlardan farklı olduğu Şekil 4.11' de görülmektedir. XRD sonuçlarından elde ettiğimiz analiz sonuçları da istatistik analiz sonuçlarıyla uyushmaktadır. Çalışmalarda ortaya çıkan teknolojik sonuçlar, arkeologlar ve tarihçiler tarafından hızlı bir şekilde ve güvenilir bir şekilde bulunması mümkün olmayan sonuçlardır.

Çizelge 4.9. Nevşehir Ovaören,Kayseri Kültepe,Aksaray Acemhöyük tunç çağına ait seramik ve kil numunelerinin istatistikanalizlerine göre oluşmuş grupların elementlere göre ortalamaları ve standart sapmaları

		Grup 1 (n=100)		Grup 2 (n=4)	
	Element	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma
%	Na ₂ O	1,3	0,3	0,3	0,1
	MgO	3,5	0,3	24,2	2,7
	Al ₂ O ₃	16,0	0,5	8,1	0,2
	SiO ₂	53,8	1,3	45,3	0,9
	P ₂ O ₅	0,2	0,1	0,1	0,0
	K ₂ O	2,9	0,5	0,6	0,2
	CaO	12,3	0,8	7,2	1,3
	Ti	0,5	0,1	0,4	0,0
P P m	Sc	14,4	1,2	14,8	2,7
	V	98,6	13,3	96,3	14,5
	Cr	178	2,3	1627	191
	Co	18,3	0,8	81,5	4,2
	Ni	105	2,7	1264	5,7
	Cu	31,5	8,1	50,5	6,7
	Zn	82,5	18,7	90,5	1,7
	Ga	14,5	0,3	8,6	0,5
	As	43,8	25,7	9,2	1,4
	Rb	101	8,3	17,5	4,6
	Sr	408	198	151	27,6
	Y	23,6	2	12,1	0,5
	Zr	155	27,3	71,4	3,7
	Nb	13,1	2,0	10,1	0,7
	Sn	6,9	1,7	5,1	2,3
	Ba	480	108	97,6	2,1
	La	28,4	8,7	10,8	1,8
	Ce	51,9	4,7	25,6	4,1
	Nd	21,4	1,7	13,3	4,5
	Pb	27,8	25,4	5,1	2,9
	Th	16,1	0,9	4,4	1,4
	U	4,4	0,3	1,3	0,0

Nevşehir Ovaören ,Kayseri Kültepe ,Aksaray Acemhöyük tunç çağına ait seramik ve kil numunelerinin WDXRF analiz sonuçlarına HCA ve FA uygulandıktan sonra oluşmuş 2 grubun elementel konsantrasyonlarının grup ortalamaları ve standart sapmaları çizelge 4.9' da verilmiştir. 1. grupta 100 adet (97 adet seramik ve 3 adet kil) seramik ve kil numuneleri, 2. grupta ise 4 adet metal seramik bulunmaktadır. Gruplar arası elementel konsantrasyonlarının ortalamaları incelendiğinde, 1. ve 2. grup arasında Ti, Sc ve V dışında bütün elementlerde oldukça farklılık görülmektedir. Böylelikle iki grubun

birbirinden ayrıldığı yani seramiklerin kökenlerinin aynı olmadıkları bu yöntemle de açık bir şekilde ortaya konulmuştur.

4.3. Rehidroksilasyon Metodu ile Yaş Tayinleri

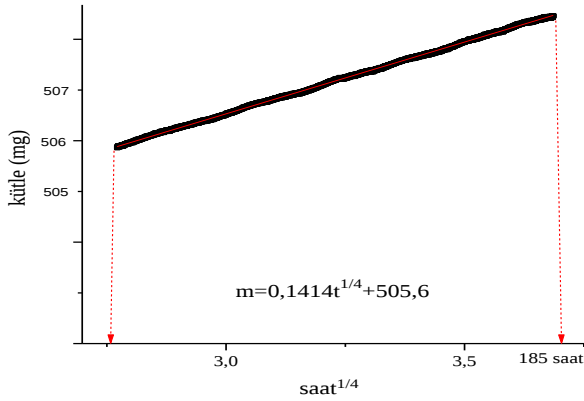
Kil tabanlı seramik, çanak çömlek gibi malzemelerin yaşlarını belirlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan en çok bilinenleri Termolüminesans, Radyokarbon tarihleme yöntemleridir.

Termolüminesans ile yaş tayini yöntemi maddelerin soğurup, biriktirdiği radyasyon enerjisini ölçerek bunun ne kadar zamanda biriktiğini saptama temeline dayanır. Bunun için biriken enerjiyi ve bu enerjinin birikme oranını bulmak gerekir. Radyasyon enerjisinin maddede birikme süresi maddenin yaşını verir. Termolüminesans yöntemi ile tarihlendirme, biriken toplam enerjinin bir yıllık radyasyon dozuna bölünmesi temeline dayanır. Termolüminesans sinyali kuvars, feldispat, zirkon ve diğer birkaç minerale gelmektedir. Bunların hepsi kil boyutunda bulunan ince taneciklerdir veya daha büyük tanecikler çanak çömleğin yansıma özelliklerini arttırmak için ilave edilmiştir. Termolüminesans tarihlemeye bu mineralleri kil numunesinden ayırmak için çeşitli kimyasal işlemler yapmak gerekmektedir ve yansıma özelliklerini arttırmak için bazı ilave katkı maddeleri katmak gerekmektedir Güldürek M., (2006).

Radyokarbon tarihleme yöntemi çanak çömleklere uygulanmıştır. Bu yöntemi uygulayabilmek için organik maddelerin dışındaki malzemeleri kimyasal yöntemlerle numunedan ayırmak gerekmektedir . Ancak bu ayırma işlemi yapıldıktan sonra yeterli karbon miktarı elde edebilmek için bir kaç kilo seramik örneğinin olması gerekmektedir. Bu da bu yöntemin kullanılabilirliğini sınırlamaktadır Taylor R. (1997), Suzanne, P. (1980). Rehidroksilasyon metodu ile yaş tayinleri İngiltere' de ve Amerika'da çeşitli Üniversitelerde bir kaç laboratuarda araştırılmıştır. Türkiye' de ise ilk defa bu tezde tarafımızdan çalışılmıştır.

4.3.1. OI11 (YH 07 E8 11-1) Kodlu Nevşehir Ovaören seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik M.Ö. 2300-2600 yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. 3.2.4. bölümünde anlatılan deney prosedürü bu numuneye de uygulanmış ve aynı şartlar altında deneyleri yapılmıştır. Bu deney sonucuna göre m_a değeri 514,4780 mg'dır. Bu kütle değeri, seramik numunesinin ilk yapıldığı tarihten kazıdan çıkarıldığı tarihe kadar olan yaşının kütlesidir. Kütle kazanımı 10,4 °C ve bağıl nemi %59,9 ve yaklaşık 185 saatte gerçekleştirilmiştir. Yaş tayini için Şekil 2.10. ' deki grafikteki 2. evredeki 7961 ile 24833 data noktaları arasındaki değerler alınmıştır. Kütle kazanım verileri Şekil 2.9.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. OI11 (YH 07 E8 11-1) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği

Şekil 4.20'deki grafik, şekil 2.8.' deki grafiği lineer fit edilerek elde edilmiştir.

Doğrunun eğimi ise 0,14149 'dir. Burada karşılık gelen yaşı bulabilmek için 2. evredeki grafiği lineer fit ederek doğru uzatılır. Grafikten

$$m = 0,1414 t^{1/4} + 505,6 \quad (4.1)$$

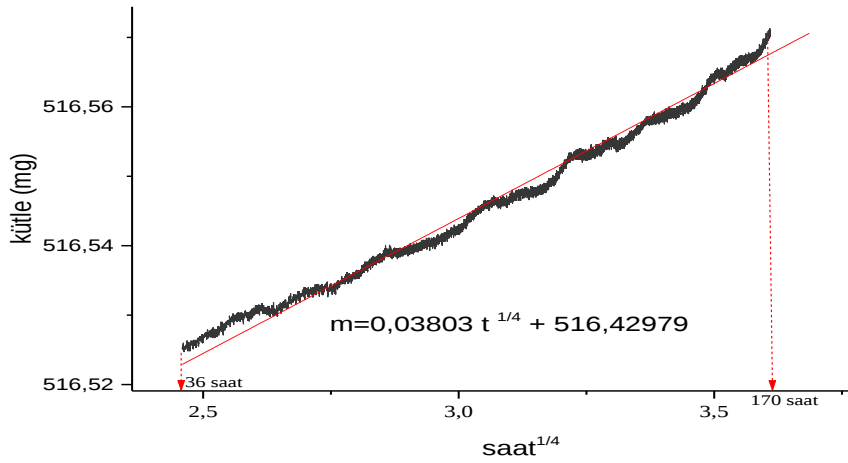
denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$514,4780 = 0,1414 t_a^{1/4} + 505,6 \quad (4.2)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 1768 \pm 144$ yıl olarak bulunur.

4.3.2. OI18 (YH 07 33.10) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik (M.Ö. 2600-2300) yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. Deney prosedürleri ve yapılan işlemler yukarıda anlatılanlarla aynıdır ve aynı deney şartları uygulanmıştır. Bu seramik için ilk deneyimiz cihaz kabinini sıcaklığı 10,4 °C' de 0,1 °C hassasiyetle ve bağıl nemi %59,9 da %1 hassasiyetle sabit tutarak 30 gün boyunca 50 saniye aralıklarla veri alınmıştır. Deney sonucuna göre m_a değeri 518,862 mg'dır. Yaş tayini 2. evredeki 4947 ile 22862 data noktaları arasındaki değerler alınmıştır.



Şekil 4.21. OI18 (YH 07 33.10) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği

Doğrunun eğimi ise 0,03803' dir. Grafikten elde edilen denklem;

$$m = 0,03803 t^{1/4} + 516,42979 \quad (4.3)$$

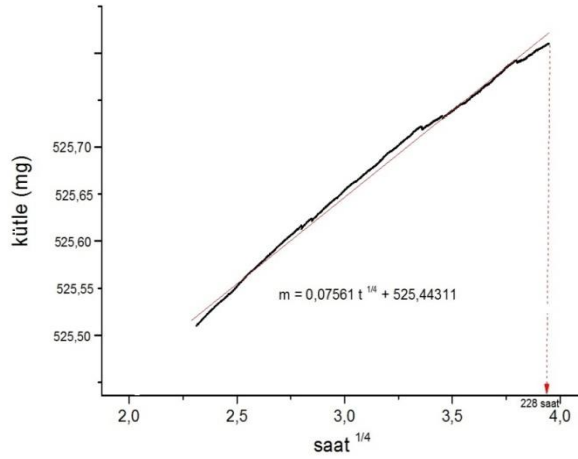
denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$518,86 = 0,03803 t_a^{1/4} + 516,42979 \quad (4.4)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 1910 \pm 156$ yıl olarak bulunur.

4.3.3. OI2 (YH 07 F 1-4) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik (M.Ö. 2600-2300) yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. Deney sonucuna göre m_a değeri 530,23 mg'dır. Yaş tayini 2. evredeki 2941 ile 30653 data noktaları arasındaki değerler alınmıştır.



Şekil 4.22. OI2 (YH 07 F 1-4) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütlekazanç ve yaş tayini grafiği

Doğrunun eğimi ise 0,07561' dir. Grafikten elde edilen denklem;

$$m = 0,07561 t^{1/4} + 525,44311 \quad (4.5)$$

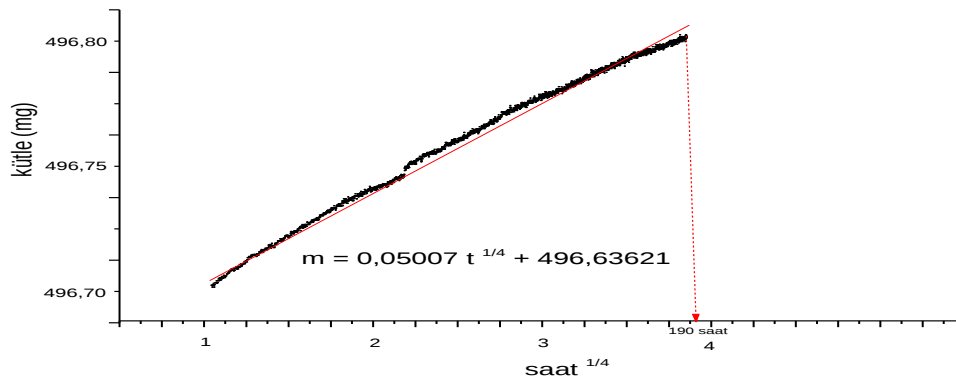
denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$530,23 = 0,07561 t_a^{1/4} + 525,44311 \quad (4.6)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 1852 \pm 151$ yıl olarak bulunur.

4.3.4. OI19 (YH 07 23.85) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik (M.Ö. 2600-2300) yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. Deney sonucuna göre m_a değeri 499,79 mg'dır. Yaş tayini 2. evredeki 323 ile 25753 data noktaları arasındaki değerler alınmıştır.



Şekil 4.23. OI19 (YH 07 23.85) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ile yaş tayini grafiği

Doğrunun eğimi ise 0,05007' dir. Grafikten elde edilen denklem;

$$m = 0,05007 t^{1/4} + 496,63621 \quad (4.7)$$

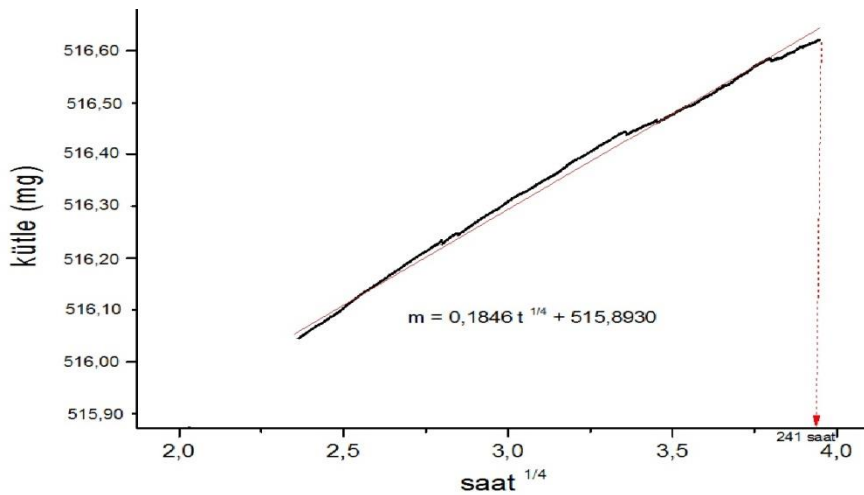
denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$499,79 = 0,05007 t_a^{1/4} + 496,63621 \quad (4.8)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 1797 \pm 147$ yıl olarak bulunur.

4.3.5. OB54 (YH 07 E8 62-18) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik (M.Ö. 2900-2600) yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. Deney sonucuna göre m_a değeri 527,8804 mg'dır. Yaş tayini 2. evredeki 1539 ile 23248 data noktaları arasındaki değerler alınmıştır.



Şekil 4.24. OB54 (YH 07 E8-62-18) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği

Doğrunun eğimi ise 0,1846' dir. Grafikten elde edilen denklem;

$$m = 0,1846 t^{1/4} + 515,8930 \quad (4.9)$$

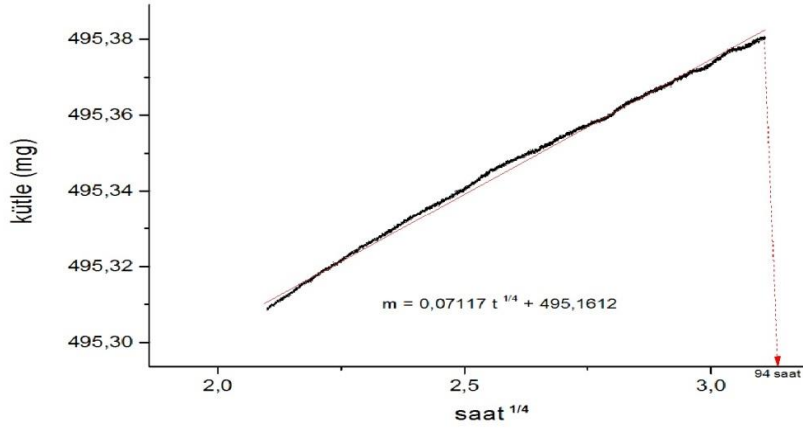
denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$527,8804 = 0,1846 t_a^{1/4} + 515,8930 \quad (4.10)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 2030 \pm 166$ yıl olarak bulunur.

4.3.6. OI8 (YH 07 E8- 46.2) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik (M.Ö. 2500-2300) yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. Deney sonucuna göre m_a değeri 499,5978 mg'dır. Yaş tayini 2. evredeki 1975 ile 12497 data noktaları arasındaki değerler alınmıştır.



Şekil 4.25. OI8 (YH 07 E8-46-2) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği

Doğrunun eğimi ise 0,07117' dir. Grafikten elde edilen denklem;

$$m = 0,07117 t^{1/4} + 495,1612 \quad (4.11)$$

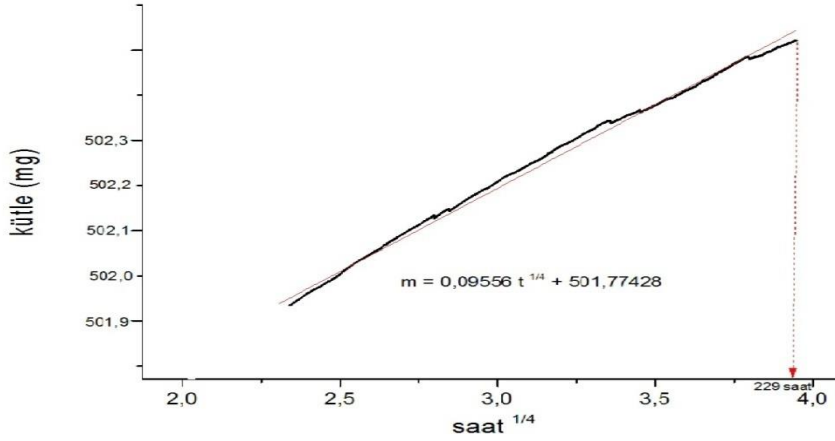
denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$499,5978 = 0,07117 t_a^{1/4} + 495,1612 \quad (4.12)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 1838 \pm 150$ yıl olarak bulunur.

4.3.7. OI4 (YH 07 h 21-4) Kodlu seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik (M.Ö. 2300-2000) yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. Deney sonucuna göre m_a değeri 507,7100 mg'dır.



Şekil 4.26. OI4 (YH 07 H 21-4) kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği

Doğrunun eğimi ise 0,09556' dir. Grafikten elde edilen denklem;

$$m = 0,09556 t^{1/4} + 501,77428 \quad (4.13)$$

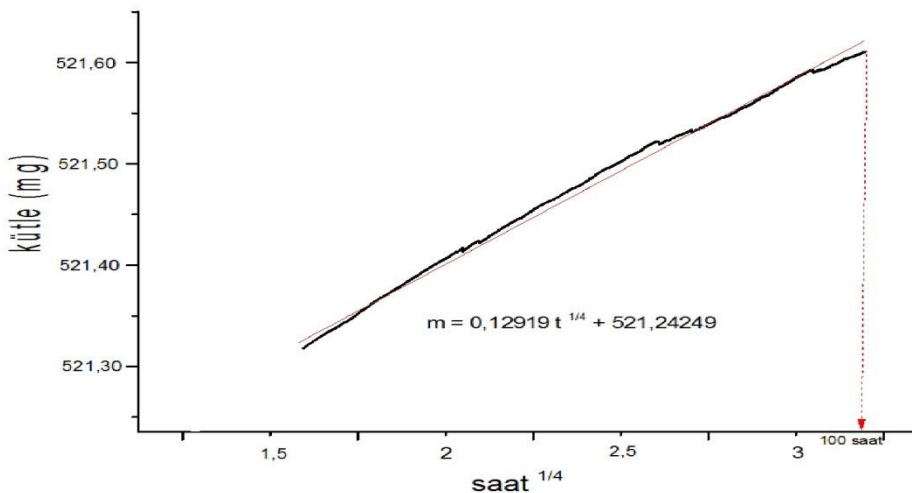
denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$507,7100 = 0,09556 t_a^{1/4} + 501,77428 \quad (4.14)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 1699 \pm 138$ yıl olarak bulunur.

4.3.8. OI55 Kodlu seramik numunesinin yaş tayini

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramik (M.Ö. 2050-1950) yıllarına ait olduğu Arkeologlar tarafından tahmin edilmektedir. Deney sonucuna göre m_a değeri 529,023 mg'dır. Yaş tayini 2. evredeki 2675 ile 13670 data noktaları arasındaki değerler alınmıştır.



Şekil 4.27. OI55 kodlu seramik numunesinin 2. evredeki kütle kazanç ve yaş tayini grafiği

Doğrunun eğimi ise 0,12919' dir. Grafikten elde edilen denklem;

$$m = 0,12919 t_a^{1/4} + 521,24249 \quad (4.15)$$

denklemini elde edilir. Deneyle ölçülen m_a değerini yerine yazarsak;

$$529,023 = 0,12919 t_a^{1/4} + 521,24249 \quad (4.16)$$

olur. Buradan seramiğin yaşını $t_a = 1503 \pm 122$ yıl olarak bulunur.

Nevşehir Ovaören kazılarında elde edilen seramiklerin Arkeologların tahmin ettikleri muhtemel yaş aralıkları ve deneysel olarak bulunan yaş değerleri çizelge 4.10. de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Nevşehir Ovaören ait seramik numunelerinin muhtemel yaş aralıkları ve hesaplanan yaşları

Örnek Adı	Muhtemel Yaş Aralığı (Yıl)	Muhtemel Yaş Aralığı Ortalaması (Yıl)	Deneysel bulunan Değer (Yıl)
OI8 (YH07 46-2)	2500-2300	2450	1838 $\pm$ 150
OI55 (Örnek 2)	2050-1950	2000	1503 $\pm$ 122
OI2 (YH07 F1-4)	2600-2300	2450	1852 $\pm$ 151
OI4 (YH 07 H 21-4)	2000-2300	2150	1699 $\pm$ 138
OI11 (YH 07 E8- 11-1)	2600-2300	2450	1768 $\pm$ 144
OI18 (YH 07 33-10)	2600-2300	2450	1910 $\pm$ 156
OI19 (YH 07 23-85)	2600-2300	2450	1797 $\pm$ 147
OI54 (YH 07 E8 62-18)	2900-2600	2750	2030 $\pm$ 166

Burada tahmin edilen yaş aralıklarının ortalaması alındığında bulduğumuz deneysel değerlerden elde edilen yaş değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Ovaörene ait herhangi bir meteorolojik veri bulunmadığından en yakın Nevşehir iline ait son yaklaşık 50 yıllık meteorolojik verilerle deneyler yapılmıştır. Bu yapılan deneyler sonucunda seramik numunelerinin yaşlarını daha düşük bulunmasının nedeni Ovaörenin sıcaklık değeri Nevşehir 'e göre farklılık göstermesinden dolayıdır. Rehidroksilasyon reaksiyon oranı sıcaklığa bağımlıdır. Sıcaklıktaki 10 °C artış reaksiyon oranında yaklaşık iki katına çıkmasına neden olur. Sıcaklık artışıyla kütle kazanım oranı da artar. Böylece kütle kazanım oranının artışı şekil 2.11'deki grafikteki m_a değerinden daha düşük değerde bulmamızı sağlar. Bu da bizi numunenin yaşını daha düşük bulmamıza neden olur. Bu Arrhenius olayıyla açıklanmaktadır. Metot kendi öz kalibrasyonu ile olmaktadır ve pişirme

sıcaklığı, mineroloji ve mikro yapı sonuç olarak elimine edilmiştir. Wilson ve diğerleri (2009).

Çizelge 4.11. Nevşehir Ovaören 'e ait seramik numunelerinin muhtemel yaş aralıkları ve düzeltilmiş yaşları

Örnek Adı	Deneyisel Değer	Çarpan	Muhtemel Yaş Aralığı	Hesaplanmış Yaş Değeri (Deneyisel değer ile ortalama 1,33 çarpanıyla çarpılmış)
OI8 (YH07 46-2)	1838 ± 150	1,33	2450	2445
OI55 (Örnek 2)	1503 ± 122	1,33	2000	1999
OI2 (YH07 F1-4)	1852 ± 151	1,32	2450	2463
OI4 (YH 07 H 21-4)	1699 ± 138	1,27	2150	2260
OI11 (YH 07 E8- 11-1)	1768 ± 144	1,39	2450	2350
OI18 (YH 07 33-10)	1910 ± 156	1,28	2450	2539
OI19 (YH 07 23-85)	1797 ± 147	1,36	2450	2389
OI54 (YH 07 E8 62-18)	2030 ± 166	1,35	2750	2699
	Çarpanların Ortalaması	1,33		

Bu açıklamaların ışığı altında düzeltmelerin yapılabilmesi için çarpanlar elde edildi. Bu çarpan değerleri 1,27 ile 1,39 arasındadır. Ortalama değer olan 1,33 ile deneyisel verileri çarptığımız zaman, düzeltilmiş yaş değerleri Çizelge 4.11.' de verilmiştir. Sonuçlar Arkeologlar tarafından sınırlar içinde uygun bulunmuştur.

Yapılan literatür araştırmasına göre Rehidraksilasyon metoduyla yaş tayini yapılmış seramiklerin yaşının 1961 yıl üzerinde rastlanmamaktadır. Bulduğumuz seramiklerin yaşları ise bu yaş değerinin üzerindedir. Bu da 2000 yılın üzerindeki seramik numuneleri içinde bu metodun geçerli olduğunu göstermiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Anadolu'nun yazı ile tanıştığı Asur Ticaret Kolonileri Çağı'nda Orta Anadolu (Kültepe) merkezli ticaret kolonileri önemli yol güzergahları üzerine kurulmuştur. Gerek Asur Ticaret Kolonileri Çağı'na tarihlenen çanak çömlek parçaları ve gerekse yerleşim alanının boyutları bu alanın önemli ticaret kolonilerinden (karum veya wabartum) birine ait olabileceğini göstermektedir. Nevşehir Ovaören yukarıda değinilen önemli arkeolojik bulguları ile bölge tarihi ve Anadolu arkeolojisinde henüz çözümlenememiş bir çok konuyu aydınlatacak önemde büyük bir potansiyele sahiptir. Neredeyse her dönemi ayrı bir alanda temsil edilen, geniş bir alana yayılmış yerleşim kalıntıları ile Ovaören bu yönüyle Anadolu arkeolojisinde daha önce kazılarla araştırılmamış bir yerleşim modeli sunmaktadır. Bilimsel sonuçları ile Anadolu arkeolojisine önemli katkılarda bulunacak Ovaören kazılarında açığa çıkarılacak mimari kalıntılar restore edilecektir. Şenyurt S. (2008)

Nevşehir Ovaören kazı bölgeleri Topak höyük, Yassı höyük ve Aşağı şehirden oluşmaktadır. Ovaören kazı bölgesine ait yakın demir çağı (M.Ö. 600-330), Orta demir çağı (M.Ö. 850-600) ve Orta tunç çağı (M.Ö. 2000-1650) dönemlerine ait 20 adet seramiğin (fincan, bardak, çanak, tepsisi) dış yüzeyinde olan desenlerdeki renk pigment analizleri yapılmıştır. Pigment analizleri arkeolojik eserler çıkarıldıktan sonra koruma, restorasyon, arkeolojik açıdan değerli numuneleri birleştirmede, sahte olup olmadıkları, malzeme ve yapım teknolojileri hakkında bilgi vermektedir. Bunlar için Mikro XRF spektrometresi kullanılmıştır. Desenlerde çoğunlukla siyah rengi veren elementin mangan, kahverengi rengi veren elementlerin demir ve mangan ve kırmızı rengi veren elementin demir olduğu tespit edilmiştir. Bazı siyah pigmentler sadece Mn içermesine rağmen kahverengi veya onun tonları gibi gözükmektedir. Minör elementler olan Ni, Cr, V, As, Ti ve Ba, kullanılan Mn ve Fe cevherinden geldiği ve renk tonlamasında fazla katkısı olmadığı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca pigment yoğunluklarının elementlere göre haritalandırılması yapılmıştır. Bu çalışma, bölgede kazıda bulunan seramik parçalarının restorasyonunda, eserlerin korunmasında, önemli tarihi eserlerin kırık parçalarının birleştirilmesinde ve eserin orijinalliğini belirlemede önemli bir katkı sağlayacaktır.

Nevşehir Ovaören, demir çağına ait 27 adet ve tunç çağına ait 69 adet, Aksaray Acemhöyük tunç çağına ait 18 ve Kayseri Kültepe kazılarında elde edilen tunç çağına ait 16 adet seramik numuneleri (fincan, bardak, çanak ve tepsi) ve Nevşehir Ovaören' e yakın bölgelerden alınan 5 adet kil numunesi ile toplamda 135 adet numunenin Dalga boyu dağılımlı XRF tekniği ile kantitatif elementel analizleri gerçekleştirilmiştir. SPSS programı kullanılarak yapılan istatistiksel değerlendirmeler seramiklerin köken tayinleri için en temel veri kaynağı bu sonuçlar olmuştur. Uygulamada veri olarak WDXRF spektrometresi ile elde edilen kantitatif elementel sonuçlardan majör olan , Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , Ti , minör olan, Sc , V , Cr , Co , Ni , Cu , Zn , Ga , As , Rb , Sr , Y , Zr , Nb , Sn , Ba , La , Ce , Nd , Pb , Th , U elementleri kullanılmıştır. İstatistik analizlerde iki farklı analiz yöntemi Hiyerarşik kümeleme analizi ve faktör analizi uygulanmıştır.

Bu sonuçlar bize, farklı bölgelere ait kazılar yapılmasına rağmen çıkarılan seramiklerin; tunç çağına ait KB1 ve OB51 kodlu seramikler, demir çağına ait OI17 ve OI3 kodlu seramikler , ve K2 VE K5 kil numuneleri haricinde birbirleriyle benzerlik gösterdikleri belirlenmiştir. Nevşehir Ovaörenin Kral yolu ve İpek yolunun kesiştiği bölgede olması nedeniyle bölgede bir ticaretin olacağı tahmin edilmektedir. Analiz sonuçlarına göre Nevşehir Ovaören, Aksaray Acemhöyük ve Kayseri Kültepe arasında bir ticaretin olduğu ortaya çıkmıştır. İthal olduğunu düşündükleri 3 adet Ovaören ve 1 adet Acem höyük kazılarından elde edilen ithal olabileceği varsayılan metal seramik ise farklı bölgedeki kazılardan elde edilmesine rağmen aynı grup çıkmış ve diğer Ovaören, Acem höyük ve Kültepe seramik gruplarından ayrılmıştır. Bunların kil yapıları bölgeden elde edilen hiç bir kil gruplarına da uymamaktadır. Bu da demektir ki bu metal seramikler farklı bölgelerdeki kazılarda çıkmalarına rağmen kökenlerinin aynı olduklarını ve Ovaören, Acem höyük ve Kültepe' ye ait olmadıkları ve bunların dışındaki bir bölgeye ait oldukları ya da ithal olabileceklerini göstermektedir. Bu da analiz sonuçlarıyla örtüşmektedir. Diğer yandan Nevşehir Ovaören'de ki kazılardan elde edilen fakat bölge seramiklerine benzemeyen ithal olabilecekleri düşünülen 21 adet seramik numunelerinden OB51 kodlu seramiğin hiç bir gruba ve bölgeye ait olmadığı ithal olabileceği analiz sonuçlarından çıkarılmıştır. OB61 kodlu ithal varsayılan ise diğer metal seramik grupla aynı grupta çıkmıştır. Analiz sonuçları Nevşehir Ovaören, Aksaray Acemhöyük ve Kayseri Kültepe bölgelerinde aynı kil yapısı kullanılan ortak bir seramik yapım merkezi olabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Metal seramiklerin kökeni hakkında bir bilgi yoktur. Arkeologlar tarafından ithal olabileceği varsayımı ile analiz sonuçları örtüşmektedir.

Aksaray Acemhöyük ve Kayseri Kültepe arasında bir ticaret olduğu bilinmektedir. Bu sonuçlarla, Nevşehir Ovaören'le diğer bölgeler arasında da bir ticaretin olduğu tahmin edilmektedir. Kayseri Kültepe de şimdiye kadar yapılan kazılardan elde edilen bilgiye göre herhangi bir seramik ocaklarına rastlanmamaktadır. Ancak Aksaray Acemhöyük'te bilinen seramik ocağı bulunmaktadır. Şimdiye kadar yapılan kazı çalışmalarında Nevşehir Ovaörende seramik ocaklarına rastlanmamaktadır. WDXRF kantitatif analiz sonuçlarına SPSS uygulandığında (istatistik olarak numune sayısı oldukça fazladır) en az 2 farklı ocakta seramiklerin yapıldığı fakat aynı kili kullandıkları analiz sonuçlarından elde edilmiştir.

Bu sonuçları desteklemek amacıyla bazı seramiklere XRD analizleri de yapılmıştır. XRD sonuçlarına göre kuvarz, albite, microcline, anorthite, calcite, potasyum alüminyum silikat, potasyum magnezyum alüminyum silikat, kalsiyum karbonat mineralleri bulunmaktadır.

Yeni bir yöntem olan Rehidroksilasyon metodu ile kazıdan elde edilen bazı seramiklerin yaş tayinleri yapılmıştır. Nevşehir Ovaören kazılarından elde edilen 8 adet seramik numunesinin yaş tayinleri Aquadyne DVS cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, diğer yöntemlerdeki zor ve uzun süren kimyasal işlemleri içermemekte olup hızlı, güvenilir ve kolaydır. Yapılan deneyler sonucunda bulunan seramik yaşları (1503-2030) arkeologların tahmin ettikleri yaşlarla (2000-2750) karşılaştırıldığında düşük bulunmuştur. Bunun sebebi Ovaören bölgesine ait herhangi bir meteorolojik veri olmaması nedeniyle, en yakın Nevşehir ilinin son 50 yıllık sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre analiz parametrelerinin uygulanmasıdır. Rehidroksilasyon reaksiyon oranı sıcaklığa bağımlıdır. Sıcaklık arttırılırsa kütle kazanım oranı da artmaktadır. Böylece kütle kazanım oranının artmasıyla gerçek m_a değerinden daha düşük değerde eksen kesmesine neden olur. Bu da bizi numunenin yaşını daha düşük bulmamıza götürür. Bu Arrhenius olayı ile açıklanmaktadır Wilson ve diğerleri (2003).

Analiz sonuçlarını her bir numune için bir çarpan hesaplanarak ortalaması alındığında elde edilen 1,33 olan değerle çarpıldığında sonuçlarımızın (1999-2699) arkeologlar tarafından tahmin edilen yaşlarla hemen hemen aynı oldukları belirlenmiştir. Yapılan literatür araştırmasına göre Rehidroksilasyon metoduyla yaş tayini yapılmış seramiklerin yaşının 1961 yıl üzerinde rastlanmamaktadır. Bulduğumuz seramiklerin yaşları ise bu yaş

değerinin üzerindedir. Bu da 2000 yılın üzerindeki seramik numuneleri için de bu metodun geçerli olduğunu göstermiştir. Dünyada bir kaç laboratuvar da (İngiltere ve ABD) bu tekniğin daha yaygın uygulanması, bu konuda makale sayısının artması ve rutin analiz tekniği olarak kullanılması beklenmektedir. Bu nedenle , Türkiye' de ilk SANAEM' de bu alanda tarafımızdan yapılan çalışmalar ,dünyadaki gelişmelere paralel olarak sürdürülecektir. Bu tez de yapılan çalışmaların arkeologlara ve arkeometri alanında çalışanlara ışık tutması beklenmektedir.

Mikro X- Işınları Floresans (μ XRF), Dalga boyuna bağlı X- Işınları Floresans (WDXRF, X- Işınları Kırınım (XRD) analizleri ve Rehidroksilasyon tarihleme metodu ile yaş tayini analizleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde (SANAEM) RER/0/039 Extending and Diversifying the Application of Nuclear Technology in Culturel Heritage adlı Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) projesi kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aloupi, E., Karydas, A. ve Paradellis, T. (2000). Pigment analysis of wall paintings and ceramics from Greece and Cyprus. The optimum use of x-ray spectrometry on specific archaeological issues, *X-Ray spectrometry, X-Ray spectrom* 29, 18-24
- Bakraji, E., Abboud R. ve Issa H., (2014). *Provenance Study of Archaeological Ceramics from Syria Using XRF Multivariate Statistical Analysis and Thermoluminescence Dating, Journal of Ceramics*,
- Bertin, E. (1975). Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, 1.
- Claes , M., Ham, R., Janssens, K. ve Grieken, R. (1999). *Micro-analysis of Artists' Pigments by Grazing-Emission X-ray Fluorescence Spectrometry*.
- Clelland, S. (2013). *A introduction to Rehydroxylation dating* , The University of Manchester
- Clelland, S., Wilson, M. ve Carter, M. (2015). *Rhx Dating: Measurement of the Activation Energy of Rehydroxylation for Fired- Clay* , *Ceramics Archaeometry* 57, 2 392–404
- Cultrone, G., Rodriguez, C., Sebastian, E., Cazalla, O. ve Torre M. (2001). *Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing, European Journal of Minerology*, 13, 621-634
- Çakmak, Z., (1999). “*Kümeleme Analizinde Geçerlilik Problemi ve Kümeleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi*”, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 ,187-205.
- Güldürek, M., (2006). *Amik ovası Tell Atçana höyüğü sur dibi seramiklerinin termoluminesans yöntemiyle tarihlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adana.
- Gürsakal, N. (2001). *Bilgisayar Uygulamalı İstatistik I*”, *Alfa Yayınları*, İstanbul, 4-6.
- Hart, F. ve Adams, S. (1983). *The chemical analysis of Romano-British pottery from the alic holt forest,Hampshire by means of inductively coupled plasma emission spectrometry*, *Archaeometry*, 25 , 179–185
- Jones, G., Bailey, G. ve Beck, C. (1997). *Source Provenance of Andesite Artefacts Using Non-Destructive XRF Analysis*, *Journal of Archaeological Science*, 24, (10) 929–943
- Josa, V., Bertolino, S., Lagunes, A., Riveros, J. ve Castellano, G. (2010). *X-ray and scanning electron microscopy archaeometric studies of pigments from the Aguada culture, Argentina*, *Microchemical Journal* 96, 259–268
- Goffer, Z. (2007). *Archaeological Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc. 2. 62-75
- Gualtieri, A. ve Ferrari, S. (2006). *Kinetics of illite dehydroxylation*, *phys Chem minerals* ,33; 490-501

- Hamilton, A. ve Hall, C. (2012). *A Review of rehydroxilation in fired- clay ceramics*, 95,(9) 2673–2678
- Havrilla, G. (1997). *Applications of x-ray microfluorescence to materials analysis. X-Ray Spectrum*. 26, 364-373.
- Hradil , D., Grygar, T., Hradilova J. ve Bezduka, P., Clay and iron oxide pigments in the history of painting
- Jenkins, R., Gould, R., Gedcke, D., (1981). “*Quantitative X-Ray Spectrometry*”, Marcel and Dekker Inc., NewYork-USA, 1-7, 9-42, 89-100.
- Lizana, L. and Ambjörnsson, T. (2008). "Single-File Diffusion in a Box" *Phys. Rev. Lett.* 100, 200601.
- Mantler, M. ve Schreiner, M. (2000). *X-ray fluorescence spectrometry in art and archaeology. X-Ray Spectrum*. 29, 3-17.
- Mazzocchin, G., Agnoli, F. ve Colpo, I. (2003). *An investigation on Roman age pigments found on pottery fragments*, *Analytica Chimica Acta*, 478/1-2, 147-161,
- Milazzo, M. ve Cicardi, C. (1997). *Simple methods for quantitative x-ray fluorescence analysis of ancient metal objects of archaeological interest. X-Ray Spectrum.*, 26, 211-216.
- Mirti, P., Aceto, M. ve Preacco Ancona, M. (1998). *Campanian potter from ancient Bruttium (southern Italy): scientific analysis of local and imported products* *Archaeometry*, 40, 311–329
- Munita, C.S., Paiva,R.P., Alves, M.A. (2001). Oliveira, P. ve Momose, E., ” Major and trace element characreization of prehistoric ceramic from Rezende archaeological site”, *Journal of Radioanalitical and Nuclear Chemistry*, 93-96
- Navarro, C., Cultrone, G., Sanchez, A. ve Tem, E. (2003). *Study of mullite growth after muscovite breakdown*, *American Mineralogist*, 88, 713–724.
- Ökse, A.T. (1999). “Önasya Arkeolojisi Seramik Terimleri”, *Arkeoloji ve Sanat Yayınları*, İstanbul, 13, 14-18.
- Özdamar K. (2004). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi (Çok Değişkenli Analizler)* Türkiye: KAAN Kitabevi, 5, 235
- Öztürk, E. (2004). *Türkiye’de üniversite özerkliğinin mali, akademik ve yönetsel boyutlarıyla kamu ve vakıf üniversiteleri için betimlenmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Richards, P. (1977) "*Theory of one-dimensional hopping conductivity and diffusion*" *Phys. Rev. B* 16, 1393.

- Pillay, A., Punyadeera, C., Jacobson, L. ve Eriksen, J. (2000). *Analysis of ancient pottery and ceramic objects using X-ray fluorescence spectrometry*. *X-Ray Spectrum*., 29, 53-62.
- Punyadeera, C., Pillay, A., Jacobson, L. ve Whitelaw, G. (1997). *Application of XRF and Correspondence Analysis to Provenance Studies of Coastal and Inland Archaeological Pottery from the Mngeni River Area, South Africa*. *X-Ray Spectrum*., 26 , 249-256.
- Ravisankar, R. , Naseerutheen, A., Chandrasekaran, A., Bramha, S., Kanagasabapathy, K., Prasad, M. ve Satpathy K. (2014). *Energy dispersive X-ray fluorescence analysis of ancient potteries from Vellore District Tamilnadu, India with statistical approach*, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* January 7,(1) 44–54
- Rodriguez, N., Cultrone, G., Sanchez N. ve Sebastian, E. (2003). *Dynamics of high- t muscovite to mullite transformation: a TEM study*, *American Mineralogis*
- Senyurt, S. (2008). National Annual Scientific Research Report on Ovaören Excavation.
- Scott, D. (2001). *The Application of Scanning X-ray Fluorescence Microanalysis in the Examination of Cultural Materials*. *Archaeometry*, 43, 475-482.
- Suzanne, P. (1980). Radiocarbon Dating of Ceramic Materials Progress and prospects radiocarbon 22, (3) 987-993.
- Şahin, Y. ve Demir, D. (2013). " *X-ışını spektrometresi*" Türkiye: ÇİMKE yayınları:6, Ders kitabı serisi :2,9-11.
- Taylor, R. (1997). *Radiocarbon Dating* , *Chronometric Dating in Archaeology*, Chapter 3,65-77.
- Tertian, R., Claisse, F. (1982). "*Principles of Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis*" *Heyden and Son Ltd.*, Southampton-UK, 3-15, 16-35, 51-70.
- Traore, K. , Bernadji, F. Ve Blanchart (2006). *Significance of kinetic theories on the recrystallization of kaolinite*, *Thermochimica acta*, 451, 99-104
- Van Grieken, R. ve Markowicz, A. (1993). *Handbook of X-Ray Spectrometry*, Second Edition, Marcel Dekker, NY., 227-228.
- Williams-Thorpe, O., Potts, P. ve Webb. P. (1999). *Field-portable non-destructive analysis of lithic archaeological samples by X-ray fluorescence instrumentation using a mercury iodide detector: comparison with wavelength-dispersive XRF and a case study in British stone axe provenancing*. *J. Arch. Sci.*, 26, 215-237.
- Wilson, M. , Carter ,M., Hall, C., Hoff, W., İnce, C., Savage, S., Mckay, B. ve Betts I. (2009). *Dating fired- clay ceramics using long- term power law rehydroxylation kinetics*, *Proc. R. Soc.*

Wilson, M., Hoff, W., Hall, C., McKay, B. ve Hiley A. (2003). *Kinetics of moisture expansion in fired ceramics : a (time)^{1/4}*, Physical Review Letters, 90, 12

EKLER

Ek 1. Nevşehir Ovaören ,Kayseri Kültepe, Aksaray Acem Höyük kazılarında ele geçen
izinli seramiklerin kil numunelerinin kalitatif analiz sonuçları

Çizelge 1.1. Nevşehir Ovaören 'e yakın bölgelerden alınan kil numunelerinin kantitatif
analiz sonuçları

		KL1	KL2	KL3	KL4	KL5
%	Na ₂ O	1,6	1,0	0,9	1,7	1,6
	MgO	2,7	7,9	3,7	2,4	3,2
	Al ₂ O ₃	15,1	12,6	16,4	16,5	15,2
	SiO ₂	59,5	48,1	52,1	57,4	56,1
	P ₂ O ₅	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
	K ₂ O	2,5	2,0	2,0	2,5	2,6
	CaO	11,8	20,6	14,9	11,0	13,5
	Ti	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3
P P m	Sc	8,9	8,2	16,4	14,3	12,0
	V	82	97	133	90	88,2
	Cr	217	107	163	106	103
	Co	12,7	14,3	21,9	19,0	15,2
	Ni	59,4	68,9	66,8	42,2	43,0
	Cu	21,1	37,8	60,4	36,5	31,5
	Zn	46,3	77,6	130	70,0	65,7
	Ga	11,9	12,4	13,6	14,9	13,8
	As	3,5	17,0	15,4	49,7	39,3
	Rb	114	96,0	98,4	133	697
	Sr	298	1313	310	601	24,1
	Y	21	23,4	20,0	27,5	111
	Zr	138	109	125	138	10,0
	Nb	9,4	12,2	9,1	11,9	10,5
	Sn	6,9	6,3	6,1	6,5	6,5
	Ba	368	466	393	526	31,2
	La	23,4	31,2	27,8	31,6	47,0
	Ce	39,5	63,3	44,1	61,7	17,7
	Nd	21,4	24,7	21,0	24,1	3,2
	Pb	22,9	17,5	91,6	28,1	1,6
	Th	10,9	15,3	12,3	18,0	15,5
	U	2,9	10,8	3,0	4,7	4,9

Ek-2. Nevşehir Ovaören tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		OB1	OB2	OB3	OB4	OB5	OB6	OB7	OB8	OB9	OB10	OB11	OB12	OB13
%	Na ₂ O	1,3	1,0	1,1	1,8	1,0	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0
	MgO	2,8	1,9	3,7	4,0	2,6	2,5	2,4	2,9	2,9	2,8	2,8	2,3	2,4
	Al ₂ O ₃	15,8	19,7	15,1	14,3	15,4	15,1	10,9	13,9	13,2	13,3	14,8	14,1	20,2
	SiO ₂	55,5	59,8	53,3	52,5	56,0	55,9	43,6	54,0	54,4	55,6	56,0	47,1	54,1
	P ₂ O ₅	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2
	K ₂ O	3,1	4,2	3,3	3,6	3,0	3,0	3,2	2,6	3,7	4,2	2,7	2,4	2,7
	CaO	9,9	3,4	12,9	12,9	12,3	12,8	29,8	15,8	14,3	13,3	12,3	21,7	11,4
	Ti	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4
P p m	Sc	16,1	9,6	14,0	12,9	14,3	14,5	15,9	14,9	14,7	14,4	16,3	21,1	12,6
	V	109	81,6	86,4	97,6	77,1	73,6	69,2	74,6	85,6	66,0	89,9	97,1	70,1
	Cr	103	118	116	113	123	100	232	113	110	95	133	216	90,8
	Co	20,1	12,8	13	16,4	16,2	13,7	13,6	14,3	13,7	11,7	18,0	20,1	9,2
	Ni	46,1	42,8	53,7	78,9	53,1	42,4	57,3	56,5	61,1	50,4	62,1	145	41,1
	Cu	25,0	28,8	18,5	31,7	26,9	26,4	21,2	25,6	27,8	23,4	25,9	36,8	23,4
	Zn	96,4	75,6	75,0	75,7	66,3	62,2	53,0	65,7	66,1	61,3	73,8	90,8	76,2
	Ga	15,3	17,1	14,5	13,0	13,3	12,1	8,9	12,9	12,3	11,8	13,9	11,2	15,8
	As	13,4	35,8	19,7	31,4	15,8	8,0	28,5	9,4	14,6	9,3	6,6	105	6,0
	Rb	145	162	117	98,2	119	118	79,5	127	94,6	111	111	62,1	102
	Sr	322	330	464	522	422	491	540	468	501	665	453	359	444
	Y	29,9	27,9	23,0	19,2	23,8	22,5	15,2	25,3	23,2	22,4	26,2	18,7	27,9
	Zr	176	165	150,0	119	136	121	114	141	138	129	147	95,9	191
	Nb	14,7	18,2	13,8	12,0	12,1	10	9,1	14,4	10,9	11,9	13,0	7,3	15,4
	Sn	4,1	6,2	3,9	4,5	3,3	2,2	1,6	5,1	2,8	3,9	4,7	3,4	2,4
	Ba	374	472	376	424	409	397	506	576	468	497	405	141	406
	La	19,3	31,6	34,6	24,1	24,1	22,2	18,7	25,4	22,9	16,7	35,3	10,6	30,8
	Ce	55,1	67,8	53,9	43,3	53,1	38,9	34,7	47,8	40,2	47,5	45,7	24,7	54,6
	Nd	21,6	24,8	18,6	13,4	23,6	12,4	13,7	22,7	19,3	18,8	18,0	12,5	21,5
	Pb	64,1	42,2	29,5	28,0	25,0	20,6	21,0	26,9	21,2	20,8	22,2	17,5	27,3
	Th	19,2	27,8	20,2	15,1	15,2	12,4	12,2	18,6	13,6	14,0	15,9	6,8	23,8
	U	4,3	4,5	7,4	5,6	4,4	4,4	5,2	4,7	3,6	5,2	5,7	2,8	5,7

Ek 2. (devam) Nevşehir Ovaörentünç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		OB14	OB15	OB16	OB17	OB18	OB19	OB20	OB21	OB22	OB23	OB24	OB25	OB26
%	Na ₂ O	1,3	1,1	1,5	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	1,3	1,0	1,7	1,0	1,0
	MgO	3,8	1,2	4,1	2,7	2,5	3,2	2,8	2,3	1,1	2,3	1,9	2,9	3,6
	Al ₂ O ₃	14,4	19,9	14,7	17,0	14,7	14,4	15,6	17,5	27,2	13,9	15,8	13,4	13,5
	SiO ₂	53,9	58,3	55,8	58,5	56,1	55,3	53,1	55,3	55,7	48,7	66,1	54,4	52,5
	P ₂ O ₅	0,4	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4
	K ₂ O	2,4	1,9	3,6	3,3	3,4	2,6	2,9	3,4	3,0	2,1	4,2	2,3	2,3
	CaO	14,4	2,0	9,9	5,9	13,3	13,4	14,7	9,1	4,5	20,9	4,5	16,5	17,0
	Ti	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
p p m	Sc	15,6	21,1	13,1	13,5	12,9	17,1	15,0	14,8	7,1	20,8	6,4	17,0	18,2
	V	83,0	188	77,8	112	61,3	88,5	80,7	79,4	84,2	92,7	48,5	87,7	88,7
	Cr	118	98,3	96,1	169	82,1	144	90,1	87,0	37,7	213	41,7	114	120
	Co	16,2	16,9	17,7	19,5	13,0	20,4	16,5	17,6	8,0	19,0	4,0	15,7	19,4
	Ni	54,5	31,5	51,7	72,0	47,8	69,4	48,9	57,3	20,7	136,1	12,2	61,4	64,0
	Cu	27,8	41,4	41,1	26,0	25,3	30,6	25,1	31,6	33,9	28,1	9,3	28,4	26,2
	Zn	69,2	81,5	70,0	76,1	73,8	73,0	62,6	91,6	70,3	91,3	56,8	76,8	78,8
	Ga	14,2	17,8	13,8	14,7	13,2	13,9	13,6	17,5	20,9	12,4	14,2	13,1	12,9
	As	7,7	197,3	8,0	7,1	8,2	6,9	11,4	10,5	9,1	113	17,0	12,8	8,4
	Rb	112	125,1	115	85,0	124	97,7	102	160	92,8	77,2	160	106	94,0
	Sr	656	146	456	248	501	528	561	399	246	458	308	504	656
	Y	25,5	26,8	26,7	22,3	24,4	27,3	26,1	40,4	37,8	20,2	17,8	26,6	26,3
	Zr	147	178	148	145	123	152	152,0	161	293	124	170	144	142
	Nb	12,5	8,5	12,0	11,8	12,8	12,9	12,6	26,5	25,0	8,8	16,4	12,8	13,0
	Sn	5,4	5,9	3,0	4,2	4,7	4,6	4,2	7,4	4,3	1,3	0,9	6,6	3,1
	Ba	359	208	350	283	633	437	564	693	316	511	560	455	577
	La	22,4	21,2	20,5	25,2	21,8	21,9	26,0	44,5	51,7	12,3	32,7	25,2	22,7
	Ce	51,0	24,1	40,6	38,6	39,4	46,1	51,3	84,7	103	26,8	56,7	33,4	42,7
	Nd	19,8	11,9	15,4	14,7	15,4	20,7	20,5	30,7	31,4	17,5	18,7	16,7	16,8
	Pb	22,5	34,6	21,4	24,8	23,6	19,9	24,3	33,9	37,3	20,2	29,7	22,2	17,6
	Th	16,4	13,2	15,3	12,6	15,5	12,9	17,9	31,2	43,6	8,1	22,9	16,3	14,7
	U	6,5	3,3	3,2	3,6	5,0	5,4	6,5	7,1	6,6	4,8	6,9	4,0	5,6

Ek-2. (devam) Nevşehir Ovaören tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		OB27	OB28	OB29	OB30	OB31	OB32	OB33	OB34	OB35	OB36	OB37	OB38	OB39
%	Na ₂ O	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	0,8	0,9	1,2	0,1	1,3	0,9	0,9	0,8
	MgO	2,8	2,3	2,9	3,0	1,5	3,5	1,4	2,8	23,8	1,9	2,3	2,4	2,5
	Al ₂ O ₃	15,9	14,6	14,0	14,1	17,9	14,6	16,6	16,7	7,8	20,6	14,3	15,2	16,5
	SiO ₂	51,9	55,2	55,2	57,9	66,3	54,2	64,5	57,1	46,5	56,9	48,9	50,8	59,5
	P ₂ O ₅	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,4
	K ₂ O	3,4	2,3	2,2	3,4	2,6	3,5	2,6	3,0	0,4	3,7	1,8	2,6	3,5
	CaO	13,6	13,1	14,5	11,5	3,8	15,0	5,6	8,7	6,4	3,2	19,7	15,7	7,0
	Ti	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,6	0,3	0,6	0,5	0,5	0,5
p p m	Sc	14,5	16,7	17,5	12,2	6,7	13,2	8,7	14,2	13,9	12,9	23,9	18,1	10,6
	V	89,9	112,4	107	72,1	54,2	142	73,1	89,8	87,3	106	108	116	88,1
	Cr	85,9	273	128	110	57,1	66,1	52,1	106	1535	177	252	212	120
	Co	16,0	19,8	19,0	12,7	5,7	9,1	6,0	18,7	79,6	23,3	23,8	21,6	14,1
	Ni	46,8	145	63,3	41,8	17,4	34,2	25,3	54,2	1361	84,5	173	142	44,9
	Cu	28,2	27,2	29,7	25,2	19,3	17,1	18,7	25,0	50,2	24,9	31,2	30,4	21,8
	Zn	81,2	86,2	73,5	70,4	59,2	78,8	61,6	86,5	87,5	76,3	104,9	86,5	79,7
	Ga	14,7	12,5	13,7	12,8	16,0	11,4	15,7	17,3	8,0	20,0	12,9	13,5	15,9
	As	63,3	94,9	7,1	20,9	4,7	20,4	12,3	9,2	8,7	14,8	170	234	62,3
	Rb	134,8	73	98,7	128	108	97,3	193	166	10,2	65,4	76,0	76,8	127
	Sr	494	407	460	527	407	276	535	334	121	331	408	350	587
	Y	24,4	21,1	27,1	20,0	15,7	23,8	17,0	34,3	11,6	29,1	22,2	21,7	23
	Zr	159	126	161	144	175	175	157	148	66,0	229	113	128	215
	Nb	13,3	9	12	12,3	15,5	12,3	15,2	19,7	9,2	19,7	9,3	9,5	16
	Sn	5,3	2,5	4,4	4,5	4,1	5,4	4,9	4,4	3,5	3,0	3,0	2,0	4,6
	Ba	538	420	433	675	394	843	464	309	76,7	474	589	340	583
	La	34	11,4	25,5	25,8	24,3	21,3	39	39,3	7,6	43,6	22,1	21,4	33,3
	Ce	49,2	21,7	39,3	46,9	49,2	35,6	50,3	71,2	28,4	69,1	16,1	38,3	64,3
	Nd	19,8	12,9	17,8	16,8	17,3	15,0	16,0	22,0	13,0	31,6	11,6	18,9	20,7
	Pb	40,3	19,7	21,0	30,2	19,4	29,2	23,5	29,5	6,4	24,2	22,1	20,5	36,2
	Th	20,0	8,9	13,5	17,5	21,9	10,4	21,1	24,9	4,1	18,3	9,2	9,7	20,1
	U	9,2	2,4	5,8	5,6	9,8	3,2	5,9	8,5	1,3	3,5	3,4	3,0	4,0

Ek-2. (devam) Nevşehir Ovaören tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		OB40	OB41	OB42	OB43	OB44	OB45	OB46	OB47	OB48	OB49
%	Na ₂ O	1,1	1,0	1,5	1,0	0,2	1,0	1,1	1,2	1,9	1,0
	MgO	2,0	2,1	3,0	2,5	22,3	3,1	2,1	3,8	2,4	3,0
	Al ₂ O ₃	15,3	14,7	15,4	13,8	8,4	16,9	15,1	14,0	16,8	22,1
	SiO ₂	53,0	50,7	55,2	55,4	46,8	57,1	52,6	51,7	58,5	53,5
	P ₂ O ₅	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1
	K ₂ O	3,1	2,7	2,4	2,6	0,7	2,7	2,3	3,0	2,4	0,6
	CaO	14,2	16,9	11,1	15,5	6,4	7,5	15,2	15,6	7,7	4,3
	Ti	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P p m	Sc	18,3	17,6	16,6	16,3	13,5	16,0	18,2	17,1	16,1	27,7
	V	98,8	97,4	109	84,5	89,6	107	108	92,4	96,0	218
	Cr	158	260	208	113,1	1528	125	187	248	184	137
	Co	17,2	22,1	21,1	15,6	86,3	19,7	20,2	20,2	16,9	30,9
	Ni	96,4	149	114	52,2	1270	78,6	119	108	77,0	58,9
	Cu	29,0	24,1	35,4	22,8	47,9	33,0	31,8	28,9	25,9	44,1
	Zn	79,4	85,9	80,2	67,1	85,6	88,3	84,2	67,9	73,6	88,8
	Ga	13,5	12,3	15,5	12,9	8,7	16,9	13,9	12,5	14,6	18,3
	As	175	119	1,3	9,5	7,2	10,6	185	35,1	54,3	6,7
	Rb	73,2	65,1	95,0	101	21,9	139	79,4	99,3	81,2	33,8
	Sr	481	300	345	477	151	316	416	743	299	94,4
	Y	21,7	20,6	29,5	25,3	11,9	27,3	23,1	21,7	26,0	20,4
	Zr	138	119	177	152	73,7	161	145	140	126	65,0
	Nb	9,1	8,5	14,8	12,7	10,5	17,1	9,3	10,7	8,4	5,0
	Sn	4,7	4,1	4,2	4,5	2,7	6,7	2,8	2,2	5,0	3,3
	Ba	251	199	354	613	108	436	387	939	591	168
	La	19,1	17,4	25,0	18,5	10,8	30,9	18,0	23,1	18,9	12,2
	Ce	27,0	26,2	50,1	39,6	21,3	58,6	46,6	39,3	34,7	15,1
	Nd	12,8	13,2	21,0	20,6	12,1	21,3	18,0	19,4	14,6	9,8
	Pb	17,0	18,7	12,6	21,2	2,2	26,7	14,9	18,5	21,3	10,7
	Th	10,1	7,5	14,4	15,6	3,4	21,0	8,9	13,3	10,7	4,4
	U	5,1	2,9	4,4	7,5	1,4	4,2	3,0	5,4	7,3	1,3

Ek-2. (devam) Nevşehir Ovaören tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		OB50	OB51	OB52	OB53
%	Na ₂ O	1,1	1,2	1,4	1,0
	MgO	1,5	3,7	2,9	2,7
	Al ₂ O ₃	19,9	14,2	14,6	15,7
	SiO ₂	59,8	46,5	54,1	54,3
	P ₂ O ₅	0,1	0,4	0,9	0,4
	K ₂ O	4,1	3,1	3,0	2,4
	CaO	3,5	18,4	13,3	12,4
	Ti	0,4	0,6	0,4	0,5
ppm	Sc	11,5	21,2	13,8	15,5
	V	71,6	122	85,4	100
	Cr	52,0	169	176	114
	Co	15,0	25,6	17,2	18,3
	Ni	24,6	161	102	56,7
	Cu	20,3	37,1	24,1	30,2
	Zn	66,4	93,8	77,3	88,2
	Ga	15,9	15,4	13,9	14,5
	As	5,3	24,3	24,6	36,9
	Rb	179	133	105	124
	Sr	214	2996	574	380
	Y	33,3	26,2	20,7	29,1
	Zr	206	277	147	173
	Nb	14,0	19,8	12,5	13,5
	Sn	5,7	2,9	2,2	8,5
	Ba	651	434	555	469
	La	32,9	35,6	30,2	27,8
	Ce	54,0	65,1	48,1	45,6
	Nd	23,6	28,6	15,1	15,3
	Pb	33,6	28,6	23,6	33,0
	Th	23,3	25,8	16,4	17,8
	U	2,9	16,6	6,6	5,9

Ek-3. Nevşehir Ovaören tunç çağına ait ithal olabileceği düşünülen seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		IB1	IB2	IB3	IB4	IB5	IB6	IB7	IB8
%	Na ₂ O	2,5	1,3	1,1	1,7	2,3	1,0	1,7	1,2
	MgO	6,9	5,9	3,9	7,5	7,2	3,1	3,0	5,3
	Al ₂ O ₃	12,2	14,9	14,8	12,5	12,1	17,5	15,5	12,5
	SiO ₂	46,3	49,4	52,0	44,7	46,4	56,4	53,0	47,0
	P ₂ O ₅	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
	K ₂ O	2,8	3,6	4,1	2,9	3,3	4,3	2,5	3,7
	CaO	17,0	13,9	13,4	18,0	16,2	7,5	13,4	20,2
	Ti	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
ppm	Sc	14,1	13,2	12,9	16,3	13,3	13,2	15,5	10,1
	V	123	94	87,1	129	127	94,0	117	120
	Cr	431	141	148	335	343	113	199	185
	Co	31,0	19,2	17,2	32,5	31,8	16,3	19,8	16,7
	Ni	277	116	87,2	292	273	57,3	123	107
	Cu	43,8	28,3	35,2	44,6	44,7	30,1	28,9	35,8
	Zn	83,5	104	85,0	96,4	85,8	115	83,3	70,9
	Ga	12,5	15,9	14,2	12,9	11,9	15,7	14,7	11,8
	As	22,8	37,0	7,0	25,7	29,2	120	193	34,2
	Rb	65,4	118	92,0	68,5	64,1	128,4	91,9	98,1
	Sr	440	546	308	429	403	262	359	723
	Y	19,0	25,1	24,0	18,0	17,9	24,4	23,3	17,0
	Zr	116	168	135	109	105	206	139	101
	Nb	10,4	15,7	13,6	10,9	10,1	18,7	10,8	9,6
	Sn	13,4	7,2	13,5	10,0	5,9	13,2	8,9	12,6
	Ba	378	548	337	286	333	600	394	905
	La	28,1	32,2	29,9	21,8	23,1	46,7	22,2	20,1
	Ce	52,7	61,8	57,4	49,9	36,1	71,6	43,8	43,0
	Nd	25,4	27,2	22,9	22,2	21,3	27,7	20,4	14,5
	Pb	17,2	29,7	20,8	20,3	17,5	45,1	17,7	18,3
	Th	10,3	15,8	15,8	10,3	10,2	22,2	12,9	12,9
	U	3,8	5,9	2,9	3,5	2,9	4,8	3,0	5,4

Ek-3. (devam) Nevşehir Ovaörentunç çağına ait ithal olabileceği düşünülen seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		IB9	IB10	IB11	IB12	IB13	IB14	IB15	IB16
%	Na ₂ O	1,4	0,9	1,4	0,3	1,4	1,8	1,5	1,6
	MgO	4,0	3,0	4,1	27,5	3,0	3,2	3,1	2,4
	Al ₂ O ₃	13,3	13,8	14,9	8,0	13,6	13,8	15,0	16,7
	SiO ₂	51,6	44,8	54,1	45,3	46,7	47,3	51,4	58,5
	P ₂ O ₅	0,2	0,5	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1
	K ₂ O	3,8	3,3	3,1	0,6	2,9	1,9	3,2	4,0
	CaO	16,2	23,9	12,0	4,5	20,3	20,6	14,2	7,0
	Ti	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4
P P m	Sc	12,0	8,5	15,2	17,7	13,9	12,8	16,3	17,5
	V	91,2	111	104	108	129	114	121	90
	Cr	126	84,2	161	1804	259	218	218	68
	Co	16,1	14,5	18,7	85,6	21,0	22,4	21,1	15,3
	Ni	62,8	42,4	65,7	1369	137	137	134	28,2
	Cu	34,0	33,3	35,1	59,6	27	26,5	34,6	34,6
	Zn	76,3	88,0	87,2	90,0	84,6	76,6	88,7	87,5
	Ga	12,5	14,3	15,0	8,7	11,8	12,9	13,8	13,6
	As	15,3	26,1	11,8	6,7	253	108	130	16,5
	Rb	78,8	113	112	16,7	58,7	74,2	79,6	138
	Sr	381	762	442	82,2	393	454	331	229
	Y	23,2	19,5	30,7	12,4	20,4	21,4	21,5	22,8
	Zr	119	144	143	71,3	116	129	115	128
	Nb	11,0	14,0	16,7	10,2	7,9	8,3	9,6	9,1
	Sn	9,1	11,9	11,2	6,8	6,8	9,0	8,1	8,8
	Ba	397	594	460	79,7	248	346	301	362
	La	23,9	38,1	33,2	10,1	21,1	26,7	23,6	20,7
	Ce	52,5	73,6	57,4	22,6	44,2	38,4	56,4	53,5
	Nd	19,9	31,9	30,7	6,7	21,7	20,4	22,9	15,9
	Pb	19,7	37,9	25,3	2,3	16,3	7,5	18,3	74,0
	Th	12,8	23,4	20,2	6,1	9,0	9,8	12,0	16,3
	U	4,2	8,1	5,0	1,3	2,8	3,8	3,3	2,3

Ek-4. AksarayAcem höyük tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9
%	Na ₂ O	0,7	2,3	1,7	1,8	1,8	2,2	1,1	1,2	1,0
	MgO	1,9	3,8	3,5	5,9	5,5	3,4	1,7	3,9	1,8
	Al ₂ O ₃	18,2	13,5	14,2	14,3	14,8	17,7	29,9	17,9	32,0
	SiO ₂	63,2	48,3	47,5	50,9	51,2	59,0	54,6	58,3	54,5
	P ₂ O ₅	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
	K ₂ O	4,5	2,6	2,7	2,8	3,7	3,5	2,1	3,9	1,1
	CaO	4,8	18,4	19,3	14,7	13,2	4,9	3,0	4,1	3,4
	Ti	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4
p p m	Sc	8,0	14,3	14,1	10,5	14,1	13,1	9,1	14,3	10,4
	V	62,0	125	133	99	102	133	56,3	103	72,0
	Cr	45,1	307	346	234	191	122	43,4	155	25,0
	Co	4,0	21,6	22,8	17,8	19,2	18,0	7,9	17,5	6,6
	Ni	9,2	150	183	121	127	57,0	23,0	103	9,8
	Cu	14,4	23,6	37,0	62,0	42,2	23,0	14,1	38,1	17,2
	Zn	62,5	87,8	106	82,5	87,7	78,6	82,1	107	85,4
	Ga	17,2	12,2	11,7	12,1	12,9	14,2	24,5	17,4	27,2
	As	25,3	149	152	24,9	28,7	12,6	6,6	90,7	9,8
	Rb	198	72,4	68,3	85,2	90,5	87,2	110	126	50,6
	Sr	243	470	334	387	366	236	181	247	227
	Y	17,0	21,2	19,2	19,0	20,7	24,4	35,7	23,0	40,6
	Zr	246	117	97,9	120	113	205	295	205	376
	Nb	18,5	8,2	8,0	10,8	10,8	17,4	25,2	19,8	33,9
	Sn	10,4	6,0	2,2	8,8	9,5	8,1	10,6	10,1	11,1
	Ba	675	280	237	253	303	511	396	446	352
	La	63,1	21,3	28,1	28,5	31,9	32,7	56,7	41,5	73,9
	Ce	106	45,8	46,2	48,7	76,6	69,6	105	75,6	143
	Nd	41,0	23,9	18,0	25,1	22,8	26,7	33,8	24,4	44,2
	Pb	55,1	20,6	24,0	18,6	24,4	19,5	44,9	42,2	47,7
	Th	33,2	9,5	7,9	14,3	14,6	11,3	44,5	21,7	61,1
	U	7,4	1,8	3,2	3,6	3,5	3,1	3,2	4,9	5,7

Ek- 4. (devam) AksarayAcem höyük tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		AB10	AB11	AB12	AB13	AB14	AB15	AB16	AB17	AB18
%	Na ₂ O	1,3	2,1	1,3	1,2	0,5	1,1	1,7	1,3	1,1
	MgO	3,4	3,1	6,4	1,8	23,3	3,2	2,8	10,5	2,7
	Al ₂ O ₃	17,5	15,1	15,3	29,9	8,3	18,5	14,8	13,4	18,2
	SiO ₂	60,6	51,5	50,3	55,5	42,7	57,7	50,6	45,2	61,4
	P ₂ O ₅	0,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1
	K ₂ O	3,6	2,1	3,5	2,0	0,7	4,3	2,5	2,1	4,4
	CaO	4,0	16,2	11,7	2,7	11,5	5,3	16,9	14,9	4,3
	Ti	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4
p p m	Sc	14,3	15,5	16,6	12,7	14,1	14,1	15,7	21,6	15,7
	V	98,8	114	141	77,4	101	92,9	93,1	133	111
	Cr	135	212	240	30,5	1641	110	190	365	131
	Co	15,3	20,7	27,0	9,8	74,7	15,5	18,3	40,2	15,1
	Ni	80,9	134	184	15,3	1059	58,9	128	441	77,4
	Cu	31,3	25,0	32,3	20,5	44,2	27,3	28,8	54,0	33,5
	Zn	96,4	77,2	93,8	94,7	98,8	104	79,2	99,8	94,7
	Ga	17,1	15,2	14,8	24,0	9,1	17,2	14,0	14,8	15,7
	As	101	36,6	26,7	5,7	14,2	90,9	190	24,4	39,7
	Rb	144	91,1	107	80,2	21,3	133	80,4	78,1	105
	Sr	271	360	445	204	252	228	381	408	273
	Y	23,6	21,8	22,7	40,7	12,7	25,3	21,1	20,8	17,2
	Zr	212	123	174	326	74,4	197	124	112	91,5
	Nb	18,8	9,8	14,6	26,3	10,6	19,2	9,5	10,7	8,3
	Sn	10,8	8,4	7,3	11,7	7,3	10,0	4,7	8,1	8,6
	Ba	546	335	433	420	126	422	291	342	302
	La	44,5	27,7	40,6	59,7	14,6	44,8	19,9	24,1	24,4
	Ce	71,1	32,7	80,2	127	30,1	78,1	31,4	40,6	29,3
	Nd	27,6	19,5	31,2	45,6	21,6	33,8	13,6	21,2	14,8
	Pb	45,6	11,5	30,9	41,7	9,5	47,1	16,9	18,4	29,5
	Th	21,7	11,3	18,1	46,8	3,8	22,3	11,4	9,4	11,1
	U	4,5	2,9	4,4	5,1	1,3	4,8	2,7	2,9	1,3

Ek- 5. Kayseri kültepe tun ağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuları

		KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6	KB7	KB8
%	Na ₂ O	0,9	1,4	1,2	0,5	1,6	0,4	1,5	0,4
	MgO	2,0	8,6	7,5	1,9	3,1	1,9	8,4	1,7
	Al ₂ O ₃	24,4	13,7	13,3	19,7	19,2	21,7	12,4	20,1
	SiO ₂	54,8	45,6	46,8	58,0	51,8	57,1	47,1	54,6
	P ₂ O ₅	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	K ₂ O	8,3	2,1	2,3	4,6	3,7	4,5	2,1	4,8
	CaO	1,9	15,6	16,2	7,4	11,7	4,9	16,4	8,5
	Ti	0,3	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,6
ppm	Sc	5,4	18,1	15,7	11,6	15,5	15,3	17,5	13,8
	V	64,2	129	130	74,4	140	94,8	129	94,1
	Cr	117	486	514	87,5	108	82,0	570	109
	Co	9,0	39,6	36,8	8,3	18,3	9,1	37,9	12,3
	Ni	52,1	412	362	39,6	66,4	39,3	383	62,0
	Cu	18,2	66,7	57,0	29,1	28,2	31,9	58,4	28,3
	Zn	125	89,8	89,5	86,0	101	122	78,3	101
	Ga	20,4	14,6	13,1	15,7	17,7	18,3	11,8	18,6
	As	12,9	8,8	19,1	14,7	16,2	5,7	15,9	11,9
	Rb	236	68,6	60,9	155	65,9	159	62,1	163
	Sr	1804	421	417	209	514	105	440	263
	Y	12,2	21,0	19,8	26,0	24,2	23,5	19,7	22,7
	Zr	259	123	125	173	203	160	124	178
	Nb	56,4	11,8	10,8	12,7	16,0	12,4	11,3	14,9
	Sn	18,5	8,5	9,8	9,4	12,0	11,3	8,2	9,6
	Ba	1345	304	388	540	1238	426	295	473
	La	255	22,2	20,9	38,4	43,4	36,0	16,1	31,2
	Ce	350	34,9	50,0	44,9	80,9	62,7	50,1	54,7
	Nd	75,2	18,1	12,9	25,8	35,1	29,3	23,1	27,7
	Pb	82,3	15,6	18,7	41,7	30,8	59,7	8,6	46,5
	Th	98,5	8,8	7,3	14,5	13,1	14,8	8,4	14,5
	U	13,8	2,5	2,7	4,2	4,8	4,9	2,4	4,8

Ek- 5. (devam) Kayseri kültepe tunç çağına ait seramiklerin kantitatif analiz sonuçları

		KB9	KB10	KB11	KB12	KB13	KB14	KB15	KB16
%	Na ₂ O	1,8	1,3	1,4	1,3	1,3	1,8	1,6	1,2
	MgO	6,4	5,4	5,5	5,1	5,5	5,2	5,7	5,4
	Al ₂ O ₃	13,3	14,1	13,0	13,9	12,4	13,3	12,6	13,7
	SiO ₂	52,2	53,2	53,0	54,9	51,7	54,8	51,5	54,0
	P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
	K ₂ O	2,4	1,9	2,5	2,1	1,6	2,5	1,9	1,9
	CaO	14,3	14,0	14,9	12,6	17,4	13,3	16,2	13,6
	Ti	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
p p m	Sc	13,4	10,8	11,5	12,0	9,8	10,5	12,3	12,2
	V	94,4	87,2	75,5	82,3	98,6	84,3	97,5	75,5
	Cr	264	241	205	246	806	321	419	236
	Co	23,9	20,0	19,4	21,9	27,8	22,5	25,3	21,9
	Ni	229	190	185	202	265	194	252	209
	Cu	35,3	42,7	40,3	41,6	36,7	33,1	40,4	58,2
	Zn	74,8	88,8	92,1	95,9	74,9	81,9	88,0	110
	Ga	15,1	12,9	12,6	13,1	9,2	13,6	11,3	13,1
	As	5,3	8,3	21,2	6,1	3,6	9,4	9,2	7,6
	Rb	77,3	62,8	70,7	66,3	50,4	81,5	64,6	65,4
	Sr	416	572	559	604	441	433	554	531
	Y	23,6	20,2	20,3	20,0	17,1	22,9	19,0	21,1
	Zr	176	164	170	172	131	179	144	175
	Nb	12,8	11,0	11,8	12,1	9,1	12,8	10,4	12,0
	Sn	12,4	10,8	9,4	11,7	19,8	12,2	10,4	12,4
	Ba	473	996	900	1126	809	673	832	1131
	La	26,0	24,1	21,1	23,9	22,0	29,3	25,9	24,4
	Ce	50,3	50,7	49,4	50,3	50,9	53,4	44,5	39,8
	Nd	25,2	26,2	23,5	22,9	16,9	20,9	23,1	16,0
	Pb	10,3	67,5	26,7	22,5	24,6	23,5	22,6	29,9
	Th	13,6	10,1	11,3	12,0	9,1	14,7	9,5	12,2
	U	1,3	3,8	3,9	3,6	1,3	3,4	3,9	2,6

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Mehmet Kaplan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.12.1968, Isparta
 Medenihali : Bekâr
 Telefon : 0(312) 810 16 17
 Faks : 0(312) 815 4307
 e-mail : mehmet.kaplan@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi	Devam ediyor
Yükseklisans	Süleyman Demirel Üniversitesi/F.B.E.	2007
Lisans	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fizik Bölümü	1993
Lise	Isparta Şehit Ali İhsan Kalmaz Lisesi	1986

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-Halen devam ediyor	Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi	Fizikçi
1997-2000	Hacettepe Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
1994-1997	Afyon Kocatepe Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Kaplan, M., Arıkan, P., Kalaycı, Y., Senyurt, S., Akçay, A., Kamıs, Y. (2014). Inorganic Paint Pigment Analysis in Ovaören Ceramics by Micro XRF Spectrometry *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research* September 2014 (ISSN: 2200-9833 www.ijjsr.org) 1, (1)157-164.

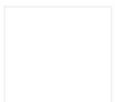
Kaplan, M., Arıkan, P., Kalaycı, Y. Provenance Analysis of Iron and Bronze Ages Ceramics from Archeological Excavations in Middle Anatolia, (gönderime hazır).

Bildiriler

Türk Fizik Derneği 31. Uluslararası Fizik Kongresi/21-24 Temmuz 2014/Bodrum " μ -XRF Spektrometrik Yöntem ile Ovaören Seramiklerinde İnorganik Renk Pigment Analizi

Türk Fizik Derneği 31. Uluslararası Fizik Kongresi/21-24 Temmuz 2014/Bodrum " Nevşehir Ovaören Arkeolojik Kazılarında Bulunan Demir Çağı Seramiklerinin Köken Tayinleri"

Hobiler Yüzme, Atletizm , Yürüyüş, Saz, Satranç





GAZİ GELECEKTİR...