

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**YENİKAPI KAZI BULUNTULARINDAKİ BAZI ARKEOLOJİK HAYVAN
KEMİKLERİNİN NÜKLEER TEKNİKLERLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melis DİŞLİ

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

MAYIS 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**YENİKAPI KAZI BULUNTULARINDAKİ BAZI ARKEOLOJİK HAYVAN
KEMİKLERİNİN NÜKLEER TEKNİKLERLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Melis DİŞLİ
(302151001)**

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sevilay HACİYAKUPOĞLU

MAYIS 2019

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 302151001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Melis DİŞLİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YENİKAPI KAZI BULUNTULARINDAKİ BAZI ARKEOLOJİK HAYVAN KEMİKLERİNİN NÜKLEER TEKNİKLERLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Sevilay HACIYAKUPOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sema ERENTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Önder KILIÇ
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 12 Haziran 2019

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Yenikapı Kazılarında çıkartılan arkeolojik buluntulardan Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait hayvan kemikleri incelenerek o dönemlerde yaşayan hayvanların beslenme alışkanlıkları ve çevresel değişimlerin hayvanlar üzerindeki etkileri incelenerek farklı dönemlerdeki kemik yapılarını kıyaslamak hedeflenmiştir.

Tez çalışmamın başından sonuna kadar bana hem literatür, hem de deneysel süreçlerde yardımcı olan, zamanını ve bilgisini benimle paylaşmaktan asla çekinmeyen, her türlü manevi destekle yanımda olan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Sevilay HACIYAKUPOĞLU'na ve aynı manevi destekle deneysel süreçlerde bana destek olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Sema ERENTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarım için bizi destekleyen Sayın Prof. Dr. Filiz ŞENKAL'a, projemin temelini oluşturan buluntuları cömertçe bize sunarak yardımcı olan İstanbul Arkeoloji Müzeleri Müdürü Sayın Zeynep KIZILTAN'a, tezimin temelini oluşturan ve MYL-2017-40810 numaralı proje ile çalışmalarımı destekleyen İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca, bilgi ve tecrübelerini paylaşarak bu çalışmayı yapabilecek günlere gelmemi sağlayan ve ufkumu açan tüm değerli İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

İhtiyaç duyduğum her anda yanımda olan ve benden desteğini esirgemeyen, hayatımı güzelleştiren anneme, babama ve yol arkadaşım Gökhan Özcan'a teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Melis DİŞLİ
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. XRF YÖNTEMİ VE ARKEOLOJİ	3
2.1 X-Işınları	3
2.2 X-Işınlarının Madde İle Etkileşimi	6
2.2.1 Compton saçılması.....	6
2.2.2 Rayleigh saçılması	7
2.2.3 Fotoelektrik etki	7
2.3 X-Işını Floresans Yönteminin Temel Prensipleri	8
2.3.1 X-ışını kaynağı.....	9
2.3.2 Dedektör.....	10
2.3.2.1 Gaz dolgulu dedektörler.....	10
2.3.2.2 Sintilasyon dedektörleri.....	10
2.3.2.4 Yarı iletken dedektörler.....	10
2.3.3 Çok kanallı analizörler.....	11
2.4 XRF Yöntemi Çeşitleri	11
2.4.1 Enerji dağılımlı XRF	12
2.4.2 Dalga boyu dağılımlı XRF	12
2.5 Taramalı Elektron Mikroskobu	13
2.6 Taramalı Elektron Mikroskobu ile Birlikte Çalışan Enerji Dağılımlı X-Işını Spektrometresi.....	13
2.7 Hayvan Vücudunda Kemik	14
2.8 Hayvan Kemiklerinde Elementlerin Önemi.....	15
2.9 Arkeolojide Hayvan Kemiklerinin İncelenmesi	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	17
3.1 İstanbul Yenikapı Arkeolojik Alanı	17
3.2 Numunelerin Analize Hazırlanması.....	21
3.2.1 Ultrasonik banyoda temizleme	21
3.2.2 Öğütme işlemi.....	22
3.2.3 Tartım işlemi.....	23
3.3 SEM-EDS Analizleri.....	24
3.4 İstatistiksel Analizler.....	25
4. ANALİZ SONUÇLARI.....	27
4.1 SEM Görüntüleri.....	27
4.2 EDXRF Analizi Sonuçları	27
4.2.1 Alüminyum	29

4.2.2 Kalsiyum	31
4.2.3 Potasyum.....	32
4.2.4 Magnezyum	34
4.2.5 Sodyum	36
4.2.6 Fosfor	38
4.2.7 Silisyum	40
4.3 İstatistiksel Analiz Sonuçları	41
4.4 Kümeleme Analizi Sonuçları	42
5. TARTIŞMA VE YORUMLAR	45
5.1 Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans Dönemi Hayvan Kemiklerinin Parmak İzi	45
5.2 Kemiklerde Ca/P Oranının Değişimi	46
5.3 Kemiklerde Al, Ca, K, Mg, Na, P ve Si Konsantrasyonunun Önemi	48
5.4 İstatistiksel Analiz	49
KAYNAKLAR	51
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

ATP	: Adenozin Trifosfat
EDS	: Enerji Dağılımlı Spektroskopi
EDXRF	: Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans
HCA	: Hiyerarşik Kümeleme Analizi
MCA	: Çok Kanallı Analizör
ppm	: Milyonda Bir Birim
SEM	: Elektron Tarama Mikroskopu
WDXRF	: Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresans
XRF	: X-Işını Floresans

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : İncelenen hayvan buluntuları bilgileri.....	19
Çizelge 3.2 : Dönemlere göre tabaka derinlikleri.....	21
Çizelge 4.1 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Al miktarı.....	29
Çizelge 4.2 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Al miktarı.....	30
Çizelge 4.3 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Ca miktarı.....	31
Çizelge 4.4 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Ca miktarı.....	32
Çizelge 4.5 : İncelenen hayvan kemiklerindeki K miktarı.....	33
Çizelge 4.6 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama K miktarı.....	33
Çizelge 4.7 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Mg miktarı.....	35
Çizelge 4.8 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Mg miktarı.....	35
Çizelge 4.9 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Na miktarı.....	36
Çizelge 4.10 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Na miktarı.....	37
Çizelge 4.11 : İncelenen hayvan kemiklerindeki P miktarı.....	38
Çizelge 4.12 : Dönemlere göre ortalama P miktarı.....	39
Çizelge 4.13 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Si miktarı.....	40
Çizelge 4.14 : Dönemlere göre ortalama Si miktarı.....	41
Çizelge 5.1 : Ca/P oranı.....	46
Çizelge 5.2 : İncelenen dönemlerdeki ortalama Ca/P oranı.....	47

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : X-ışınlarının elektromanyetik spektrumdaki yeri.....	3
Şekil 2.2 : Karakteristik X-ışını oluşturulan elektron geçişleri (K, L, M, N ve O Enerji seviyeleri; $K\alpha$, $K\beta_1$, $K\beta_2$, $L\alpha$, $L\beta$, $L\gamma$, $M\alpha$, $M\beta$ geçişlerde yayınlanan fotonlar).....	4
Şekil 2.3 : X-ışını salınımı ve Auger prosesi.....	5
Şekil 2.4 : Karakteristik X-ışını ve Bremsstrahlung enerji spektrumları.....	6
Şekil 2.5 : Compton saçılması şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.6 : Fotoelektrik olay şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.7 : X-ışını spektrometresinde kullanılan sistem şeması.....	8
Şekil 2.8 : X-ışını tüpünün şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.9 : Yarı iletken dedektörün şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.10 : SEM ve bağlı EDS cihazı görüntüsü (Url-6).....	13
Şekil 3.1 : Yenikapı (İstanbul) kazı alanı konumu (Google Earth 4.3).....	18
Şekil 3.2 : Çalışmada incelenen bazı buluntular.....	18
Şekil 3.3 : Ultrasonik banyoda uygulanan işlemin görüntüsü.....	21
Şekil 3.4 : Numunelerin ultrasonik banyo öncesi ve sonrası görüntüleri.....	22
Şekil 3.5 : Ultrasonik banyo sonrası kurutulan kemiklerden bazıları.....	22
Şekil 3.6 : Öğütücü, donanımları ve öğütülmüş kemik örneği.....	23
Şekil 3.7 : Tartım işlemi.....	24
Şekil 3.8 : Analiz işlemine hazır hale getirilen numuneler.....	24
Şekil 4.1 : Kemik türlerine göre örnek SEM görüntüleri a) Çene-diş kemiği, b)Kaburga kemiği, c) Omurga kemiği, d) Uzun kemik, e) Kamlumbağa kabuğu, f) Boynuz.....	27
Şekil 4.2 : Dönemlere göre örnek spektrumlar a) Neolitik Çağ, b)Erken Bizans Dönemi, c) Bizans Dönemi.....	28
Şekil 4.3 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Al miktarı (%).....	30
Şekil 4.4 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Ca miktarı (%).....	32
Şekil 4.5 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama K miktarı (%).....	34
Şekil 4.6 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Mg miktarı (%).....	36
Şekil 4.7 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Na miktarı (%).....	37
Şekil 4.8 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama P miktarı (%).....	39
Şekil 4.9 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Si miktarı (%).....	41
Şekil 4.10 : Neolitik Çağa ait hayvan buluntularının dendogramı.....	42
Şekil 4.11 : Erken Bizans dönemine ait hayvan buluntularının dendogramı.....	43
Şekil 4.12 : Bizans dönemine ait hayvan buluntularının dendogramı.....	43
Şekil 5.1 : Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemi kemiklerinin kimyasal parmak izi.....	45
Şekil A.1 : Yenikapı kazı alanı vaziyet planı (İstanbul Arkeoloji Müzeleri Müdürlüğü, 2014).....	57
Şekil B.1 : Kruskal-Wallis test sonuçları.....	57

YENİKAPI KAZI BULUNTULARINDAKİ BAZI ARKEOLOJİK HAYVAN KEMİKLERİNİN NÜKLEER TEKNİKLERLE İNCELENMESİ

ÖZET

2004 yılında ulaşımın iyileştirilmesi, alternatif yollar oluşturulması ve toplu taşımanın geliştirilmesi amacıyla başlanan Marmaray ve Yenikapı projeleri inşaatları sırasında Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait arkeolojik buluntulara rastlanmıştır. 52.000 m²'lik alanda yürütülen çalışmada bulunan arkeolojik buluntular tarihin bilinmeyen karanlık yüzüne ışık tutmaya yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, Yenikapı Metro ve Marmaray kazılarında bulunan Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait hayvan kemikleri incelenmiştir. EDXRF yöntemi ile kemiklerdeki Al, Ca, K, Mg, Na, P ve Si elementlerinin konsantrasyonları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar dönemler arası ve günümüz hayvan kemiklerindeki konsantrasyonlar ile kıyaslanarak beslenme alışkanlıkları, kemiklerin fiziksel özellikleri, hastalık olasılıkları ile ilgili dönem karakterizasyonu yapılmıştır. Buluntuların elementel bileşimleri, buluntu türleri arasında karşılaştırma yapmak üzere istatistiksel analize tabi tutulmuştur.

Neolitik Çağ ve Erken Bizans dönemlerine ait hayvan kemiklerinin elementel konsantrasyonları karşılaştırıldığında, Neolitik Çağdan Erken Bizans dönemine geçiş sürecinde kemiklerdeki Ca, K, Mg, Na, P elementlerinin konsantrasyonu artarken; Al ve Si elementlerinin konsantrasyonunun azaldığı gözlenmiştir. Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait hayvan kemiklerinin elementel konsantrasyonları karşılaştırıldığında ise, Erken Bizans döneminden Bizans dönemine geçiş sürecinde kemiklerde Si konsantrasyonu artarken; Al, Ca, K, Mg, Na ve P konsantrasyonunda azalma olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Ca/P oranının benzer olması sebebiyle incelenen hayvan kemiklerindeki kemik oluşumunun günümüz hayvan kemikleri ile benzer olduğu tahmin edilmektedir. Element bileşimlerine göre istatistiksel analize tabi tutulan buluntular hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) ile benzerliklerine göre gruplandırılmıştır. Minitab 17.0 yazılımından yararlanarak örneklerin parametrik ya da nonparametrik olduğu Kruskal-Wallis testi ile belirlenmiştir.

Konuyla ilgili az sayıda çalışma olduğu gözönüne alınarak, bu çalışmanın, Yenikapı Metro ve Marmaray projeleri arkeolojik kazılarındaki Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait arkeolojik hayvan kemik buluntularını laboratuvar incelemeleri ve istatistiksel analizlerle destekleyerek İstanbul'un binlerce yıl önceki merak uyandıran tarihi ve hayvan buluntuları ile ilgili yapılacak arkeolojik çalışmalara hizmet edecek çalışmalardan biri olacağı düşünülmektedir.

EXAMINATION OF SOME ARCHAEOLOGICAL ANIMAL BONES FOUND IN YENİKAPI EXCAVATION BY NUCLEAR TECHNIQUES

SUMMARY

Istanbul is known as a rich cultural and historical capital with its old stories. After the first known settlement that began with Greek migrations, Istanbul was the capital of the Roman Empire, the Byzantine Empire and the Ottoman Empire which are the largest empires in history. In order to improve transportation, create alternative roads and enlarge public transportation, Marmaray Project and Yenikapı Subway Project constructions were started in 2004.

During the construction of Yenikapı Subway station excavations, some archaeological remains were found. The archaeological findings found during construction disrupted the excavation works, sometimes the routes in the project were changed and even in some cases the works were completely stopped. By decreasing the altitude, discovery of archaeological remains continued and Subway and Marmaray project excavations were converted into archaeological excavations which is placed in 58.000 m² areas under the supervision of the Directorate of Archeology and Museums. Archaeological findings from Neolithic, Roman, Early Byzantine, Byzantine and Ottoman were found at the end of 4 years excavation. This excavation is seen as a revolution for history of Istanbul by revealing the dark secrets of history and its changing as per eras.

Animal bones found among archaeological remains always attract the attention of the archaeologists. Archaeological animal bones shed light on archaeological studies in the context of human behavior and natural processes. The results obtained from animal bones are significant to understand the processes of formation of archaeological features and collect data. In this study, animal bones belonging to Yenikapı Marmaray and Subway excavations were analyzed and dietary habits, physical properties of bones, illness possibilities were characterized and compared with modern animal bones.

The first part of obtained samples is dated BC 6500 Neolithic Age. Neolithic Age is known as a first step of civilization and animals were domesticated in this age. For this reason, the examination of animal bones in the Neolithic age has great importance to see the change in the structure of animal bones which have interaction with people when compared to following eras. In Yenikapı excavations, animal bones belonging

to Neolithic Age have been discovered from the sea level between 7-9.32 m.

The second part of obtained samples which belongs to the Early Byzantine Age is dated back to the 3rd century. Few numbers of samples which are discovered from the sea level between 5.8-7 m were studied to see transition between Neolithic Age and Byzantine Age.

The third part of obtained samples which belongs to the Byzantine Age is dated back to between 4-11th centuries and the samples were found in below between 3.02-5.80 m from sea level.

In order to analyze the samples and to obtain the correct values, ultrasonic bath cleaning, grinding and weighing process were applied.

After the sample preparation, samples were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry connected to this microscope to determine their elemental composition. The instrumental conditions in the measurements were set as high vacuum, 100-400-fold magnification, 95% confidence interval, 15 kV operating voltage and 60-200 seconds measurement time. The elemental compositions of the samples were subjected to statistical analysis to compare the species.

- *Fingerprints of Neolithic Age, Early Byzantine and Byzantine bones*

According to chemical fingerprints, it is determined that elements of Ca, K, Mg, Na, P are increasing, whereas elements of Al, Si are decreasing from Neolithic Age to Early Byzantine period. From Early Byzantine period to Byzantine period, it is determined that Si element is increasing, whereas Al, Ca, K, Mg, Na, P elements are decreasing.

- *Change of Ca/P ratio*

Ca/P ratio is agreed by several researches and studies to get information about evaluation of bone formation and diagenesis process. According to the results, it is estimated that the bone formation in the examined animal bones is similar to the modern animal bones due to the similar Ca/P ratio. Hence, it can be predicted that examined bone formation is similar to modern mammalian animals.

- *Change of Al, Ca, K, Mg, Na, P and Si concentrations in examined animal bones*

The average concentration of Al in healthy bones was reported as 0.813% in studies conducted for the present species of mammals. In comparison with these values, it is observed that the Neolithic, Early Byzantine and Byzantine bones results are below this value. However, it is similar to the amount of Al found in the past studies of mammalian bones. It can be estimated that the concentrations of Al in the examined bones are low and the risk of bone softening or any nerve disease is low in the animals living in these periods.

Calcium is not only known as the building block of bones, but also plays a role in the functioning of muscles and body functions. Considering the Ca concentration in the examined archaeological animal bones, the bones of animals living in this period can be interpreted as being strong and healthy.

Considering the concentration of K determined in the examined animal bones, it can be estimated that the risk of bone fragility in animals living in Neolithic Age, Early

Byzantine and Byzantine periods are similar, but the risk of fragility in the jaw-tooth bones from the Byzantine period is higher.

Considering that the Mg concentration in the examined Early Byzantine animal bones are much higher than Neolithic and Byzantine periods, it can be interpreted that the animals living in the Early Byzantine period have stronger nervous system, muscle system and bones. Furthermore, it can be estimated that the risk of osteoporosis in Neolithic and Byzantine animals are higher than Early Byzantine period.

Na concentration in the animal bones of the Early Byzantine period was higher than the Neolithic Age and Early Byzantine period, it can be predicted that the acid-base balance of the animals living in Early Byzantine period was better than the other examined periods.

The phosphorus concentration in the animal bones of the Neolithic Age, Early Byzantine and Byzantine periods is similar or higher than that of modern mammalian bones. According to these results, it can be estimated that there was no abnormal P concentration in the animal bones in these periods.

The high rate of silicon in the bones of the Neolithic Age leads to the fact that the bones of animals living in Neolithic Age are stronger and more resistant to damage when compared to living animals today.

- *Statistical Analysis*

The dendrogram graphs used for statistical analysis and the results obtained by clustering were interpreted. According to the periods, clusters were made based on the elemental contents of the sample and their relations with each other were examined and similarities were evaluated.

According to the results obtained by the Kruskal-Wallis test, no statistically significant difference was found between the findings in terms of concentration accumulation for each element ($p>0.05$).

This study meets the need for supporting laboratory investigations needed to answer the questions about the archaeological animal bones of the Neolithic Age, Early Byzantine and Byzantine periods found in the archaeological excavations of Yenikapı Metro and Marmaray projects. Therefore, the results obtained are important as it will create a database for further archaeological studies.

1. GİRİŞ

Bugünkü İstanbul'un temelini, M.Ö. 750-550 yılları arasındaki Grek göçleri sırasında tarihi yarımada'nın en doğu ucunda Byzantion adıyla kurulmuş olan küçük bir yerleşim yeri oluşturmaktadır. Jeopolitik konumu sebebi ile sürekli savaşlara sebebiyet veren kent zaman içinde şehrin Romalıların eline geçmesiyle büyüyerek batıya doğru genişlemeye başlamış ve İmparator I. Constantinus 330 yılında İstanbul'u Roma İmparatorluğu'nun başkenti ilan etmiştir. Bu zamanlara kadar Byzantion olarak anılan şehrin adı, Konstantinopolis adını almıştır (Avcı, 2001). 395 yılında Roma İmparatorluğu'nun ayrılmasıyla İstanbul, 5. Yüzyılda Doğru Roma İmparatorluğu'nun (Bizans) başkenti olmuştur. Haçlı Seferleri ile yıllarca talan edilip zarar gören şehir 1261'de tekrar Bizanslıların eline geçmiştir. 1453 yılında Fatih Sultan Mehmet'in 53 günlük kuşatmasından sonra İstanbul Osmanlı İmparatorluğu'nun eline geçmiştir (Url-1).

İstanbul'da ulaşımı kolaylaştırmak, yeni alternatif yollar üretmek ve toplu taşıma ağını genişletmek adına 2004 yılında başlanan Marmaray Projesi ve Yenikapı Metro Hattı inşaatları sırasında tarihin bilinmeyen dönemlerine ışık tutacak bulgulara rastlanmıştır. 58.000 m²'lik kazı alanında Osmanlı ve Bizans döneminden kalan buluntuların yanı sıra derinlere inildikçe Neolitik Çağa ait mezarlar, insan kalıntıları, hayvan kalıntıları, deniz kabukları, seramik ve ahşap çeşitli eşyalar bulunmuştur (Mehmetoğlu, 2008; Kızıltan ve diğ, 2014). Ayrıca, 4. yüzyılda Theodosius tarafından yaptırılan ve 11. yüzyıla kadar kullanıldığı düşünülen, 13. yüzyılda ise tahminen doğal sebeplerden ötürü kullanılamaz hale gelen, Roma İmparatorluğu'nun en önemli ve aktif ticaret merkezlerinden biri olan Theodosius Limanı'na ait kalıntılar ve batık gemiler bulunmuştur (Kenar, 2015; Özsait Kocabaş, 2018).

II. Dünya Savaşı'ndan sonra nükleer tekniklerde yaşanan gelişmeler arkeologlara çalışmalarında yeni yöntemler sunmuştur. Günümüzde arkeologlar ve sanat tarihçileri arkeolojik buluntuların tanımlanması, sınıflandırılması, yaş tayini yapılması ve kıyaslanması gibi birçok alanda nükleer tekniklerden yararlanmaktadırlar. Arkeolojik araştırmalarda kullanılan yöntemlerden biri de XRF yöntemidir (Keisch, 1972).

Tıpta, endüstride, malzeme biliminde, arkeolojide ve birçok alanda kullanılan XRF yöntemi kolaylığı, düşük maliyeti, tahribatsız yöntem olması, nitel ve nicel analiz yapabilmesi sebebi ile en çok tercih edilen nükleer yöntemlerden bir tanesidir (Shugar ve Mass, 2012). Hızlı ve güvenilir sonuçlar veren XRF yöntemi ile örneklerin analiz sonuçlarını dakikalar içerisinde almak mümkündür (Ergün, 2006; Özal, 2004).

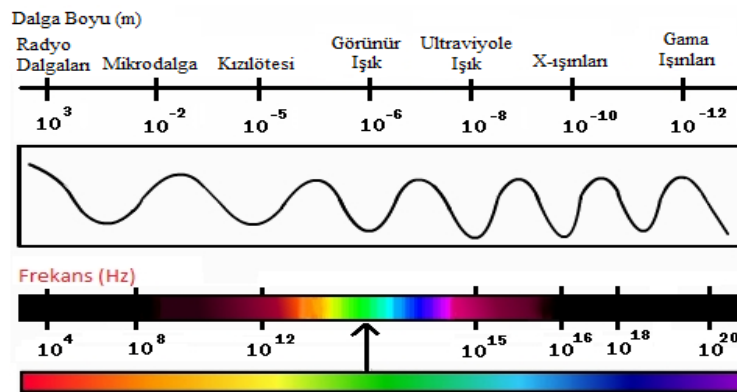
Bu çalışmada nükleer analiz yöntemlerinden biri olan X-ışını floresans analizi yöntemi kullanılarak hayvan kemiklerindeki elementlerin ve konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda incelenen örnekler İstanbul Arkeoloji Müdürlüğü'nün izniyle Yenikapı kazılarında bulunan Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemine ait olduğu belirlenen hayvan kemikleridir. Farklı dönemlere ait kemiklerin yapısı ve kıyaslamaları, hayvanların bu dönemlere ait yaşayış biçimleri ve çevresel faktörlerden etkilenme durumları hakkında bilgi vermektedir.

2. XRF YÖNTEMİ VE ARKEOLOJİ

R.W. Bunsen ve G.R. Kirchoff'un optik atom spektroskopisini keşfetmesinden sonra 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen tarafından X-ışınları keşfedilmiştir. 1901 yılında Röntgen'in Nobel ödülü kazanmasını sağlayan bu buluşu takiben Hendrik Lorenz, X-ışınlarının dağılımını bulmuştur. 1909 yılında Charles Glover Barkla X-ışınları ile uyarılan atomun atom numarası arasındaki ilişkiyi keşfetmiştir ve karakteristik X-ışını spektrumunun temellerini atmıştır. 1913 yılında Moseley karakteristik dalga boyları ve atom numarasındaki ilişkiyi bulmuştur. Bu gelişmeleri takiben, 2. Dünya Savaşı'ndan sonra X-ışını spektrometresi, çeşitli ülkelerde geliştirilerek 1970'lerde bilgisayar kontrollü hale getirilmiştir ve malzemelerin elementel analizinde kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde XRF yöntemi, malzemelerin elementel analizinde kullanılan en sık yöntemlerden biri haline gelmiştir (Shackley, 2011).

2.1 X-Işınları

X-ışınları elektromanyetik radyasyon çeşitleri içerisinde ultraviyole ışınları ile gama ve kozmik ışınlar arasında yer alan, düşük dalga boylu ve yüksek enerjili bir iyonlaştırıcı radyasyon çeşitidir. Dalga boyları genelde 10^{-8} – 10^{-12} m olup atom uzayından yayınlanırlar. X-ışınları elektromanyetik spektrumdadır ve atomları iyonize edebilirler (Jenkins, 1999). X-ışınlarının elektromanyetik spektrumdaki yeri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

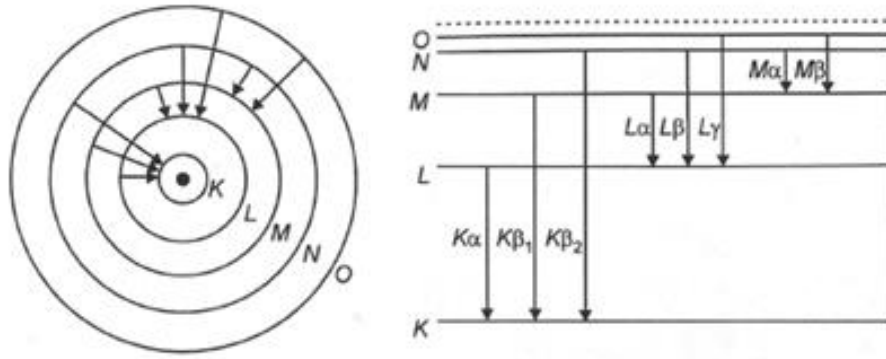


Şekil 2.1 : X-ışınlarının elektromanyetik spektrumdaki yeri.

Doğal ve yapay yolla üretilen X-ışınlarının günümüzde kullanım alanı çok geniş olup tıp, endüstri, malzeme alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1.1 Karakteristik X-ışını

Atomun herhangi bir enerji seviyesindeki elektron yüksek enerji ile uyarıldığında bir üst enerji seviyesine çıkar ve enerji seviyesinde boşluk yaratır; atom kararsız duruma geçer. Elektronun tekrar eski enerji seviyesine dönmesi sırasında “karakteristik X-ışını” yayınlanır. Bu X-ışınlarının enerjisi karakteristiktir ve enerji spektrumları çizgiseldir. Şekil 2.2’de Bohr atom modelinde verilmiştir (Stuart, 2007).



Şekil 2.2 : Karakteristik X-ışınının oluşturan elektron geçişleri (K, L, M, N ve O Enerji seviyeleri; $K\alpha$, $K\beta_1$, $K\beta_2$, $L\alpha$, $L\beta$, $L\gamma$, $M\alpha$, $M\beta$ geçişlerde yayınlanan fotonlar).

Bir elektron, uyarılma sonucu yörüngesinden kopartılırsa bu yörüngenin içerisinde boşluk oluşur. Örneğin, elektron K yörüngesinden kopartılırsa L elektronu boşluğu doldurmak için K enerji seviyesine düşer. X ışını işleminde, dış elektronların dahili olarak yeniden düzenlenmesi, boşluğu doldurmak için aşağıya inen daha yüksek bir enerji seviyesinden elektronların biriyle sonuçlanır. İki seviye arasındaki enerji farkı, karakteristik X-ışınının enerjisi E’ye eşittir.

$$E = E_k - E_l = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Burada;

E : Karakteristik X-ışınının enerjisi

E_K : K seviyesindeki enerji

E_L : L seviyesindeki enerji

h : Planc sabiti

c : Işık hızı

λ : X-ışınının dalga boyu

olarak ifade edilir.

Auger prosesinde ise, boşluğu doldurmak için L seviyesinden K seviyesine bir elektron düşer, ancak bir foton yaymak yerine, kinetik enerjisi yaklaşık olarak enerji seviyeleri arasındaki fark ile verilen üçüncü bir elektron M seviyesinden atılır (Şekil 2.3). Bu olayda karakteristik X-ışınının enerjisi enerji E' 'ye eşittir (Pollard ve diğ, 1996):

$$E \approx E_K - E_L - E_M \quad (2.2)$$

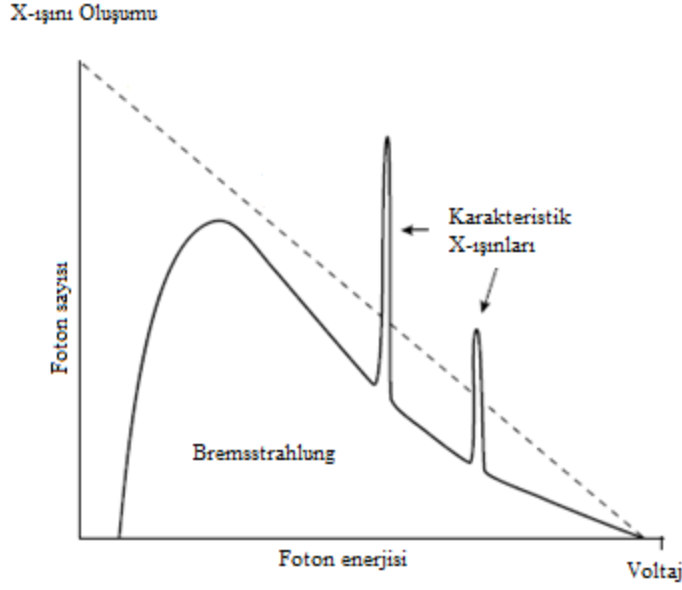


Şekil 2.3 : X-ışını salınımı ve Auger prosesi.

2.1.2 Bremsstrahlung (Frenleme radyasyonu)

Hızlandırılmış elektronlar hedef atoma inelastik olarak çarpıtıldığında, hedef atom ile etkileşirler. Elektronlar hedef atomun çekirdeğine yaklaştığında pozitif yükün oluşturduğu elektrik alandan etkilenecek ivmeli hareket yapmaya zorlanır ve yavaşlar. Elektronun kaybettiği kinetik enerji X-ışını olarak açığa çıkar. Bu tip X-ışınına “Bremsstrahlung (Frenleme radyasyonu)” denir. Mümkün olan maksimum X-ışını enerjisi elektronun enerjisine eşit olur (Bryan, 2018).

Karakteristik X-ışını ve Bremsstrahlung enerji spektrumları Şekil 2.4’ teki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.4 : Karakteristik X-ışını ve Bremsstrahlung enerji spektrumları.

2.2 X-Işınlarının Madde İle Etkileşimi

2.2.1 Compton saçılması

Hedef atomun genellikle dış yörüngedeki elektronu ile foton arasında gerçekleşen bu inelastik çarpışmada enerji ve momentum korunur. Gelen foton, enerjisinin bir kısmını çarptığı elektrona aktarır ve geliş doğrultusundan θ açısı kadar sapar (Şekil 2.5). Saçılan elektronun boşluğu doldurulurken karakteristik X-ışını yayınlanır. Fotonda kalan enerjiyi başlangıç enerjisi ve sapma açısı belirler. Compton saçılmasında enerji ve momentum korunur (Parks, 2015). Compton saçılmasındaki enerji denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$E_i = E_s + E_b + E_{ke} \quad (2.3)$$

Burada;

E_i : Gelen fotonun enerjisi

E_s : Saçılan fotonun enerjisi

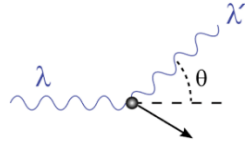
E_b : Elektronun bağlanma enerjisi

E_{ke} : Yörüngesinden kopartılan elektronun kazandığı kinetik enerji

olarak ifade edilir.

Compton saçılmasında tesir kesiti (σ_c), atom numarası (Z) ile doğru orantılı, gelen fotonun enerjisi (E_x) ile ters orantılıdır (Parks, 2015).

$$\sigma \propto \frac{Z}{E_x} \quad (2.4)$$



Şekil 2.5 : Compton saçılması şematik gösterimi.

2.2.2 Rayleigh saçılması

Rayleigh saçılması düşük enerjili (10-30 keV) fotonların hedef atomun elektronları ile etkileşimi sonucu oluşur. Foton tarafından uyarılan elektron titreşime uğrar ve fazla enerjisini aynı enerji ve dalga boyuna sahip foton olarak salar. Atomda herhangi bir iyonizasyon gözlenmez.

Rayleigh saçılmasında tesir kesiti (σ_R), atom numarasının karesi (Z^2) ile doğru orantılı, gelen fotonun enerjisinin küpü (E^3) ile ters orantılıdır (Tsoulfanidis ve Landsberger, 2010; Knoll, 2010).

$$\sigma_R \propto \frac{Z^2}{E^3} \quad (2.5)$$

2.2.3 Fotoelektrik etki

Fotonlar hedef atomun elektronları ile etkileşime girdiğinde, enerjileri elektronun bağlanma enerjisinden büyük ise elektronu yörüngesinden kopartır. Foton, bu etkileşimde enerjisinin tamamını elektrona aktarır ve kaybolur. Gelen fotonun enerjisi (E_i), kopan elektronun yörüngeye bağlanma enerjisi (E_b) ve fotoelektronun kinetik enerjisine (E_{ke}) eşittir.

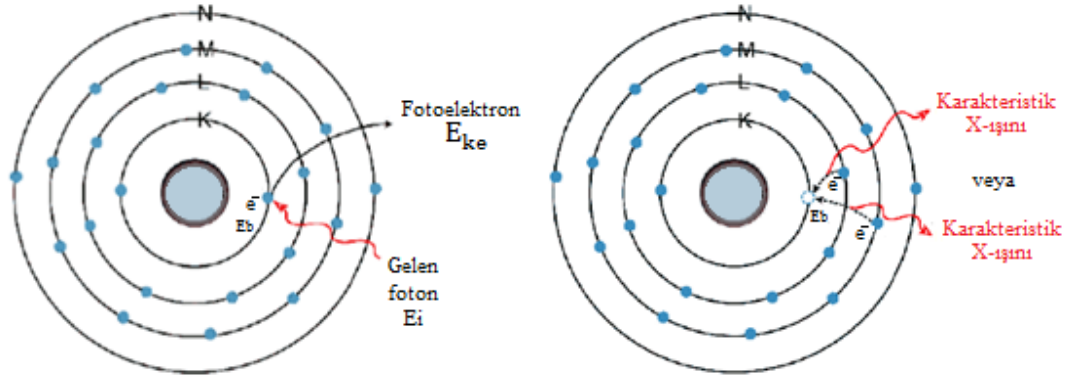
$$E_i = E_b + E_{ke} \quad (2.6)$$

Fotoelektrik olayın olma ihtimali, foton enerjisinin küpü (E^3) ile ters orantılı, atom numarasının küpü (Z^3) ile doğru orantılıdır (Tsoulfanidis ve Landsberger, 2010; Knoll, 2010).

$$\text{Fotoelektrik olay} \propto \frac{1}{E^3} \quad (2.7)$$

$$\text{Fotoelektrik olay} \propto Z^3 \quad (2.8)$$

Fotoelektrik olayda iç yörüngeden bir elektron koptuğunda, bu boşluk üst seviyelerdeki bir elektron tarafından doldurulabilir. Bu durumda yörüngelerin bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip karakteristik X-ışını fotonu salınır (Şekil 2.6).

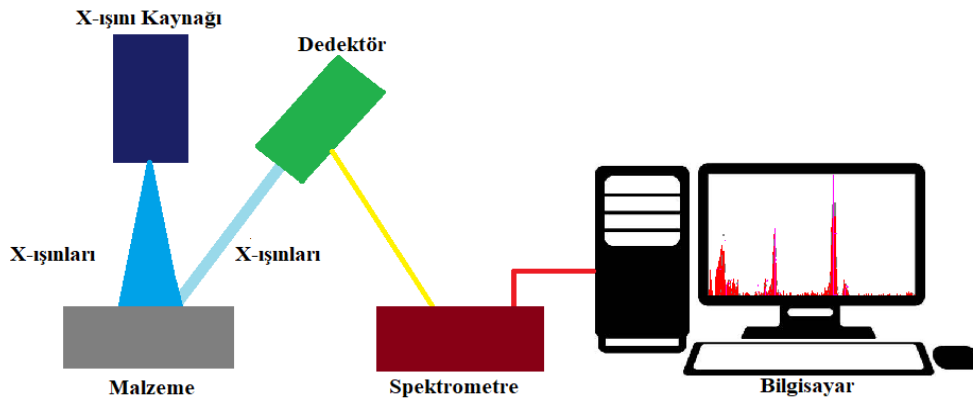


Şekil 2.6 : Fotoelektrik olay şematik gösterimi.

2.3 X-İşını Floresans Yönteminin Temel Prensipleri

X-ışınlarının spektroskopisinde kullanılan bir X-ışını Floresans (XRF) spektrometresinin temel bileşenleri şunlardır (Margui ve Grieken, 2013):

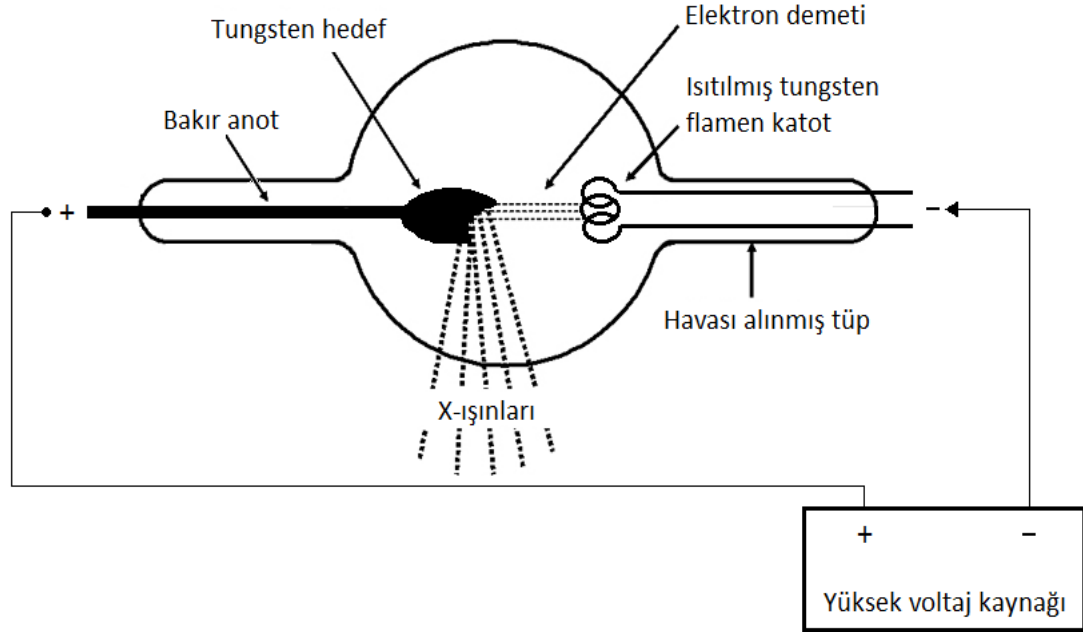
1. Bir örnekte bulunan atomlarda fotoelektrik etki oluşturarak iyonlaşma üreten bir uyarıcı kaynak;
2. Örnek sunum sistemi;
3. Numuneden çıkan karakteristik X-ışınlarını toplayan bir dedektör;
4. Veri toplama ve sinyal işleme sistemi.



Şekil 2.7 : X-ışını spektrometresinde kullanılan sistem şeması.

2.3.1 X-ışını kaynağı

XRF analizinde en sık kullanılan X-ışını kaynağı X-ışını tüpüdür. X-ışını tüpünün şematik gösterimi Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 : X-ışını tüpünün şematik gösterimi.

X-ışını tüpleri, vakum muhafazasının içine yerleştirilmiş genellikle tungstenden (W) oluşan bir spiral filaman; bir katot ve bir anot (genellikle molibden (Mo), rodyum (Rh), paladyum (Pd) veya tungsten(W) gibi ağır metalden yapılmış) içeren bir sistemdir. Filaman bir ısıtma akımı (1 mA - 1 A) ile beslendiğinde, yüksek voltaj kaynağından voltajın (30-150 kV) uygulanmasıyla elektronlar hızlanarak katottan anota doğru yönlendirilir.

Elektronlar anota ulaştıklarında anottaki ağır metal yardımı ile yavaşlarlar, bu da Bremsstrahlung (Frenleme tipi) X-ışını fotonlarının üretilmesine sebep olur. Bu radyasyon XRF spektrumunda sürekli yayılan enerjiler bandı olarak görünür.

Ek olarak, anodun atomları üzerine etki eden elektronların bir kısmı, bu atomlarla etkileşime girerek anottaki atomların elektronlarını uyarabilecek seviyede enerjiye sahip ise karakteristik X-ışını yayınlanmasını sağlar. X-ışını tüpünde üretilen X-ışınlarının miktarı akım ile, X-ışınlarının enerjisi ise gerilim ile doğru orantılıdır (Margui ve Grieken, 2013).

2.3.2 Dedektör

XRF cihazlarında kullanılan üç tip dedektör vardır:

2.3.2.1 Gaz dolgulu dedektörler

Gaz dolgulu dedektörler, çapı yaklaşık 2 cm olan metal silindirik bir tüpten (genellikle Al) oluşmakta olup, radyal eksen boyunca (25-50 mm) bir tungsten telini yüksek bir voltaja (1300–2000 V) yükseltecek şekilde taşır. Bir pencere, fotonların inert sayım gazı ile dolu olan dedektöre girmesine izin verir. X ışını fotonlarının gazla dolu dedektöre girmesiyle küçük bir elektron bulutu oluşturur. Elektronlar daha sonra anot teline ulaşır ve amplifikatörde negatif puls olarak kaydedilen voltajda bir düşüşe neden olur. Elektronların sayısı, gelen radyasyonun enerjisi ve puls ile orantılıdır. Çok kanallı analizör (MCA), dedektör tarafından üretilen pulsarı sayar (Margui ve Grieken, 2013).

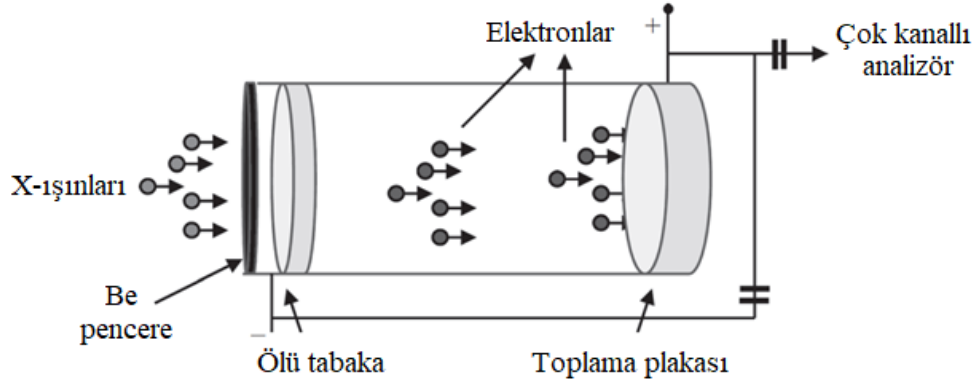
2.3.2.2 Sintilasyon dedektörleri

Sintilasyon dedektörlerinde radyasyon ayırt edilebilmek için görünür ışığa dönüştürülür. Sintilasyon dedektörleri iki ana bölümden oluşur: sintilasyon kristali ve fotoçoğaltıcı. X-ışını fotonları, berilyum pencereden geçerek ve sintilasyon kristali üzerine gelir ve burada mavi ışıklı bir flaş üretir. Bu mavi ışıklı fotonlar, fotoçoğaltıcıdaki ışığa duyarlı yüzey ile etkileşime girerek elektronlar üretir ve elektronların sayısı, dinot adı verilen ve görevi ikincil elektronlar yaymak olan elektrot tarafından doğrusal olarak artırılır. Elde edilen elektronlar anota ulaşınca, gaz dolgulu dedektörlerde olduğu gibi voltajda düşüşe neden olurlar. Bu, amplifikatörde bir negatif voltaj darbesi (puls) olarak kaydedilir. Darbeler çok kanallı analizör (MCA) tarafından sayılarak monitöre yansıtılır. Elektronların sayısı, gelen X-ışını fotonunun enerjisi ile orantılı olduğundan, sintilasyon sayacı orantılı bir sayaçtır (Margui ve Grieken, 2013).

2.3.2.4 Yarı iletken dedektörler

Yarı iletken dedektörler (katı hal dedektörleri) rezolüsyonu en yüksek olan dedektörlerdir ve elektron-boşluk çifti oluşturma temeline dayanır (Tsoulfanidis ve Landsberger, 2010; Url-2). Yarı iletken dedektörler genellikle lityum kaynaklı silikon (Si (Li)) veya yüksek saflıkta germanyum (HPGe) gövdesi ile üretilmiştir, ancak HgI₂, CdTe, CdZnTe veya GaAs gibi bileşik yarı iletkenler de kullanılmaktadır. Yarı iletken (ölü katman) bir X-ışını fotonu meydana geldiğinde, normalde yarı iletken

malzemede elektron delik çiftleri oluşturmak için fotoelektrik absorpsiyonla etkileşime girer. Daha sonra, oluşturulan elektronlar, ölü tabaka ile arka arasına yüksek voltaj (1500 V) uygulanarak ölü tabakanın arkasına çekilir. Elektronlar toplama plakasına ulaştığında, potansiyel düşer ve negatif bir darbe verir. Darbenin yoğunluğu, elektronların sayısı ile orantılıdır ve dolayısıyla gelen radyasyonun enerjisi ile orantılıdır (Margui ve Grieken, 2013). Yarı iletken dedektörler yüksek enerji ayırma gücü sebebi ile en çok tercih edilen dedektörlerdendir.



Şekil 2.9 : Yarı iletken dedektörün şematik gösterimi.

2.3.3 Çok kanallı analizörler

Çok kanallı analizörler (MCA), değişken bir sinyalin sayım ve genlik örnekleme gerektiren farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılır (Lima ve diğ., 2004). Çok kanallı analizörlerin temel görevi dedektörden gelen analog sinyalleri dijital sinyale çevirerek okuyucu cihaza (bilgisayara) yansıtmaktır. Çok kanallı analizörler darbe yüksekliği analiz (PHA) ve çok kanallı ölçekleyici (MCS) olmak üzere iki moda çalışabilir. Darbe yüksekliği analiz modunda sinyaller genliklerine göre, çok kanallı ölçekleyici modunda ise geldikleri zamana göre kanallara yerleştirilerek sıralanırlar. Çok kanallı analizör, elde edilen dağılımların görsel görüntüsünü sağlar ve okuyucuya (bilgisayara) gönderir (Tsoulfanidis ve Landsberger, 2010; Url-3). Belirli bir yüksekliğe sahip olan darbelerin sayısı, karşılık gelen enerjinin yoğunluğunu verir ve XRF spektrumunda bir tepe olarak gösterilir (Margui ve Grieken, 2013).

2.4 XRF Yöntemi Çeşitleri

XRF yöntemi çeşitleri, Enerji Dağılımlı XRF (EDXRF) ve Dalga Boyu Dağılımlı XRF (WDXRF) olarak iki ana başlık altında incelenebilir.

2.4.1 Enerji dağılımlı XRF

Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans yöntemi (EDXRF) katı, sıvı, toz ve ince film gibi çeşitli malzemelerin elementel bileşiminin belirlenmesi için kullanılan en basit ve doğru analitik yöntemlerden biridir. Bu yöntemle uygun standart malzemeler kullanılarak nicel analiz ppm düzeylerinden, yüzde (%) seviyesine kadar analizler gerçekleştirilebilir (Goldstein ve diğ, 1992). EDXRF yönteminin günümüzde çok tercih edilmesinin sebeplerinden biri de tahribatsız ölçüm yapabilmesidir (Dizman, 2017). EDXRF yönteminde örnek X-ışını kaynağından çıkan elektronlarla bombardımana tutularak örneği oluşturan atomların yaydığı karakteristik X-ışınları tespit edilir.

EDXRF yönteminde genellikle Si (Li) dedektör kullanılır ve dedektör örnekten gelen X-ışınlarının yoğunluğunu ölçer. Gelen sinyaller darbelerin voltaja dönüştürüldüğü çok kanallı bir analizöre gönderilir (Url-4). Çok kanallı analizör örnekten gelen karakteristik X-ışınlarını enerjilerine göre kanallara yerleştirir. Bu ayrılma işlemi dispersiyon olarak adlandırılır (Bertin, 1984; Willard ve diğ, 1981). Enerji seviyeleri bilgisayar ekranında spektrumdaki pik noktalarından okunabilir.

EDXRF yönteminde hassasiyet, istatistiksel hata ile ölçülebilir. Bu hassasiyet genellikle 2σ olarak tanımlanır ve majör elementler için genellikle $\pm 1\sigma$ olarak alınır. Bunun yanı sıra hassasiyeti arttırmanın bir diğer yolu da, spektrumlarda küçük piklerden oluşan arkaplanın oluşturduğu karmaşıklığı, yüksek ayırma güçlü dedektörler kullanarak gidermektir (Url-5).

2.4.2 Dalga boyu dağılımlı XRF

Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresans yöntemi (WDXRF) ile X-ışınları dalga boylarına göre ayrılırlar. WDXRF için algılama sistemi bir kolimatör seti, bir kırınım kristali ve bir dedektördür. Örnekten gelen X ışınları kristalin üzerine düşer ve kristal, farklı dalga boylarına sahip X-ışınlarını farklı yönlerde yansıtır. Dedektör belli bir açıyla yerleştirilerek, belirli bir dalga boyuna sahip X ışınlarının yoğunluğu ölçülebilir. Burada hareketli dedektör kullanılabilir. WDXRF yöntemi hafif elementlerin ölçümünde yetersizdir (Brouwer, 2010).

2.5 Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) çalışma yöntemi, yüksek gerilim altında hızlandırılmış elektronların malzeme yüzeyine çarptırılıp, yansıyan ışınların dedektör tarafından algılanması prensibine dayanır. Yansıyan elektronlar ve buna bağlı olarak ortaya çıkan X-ışınları kullanılarak yüzeyin topografisi elde edilir. Böylece, örneklerin yüzey yapıları, içerdikleri fazlar ve taneciklerin yapı içerisindeki düzeni hakkında bilgi edinilebilir (Goldstein ve diğ, 1992; Marshall, 1991; Ellingham ve diğ, 2018).

2.6 Taramalı Elektron Mikroskobu ile Birlikte Çalışan Enerji Dağılımlı X-Işını Spektrometresi

Taramalı elektron mikroskobu ile birlikte çalışan enerji dağılımlı X-Işını Spektrometresi (SEM-EDS) ile mikroyapıda var olan tane ya da herhangi bir nokta üzerinde mikro düzeyde kimyasal analiz yapılabilir. Herhangi bir numune veya numune üzerinde elementel kompozisyonu tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir. SEM-EDS taramalı elektron mikroskobunun kullanıldığı bir tekniktir (Şekil 2.10). Numune üzerine taramalı elektron demeti gönderilerek analiz işlemi gerçekleştirilir. Numune yüzeyine çarptırılan yüksek enerjili elektronlar numunedan elektron koparır. Kopan elektronlar iç yörüngelerden kopmuş ise atomik kararlılığı sağlamak üzere dış yörüngelerden elektronlar bu boşluklara sıçrama yaparlar.



Şekil 2.10 : SEM ve bağlı EDS cihazı görüntüsü (Url-6).

Daha yüksek enerjili olan dış yörüngedeki elektron fazla enerjisini ışıma yaparak kaybeder. Bu kaybedilen enerji de X-ışını olarak karşımıza çıkar. Yayımlanan X-ışının karakteristik özelliği, yapının element atomunu barındırdığını ve hangi enerji kabuğundan yayımlandığıyla ilgili bilgiler verir (Goldstein ve diğ, 1992; Ellingham ve diğ, 2018). Açığa çıkan X-ışınları elektronik alıcılar tarafından algılanırlar. Elde edilen veriler bilgisayar monitöründe pikler oluşturur ve elementel analiz yapılmış olur. Pik altında kalan alanlar da malzeme içeriği hakkında bilgi verir.

2.7 Hayvan Vücudunda Kemik

Omurgalı hayvanlarda kemikler kaslar ile birlikte iskelet sistemini oluştururlar. Hayvanlar iskelet sistemlerini destek, hareket etmek, iç organlarını korumak ve şeklini korumak için kullanırlar (Url-7). Kemiğin yapısını oluşturan bir çeşit bağ dokusudur. Kemikler vücuda şekil ve destek verir ve her türlü mekanik gerilmeye karşı koyar. Kasların, tendonların ve bağların tutturulması için yüzey sağlarlar. Akciğerler, kalp, omurilik ve beyin gibi yumuşak organlar kemikler sayesinde korunur. Kemiklerin içinde bulunan kırmızı kemik iliğinde beyaz kan hücreleri ve lenfositler üretilir. Kemik, özel metabolik aktiviteler için ihtiyaç halinde alınabilecek kalsiyum için önemli bir rezervuar görevi görür. Vücuttaki toplam kalsiyumun %99'u iskelette ve dişlerde depolanır. Kemikler kan hariç vücudun diğer tüm dokularından daha fazla rejeneratif güce sahiptir. Taşıdığı stres ve gerilme değişikliklerine göre kendini şekillendirebilir (Rauf, 2014).

Kemiklerin %45'i su, % 30'u protein, %15'i kemik tuzu ve %10'u lipid içerir (Rauf, 2014). Kemiklerin yapısı organik ve inorganik bileşenlerden oluşur. Ana inorganik bileşen, kalsiyum fosfattır ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ve kemik ağırlığının üçte ikisini oluşturur. Kalsiyum fosfat, hidroksiapatiti ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) oluşturmak için kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile etkileşime girer. Hidroksiapatit formunun kristalleri olarak, kalsiyum karbonat, sodyum, magnezyum ve florür dahil diğer inorganik bileşenleri de içerirler. Kemiğin kalan organik kısmı kollajen lifleri ve hücrelerden (osteoblastlar, osteositler ve osteoklastlar) ve osteoidden oluşur (Akers ve Denbow, 2013).

Kemikler şekillerine göre uzun kemikler, kısa kemikler, yassı kemikler ve düzensiz kemikler olarak dört grup altında incelenebilir. Kol, ön kol, uyluk, bacak kemikleri uzun kemiklere örnek olarak verilebilirken el ve ayak bileği kemikleri kısa kemiklere örnek olarak gösterilebilir. Göğüs kemiği, kaburgalar, bazı kafatası kemikleri yassı

kemikler olarak tanımlanırken omurlar ve bazı yüz kemikleri düzensiz kemiklere örnektir (Akers ve Denbow, 2013).

2.8 Hayvan Kemiklerinde Elementlerin Önemi

Kemik, diş, boynuz gibi mineralleşmiş dokular, hayvanlarda önemli elementler için depo bölgeleridir. Bu dokular Al, Ca, K, Mg, Na gibi majör elementleri ve P, Si gibi iz elementleri içinde barındırır (Dermience ve diğ, 2015; National Research Council, 2003). Çoğu temel araştırma, kemik metabolizmasındaki kritik rollerinden dolayı, özellikle Ca, P, Mg gibi başlıca elementlere odaklanmıştır (Dermience ve diğ, 2015; Buddhachat ve diğ, 2016). Bununla birlikte, diğer temel değerlendirmeler ve türler arasındaki karşılaştırmalar için diğer elementlerden de yararlanılmaktadır.

Kalsiyum kemik ve dişlerin yapıtaşıdır, aynı zamanda sinir ve kas fonksiyonunun düzenlenmesinde rol oynar. Ca enzim aktivasyonunda hayati bir rol oynadığı gibi kas kasılması, sinir uyarılarının normal iletimi ve nöromusküler uyarılma gibi zar geçirgenliği için de gereklidir. Azalan bir hücre dışı kan kalsiyumu, sinir dokusunun irritabilitesini artırır ve çok düşük seviyeler tetanyum ve konvülsiyonlara yol açan sinir uyarılarının kendiliğinden boşalmasına neden olabilir (Hays ve Swenson, 1985; Soetan ve diğ, 2010). Vücutta Ca eksikliği kemiklerin zayıflamasına, kemiklerde kırılabilirliğin artmasına ve osteoporoza sebebiyet verir (Hays ve Swenson, 1985). Vücutta aşırı Ca birikimi ise kalp aktivitesini baskılar ve solunum ve kalp yetmezliğine yol açar (Soetan ve diğ, 2010).

Fosfor kalsiyumdan sonra hayvan vücudunda en fazla bulunan elementtir. P iskelet ve dişlerin yapısına katılmanın yanı sıra vitamin ve enzim aktivitelerine katılarak vücudun metabolic fonksiyonlarının yerine getirilmesinde çok önemli bir rol oynar (Hays ve Swenson, 1985; Olgun ve Ünal, 1983). Ca ve P vücuttaki birçok temel süreçte etkileşime girer ve bu bağılılık kemik gelişimi için kritik bir öneme sahiptir. Bu sebeple kemikler üzerinde yapılan birçok çalışmada Ca/P oranı kemiğin gelişimi ile ilgili önemli bilgiler verir (Peacock, 2010).

Kemikler magnezyumun ana deposudur ve vücuttaki Mg'un %60'ı kemiklerde depolanır. Hücrelerde birçok fizyolojik fonksiyona katılan Mg ana enerji kaynağı olan ATP için temeldir ve çok sayıda enzimin kofaktörüdür (Görmüş ve Ergene, 2004; Castiglioni ve diğ, 2013).

Na ve K hücre içi katyondur ve asit-baz dengesinin korunmasında rol alır (Soetan ve diğ, 2010). Geçmişte yapılan çalışmalar vücuda beslenme yolu ile alınan potasyumun osteopotoz riskini düşürdüğünü ve kemik sağlamlığını arttırdığını göstermektedir (Weaver, 2013). Herhangi bir enzimin yapısına katılmayan Na, klor ile NaCl tuzunu oluşturur (Brody, 1999).

Silisyumun kemik oluşumu ve bakımında önemli bir rol oynadığı birçok bilimsel araştırma sonucu kabul edilmiştir. Silisyum, kemik matrisini zenginleştirerek kemik mineralizasyonuna yardımcı olur. Hayvan kemiklerindeki silisyumun kemik mineral yoğunluğunu arttırdığı ve kemikleri güçlendirdiği gözlenmektedir (Price ve diğ, 2013).

2.9 Arkeolojide Hayvan Kemiklerinin İncelenmesi

Hayvanlar insanlık tarihinin ilk yıllarından günümüze hem beslenme için, hem de fiziksel güçlerinden faydalanmak için yetiştirilmiştir. Beslenme için et, süt ve yumurtalarından faydalanılmış; aynı zamanda ağır yük taşımak için kas güçlerinden faydalanılmıştır. Arkeolojik kalıntılar arasında bulunan hayvan kemikleri, her zaman arkeologların dikkatini çekmiştir. Arkeolojik hayvan kemikleri eski zamanlardaki beslenme alışkanlıkları hakkında fikir vermenin yanı sıra hayvanların omuz boyları, kilo, cinsiyet ve yaş gibi morfolojisi hakkında da bilgi vermektedir. Bu veriler, hayvan popülasyonlarının tanımlanmasında kullanılabilir ve diğer zaman periyotlarıyla karşılaştırmaya temel teşkil ederler (Clark, 1995; Guintard ve diğ, 2003; Harcourt, 1974; Onar, 2005; Onar ve Belli, 2005; Onar ve diğ, 2002). Türlerin ve popülasyonların tanımı yaygın olarak alt çene kemiği ve diş ölçümlerine dayanmakla birlikte kol, bacak, kaburga kemiği gibi diğer kemikler de hayvanların morfolojisi hakkında bilgi verebilmektedir (Onar ve diğ, 2013).

Hayvan kemikleri insan davranışları ve doğal süreçler bağlamında da arkeolojik çalışmalara ışık tutar. Hayvan kemiklerinden elde edilen sonuçlar, arkeolojik özelliklerin oluşum süreçlerinin anlaşılması ve ilgili verilerin biriktirilmesine yardımcı olur.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, İstanbul Yenikapı arkeolojik alanından alınan Neolitik Dönem (MÖ 6000) ve Erken Bizans (3. yüzyıl) ve Bizans İmparatorluğu (4-11 yüzyıl) dönemine ait olduğu belirlenmiş olan çeşitli hayvan buluntularının Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans yöntemi (EDXRF) yöntemiyle incelenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Örnekler, İstanbul Arkeoloji Müzeleri Müdürlüğü izniyle alınmış olup, Yenikapı Metro Kazısı Etütlük Malzemelere ait analizlik örnekler kategorisinde yer almaktadırlar.

3.1 İstanbul Yenikapı Arkeolojik Alanı

İstanbul'daki kentsel gelişime katkıda bulunmak ve ulaşım hizmetlerinin iyileştirilmesi için 2004 yılında Unkapanı-Yenikapı metro hattı ve Marmaray projesinin inşaatına başlanmıştır. İnşaat sırasında bulunan arkeolojik bulgular kazı çalışmalarını aksatmış, yer yer projedeki güzergahlar değiştirilmiş ve hatta bazı durumlarda çalışmalar tamamen durdurulmuştur.

Ulaşım projesi olarak başlayan kazılar, arkeolojik buluntuların çıkması ile kısa sürede alınan Koruma Kurulu onayı ile Arkeoloji ve Müzeler Müdürlüğü denetiminde yapılan arkeolojik kazılara dönüşmüştür (Mehmetoğlu, 2018).

İstanbul Arkeoloji Müzeleri Genel Müdürlüğünce 27.11.2004 tarihinde başlatılan Marmaray Projesi Yenikapı arkeolojik kazı çalışmaları dört yıl sürmüştür ve 58.000 metrekaresel bir alanda kazı çalışmaları yürütülmüştür (Kenar, 2015).

İstanbul Arkeoloji Müzeleri Müdürlüğü'nün yürüttüğü arkeolojik inceleme çalışmalarının alanı ve buluntuların alındığı yerlerin İstanbul'daki konumu Şekil 3.1'de yer almaktadır. Yenikapı arkeolojik kazı alanı vaziyet planı Şekil A.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Yenikapı (İstanbul) kazı alanı konumu (Google Earth 4.3).

Bu çalışmada kullanılan hayvan buluntuları türlerine göre çene-diş, kaburga kemiği, omurga kemiği, uzun kemik, kaplumbağa kabukları ve boynuz olarak sınıflandırılmıştır. Buluntularla ilgili buluntu türü, çıkarıldığı alan, çıkarıldığı derinlik ve tarih bilgileri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Şekil 3.2’de çalışmada incelenen hayvan buluntularının bazılarının görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.2 : Çalışmada incelenen bazı buluntular.

Çizelge 3.1 : İncelenen hayvan buluntuları bilgileri.

Örnek No	Buluntu türü	Buluntu Kodu	Çıkarıldığı alan	Başlangıç derinliği (m)	Bitiş derinliği (m)	Çıkarılış tarihi
1	Çene Kemiği-Diş	ÇD-1	3Ca3	-9.00	-9.10	01.08.2012
2	Çene Kemiği-Diş	ÇD-2	3Dc1	-6.07	-6.07	10.07.2012
3	Çene Kemiği-Diş	ÇD-3	3Cd2	-6.63	-6.63	17.07.2012
4	Çene Kemiği-Diş	ÇD-4	2Cb1	-7.85	-7.90	13.05.2011
5	Çene Kemiği-Diş	ÇD-5	2Ha3	-3.56	-3.73	15.08.2011
6	Çene Kemiği-Diş	ÇD-6	2Ea3	-7.00	-7.00	27.08.2011
7	Kaburga Kemiği	KA-1	2Cc3	-8.69	-8.75	10.08.2012
8	Kaburga Kemiği	KA-2	3Dc1	-5.84	-5.88	04.07.2012
9	Kaburga Kemiği	KA-3	2Ca3	-8.58	-8.59	14.08.2012
10	Kaburga Kemiği	KA-4	3Bb2	-8.85	-8.85	31.07.2012
11	Kaburga Kemiği	KA-5	1Db1	-5.75	-5.75	06.04.2009
12	Kaburga Kemiği	KA-6	3Dc1	-5.45	-5.60	30.06.2012
13	Omurga Kemiği	OK-1	3Dc1	-5.83	-5.90	04.07.2012
14	Omurga Kemiği	OK-2	1Db1	-5.75	-5.75	06.04.2009
15	Omurga Kemiği	OK-3	3Dc1	-5.35	-5.40	26.05.2012

Çizelge 3.1 (devam): İncelenen hayvan buluntuları bilgileri.

Örnek No	Buluntu türü	Buluntu Kodu	Çıkarıldığı alan	Başlangıç derinliği (m)	Bitiş derinliği (m)	Çıkarılış tarihi
16	Omurga Kemiği	OK-4	1Id3	-3.93	-4.07	24.07.2012
17	Omurga Kemiği	OK-5	3Dc1	-5.60	-5.80	30.06.2012
18	Eklem Kemiği	EK-1	3Ca4	-8.03	-8.10	28.09.2011
19	Eklem Kemiği	EK-2	2Ca2	-9.25	-9.45	01.09.2012
20	Uzun Kemik	UK-1	2Cc3	-8.75	-8.75	10.08.2012
21	Uzun Kemik	UK-2	2Bc1	-7.50	-7.60	10.02.2011
22	Uzun Kemik	UK-3	4Jc1	-3.02	-3.20	13.08.2013
23	Uzun Kemik	UK-4	2Gd1	-3.85	-3.94	12.09.2011
24	Uzun Kemik	UK-5	3Dc1	-5.45	-5.60	30.06.2012
25	Kaplumbağa Kabukları	KK-1	2Ca2	-9.28	-9.32	01.09.2012
26	Kaplumbağa Kabukları	KK-2	3Dc3	-5.91	-6.00	05.07.2012
27	Kaplumbağa Kabukları	KK-3	2Cc1	-8.87	-8.89	13.08.2012
28	Kaplumbağa Kabukları	KK-4	2Ca2	-8.84	-8.90	01.09.2012
29	Boynuz	B	3Ca2	-8.23	-8.27	03.07.2012

İncelenen buluntular Çizelge 3.2’deki gibi sınıflandırılmıştır (Akyıl Erentürk ve diğ, 2018).

Çizelge 3.2 : Dönemlere göre tabaka derinlikleri.

Dönem	Tabaka Derinliği (m)
Neolitik Çağ (M.Ö. 6000)	-7,00/-9,32
Erken Bizans Dönemi (3. yüzyıl)	-5,80/-7.00
Bizans Dönemi (4-11. yüzyıl)	-3,02/-5,80

3.2 Numunelerin Analize Hazırlanması

Numunelerin analiz edilebilmesi ve doğru değerlerin alınabilmesi için ultrasonik banyo ile temizlenmesi, öğütme işlemi ve tartım işlemi uygulanmıştır.

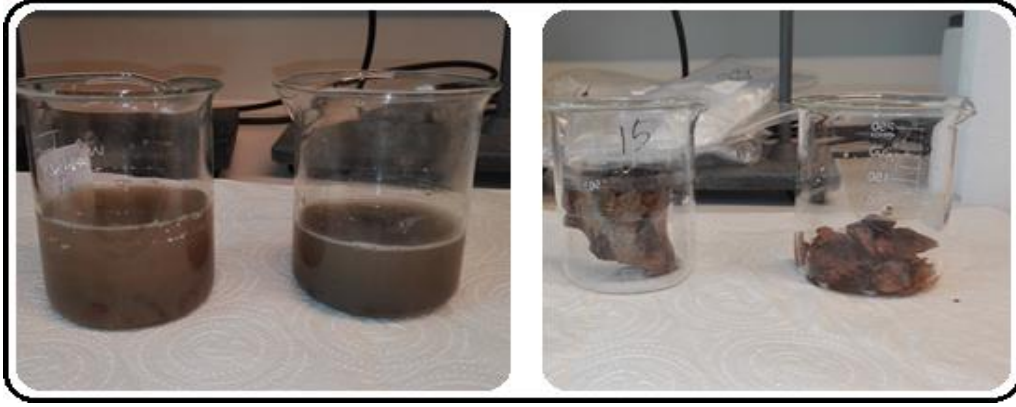
3.2.1 Ultrasonik banyoda temizleme

Analiz için seçilen numuneler cam beherlerin içine yerleştirilerek üzerine damıtılmış su eklenmiştir ve her biri 3 saat boyunca ultrasonik banyoda işlem görmüştür. (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Ultrasonik banyoda uygulanan işlemin görüntüsü.

Süre sonunda banyodan çıkartılan örnekler yine damıtılmış su ile temizlenmiş ve süzgeç kağıdı üzerinde öğütme işlemine hazırlamak için oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Şekil 3.4’te ultrasonik banyo öncesi ve sonrası numunelerin görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.4 : Numunelerin ultrasonik banyo öncesi ve sonrası görüntüleri.

Temizlenen numuneler süzgeç kağıdı üzerinde öğütme işlemine hazır hale getirilmek için oda sıcaklığında kurutulmuştur (Şekil 3.5).



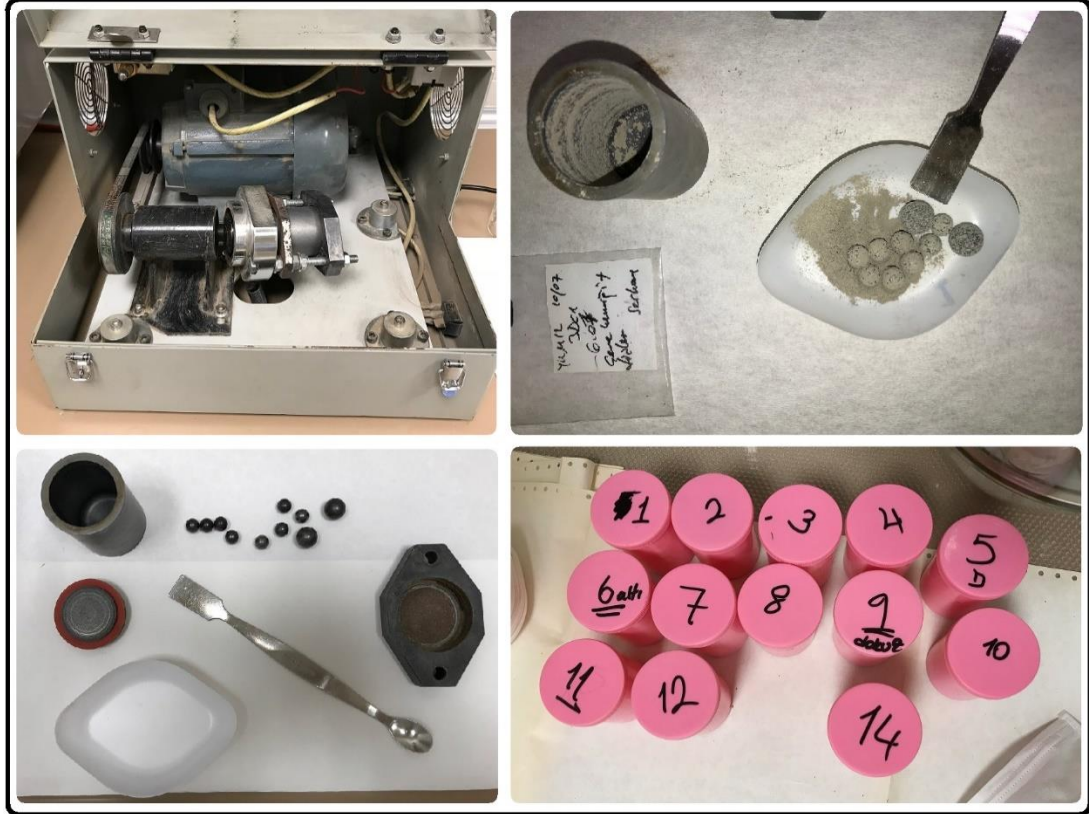
Şekil 3.5 : Ultrasonik banyo sonrası kurutulan kemiklerden bazıları.

3.2.2 Öğütme işlemi

Numunelerin homojen toz haline getirilmesi için bilyeli öğütücünden (Fusion Frequency FFBM-3A) yararlanılmıştır (Şekil 3.6). Numunelerden alınan parçalar çelik silindire yerleştirilerek 8 küçük, 2 büyük karbür bilye ile yüksek titreşim hızında belirlenen sürelerde (600 saniye) öğütülmüştür ve numunelerin tamamı toz haline gelene kadar işlem tekrarlanmıştır (bazı durumlarda 3 kez).

Kalça kemiği ve bacak kemiği gibi büyük ve sert numunelerden çekiç yardımı ile kırılarak parça alınmış ve öğütme işlemi uygulanmıştır.

Toz haline getirilen numuneler etil alkol ile temizlenen kaplara spatula ile dikkatli bir şekilde boşaltılarak kirlenmemesi için ağzı kapatılarak muhafaza edilmiştir. Her bir kap üzerine numunelerin numaraları yazılarak birbirleri ile karışması önlenmiştir.



Şekil 3.6 : Öğütücü, donanımları ve öğütülmüş kemik örneği.

Her bir numunenin öğütme işlemi sonrasında bir sonraki numunede kontaminasyon oluşmaması için metal aksamlar musluk suyu ve etil alkol ile kabın sızdırmazlığını sağlayan conta ise musluk suyu ve destile su ile iyice temizlenerek kurutulmuştur.

3.2.3 Tartım işlemi

Toz haline getirilen numunelerin uygun miktarının alınarak koruyucu tüpler içinde paketlenmesi için hassas tartıdan (SHIMADZU AUW220D) yararlanılmıştır (Şekil 3.7). Her bir tartım işlemi öncesi terazide boş kap ağırlığı ölçülerek cihaz kalibre edilmiştir. 2,5 gram numune ağırlığı sağlanana kadar kaba toz numune eklenmiştir.



Şekil 3.7 : Tartım işlemi.

Yeterli ağırlığa ulaşan numuneler plastik tüplere boşaltılarak analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.8). Numunelerin karışmaması için tüplere numunelerin numaraları yazılmıştır.



Şekil 3.8 : Analiz işlemine hazır hale getirilen numuneler.

3.3 SEM-EDS Analizleri

Örnek hazırlama işlemlerinden sonra buluntulardan alınan temsil edici örnekler, elementel bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) (JEOL JSM-6390LV) ve bu mikroskoba bağlı enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi (IXRF Systems, Inc., Model 500, USA) ile hizmet alımıyla analiz edilmiştir. Ölçümlerdeki aletsel koşullar yüksek vakum, 100-400 kat büyütme, %95 güven aralığı, 15 kV çalışma voltajı ve 60-200 s ölçüm süresi olarak ayarlanmıştır.

3.4 İstatistiksel Analizler

Buluntuların elementel bileşimleri belirlendikten sonra, buluntu türlerinin ait olduğu dönemler arasında karşılaştırma yapmak ve benzer özellik gösteren buluntuları tespit etmek üzere örnekler istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Bu amaçla Minitab 17.0 istatistik yazılımından yararlanılmıştır.

Minitab 17.0 yazılımından yararlanarak örneklerin parametrik ya da nonparametrik olduğu Kruskal-Wallis testi ile belirlenmiştir. Kruskal-Wallis testi normal dağılım göstermeyen gruplarda üç veya daha fazla sayıda grubun ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlılığını test amacıyla kullanılan bir tekniktir. Parametrik istatistik testleri, verilerle ilgili bazı istatistiksel dağılım varsayımlarının kabul edildiği durumlarda uygulanır; nonparametrik istatistik testlerinde ise bu tür varsayımlar yer almaz (McDonald, 2007).

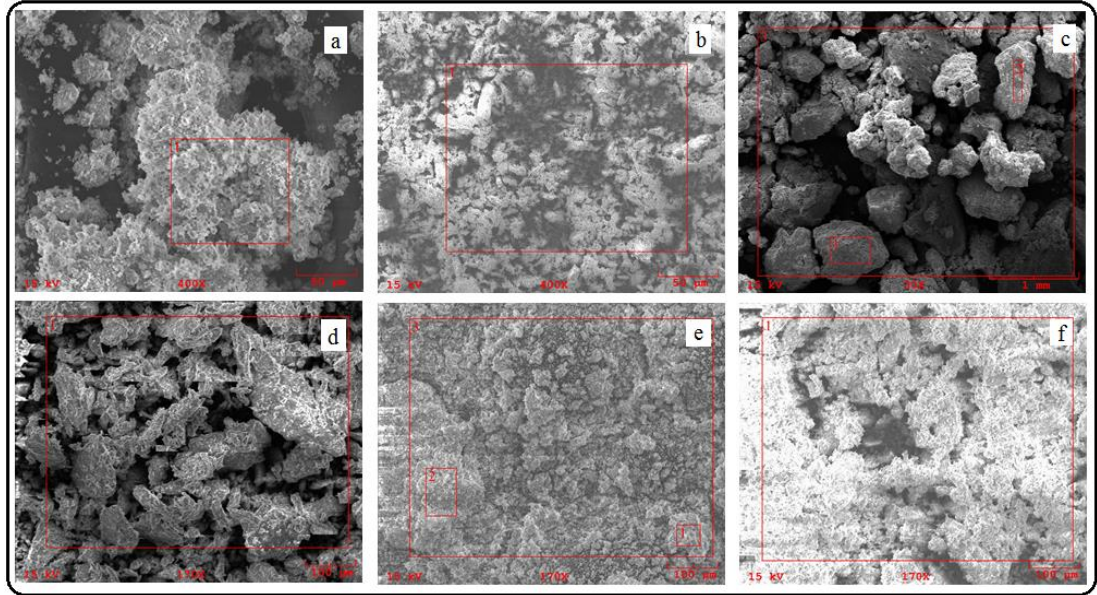
Bir test sonucunda bulunan P değeri 0,05'in altında bir değer ise karşılaştırma sonucunda anlamlı farklılık bulunduğu anlamına gelir. Biyolojik çalışmalar için 0,05 değeri genel olarak kabul görmüş bir sınırdır.

4. ANALİZ SONUÇLARI

4.1 SEM Görüntüleri

SEM görüntüleri kristalografik bilgi, morfoloji, şekil, boyut ve malzemenin bileşimi hakkında bilgi verir. Hayvan kemiği buluntularına ait örnek SEM görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir.

Elde edilen SEM görüntüleri ilerleyen çalışmalarda yorumlanacaktır.

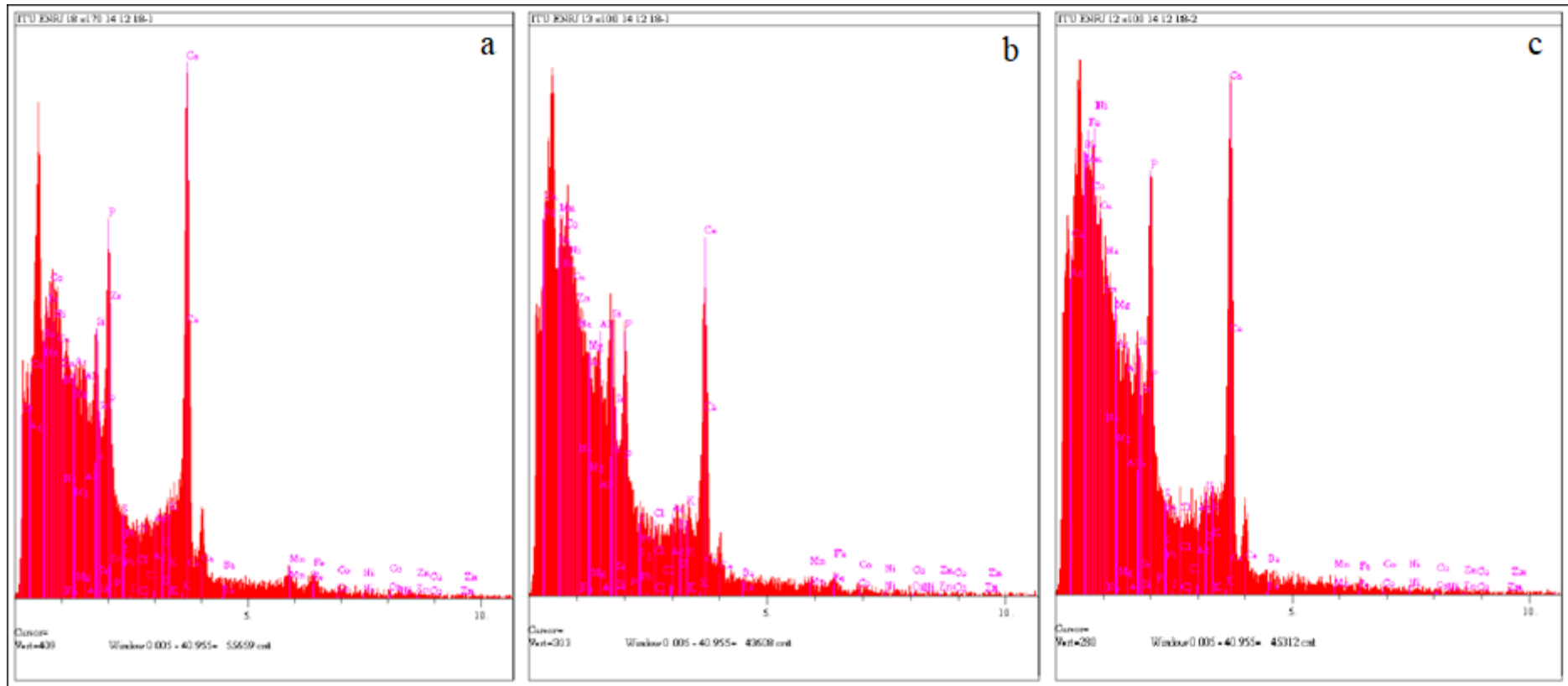


Şekil 4.1 : Kemik türlerine göre örnek SEM görüntüleri a) Çene-diş kemiği, b) Kaburga kemiği, c) Omurga kemiği, d) Uzun kemik, e) Kamlumbağa kabuğu, f) Boynuz

4.2 EDXRF Analizi Sonuçları

EDXRF yöntemi ile incelenen örneklerde bulunan elementler spektrometredeki karakteristik X-ışınlarının enerjilerine göre belirlenmiştir. Farklı dönemlere ait örnek spektrumlar Şekil 4.2’de verilmiştir.

İncelenen hayvan kemiklerinde Al, Ca, K, Mg, Na, P ve Si elementleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar hata değerleri ile verilmiştir. Elementler ile ilgili açıklamalar alfabetik olarak sıralanmıştır.



4.2.1 Alüminyum

Alüminyum yeryüzünde bulunan en yaygın elementlerden biri olmasına rağmen vücutta herhangi bir biyolojik fonksiyona sahip değildir. Alüminyum sağlığı tehdit eden toksik bir element olmakla birlikte kemikte minerallerin yerini alarak kemik gelişimini ve kemiklerin kendini yenilemesini önlemekte ve birçok kemik hastalığına yol açmaktadır (Cannata Andia, 1996). Bunun yanı sıra Al böbrek yetmezliğine sebep vermektedir. Hayvan vücudunda aşırı miktarda alüminyum birikmesi, insanlarda görüldüğü gibi hayvanlarda da Alzheimer hastalığına da sebebiyet vermektedir (Pastacı ve diğ, 2010).

Tayland'da memeli hayvanların kemikleride yapılan bir çalışmada uzun kemiklerde bulunan Al miktarı (%) 0,170-0,416 arasında değişmekte, çene-diş kemiklerinde 0,146-0,337 arasında değişmekte, boynuz kemiğinde ise 0,234-1,930 arasında değişmektedir (Buddhachat ve diğ, 2016).

İncelenen hayvan kemiklerindeki Al miktarı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Al miktarı.

Dönem	Örnek No	Al miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1	0,456	± 0,124
	4	0,092	± 0,451
	7	0,422	± 0,068
	9	0,502	± 0,184
	10	2,809	± 0,642
	18	1,427	± 0,454
	19	0,661	± 0,226
	20	0,429	± 0,211
	21	0,536	± 0,327
	25	1,002	± 0,265
	26	1,509	± 0,262
	27	0,471	± 0,124
	28	0,239	± 0,109
	29	4,728	± 0,470
Erken Bizans	2	0,000	± 0,000
	3	0,071	± 0,043
	6	0,016	± 0,017
	8	1,118	± 0,294
	13	3,236	± 0,456

Çizelge 4.1 (devam): İncelenen hayvan kemiklerindeki Al miktarı.

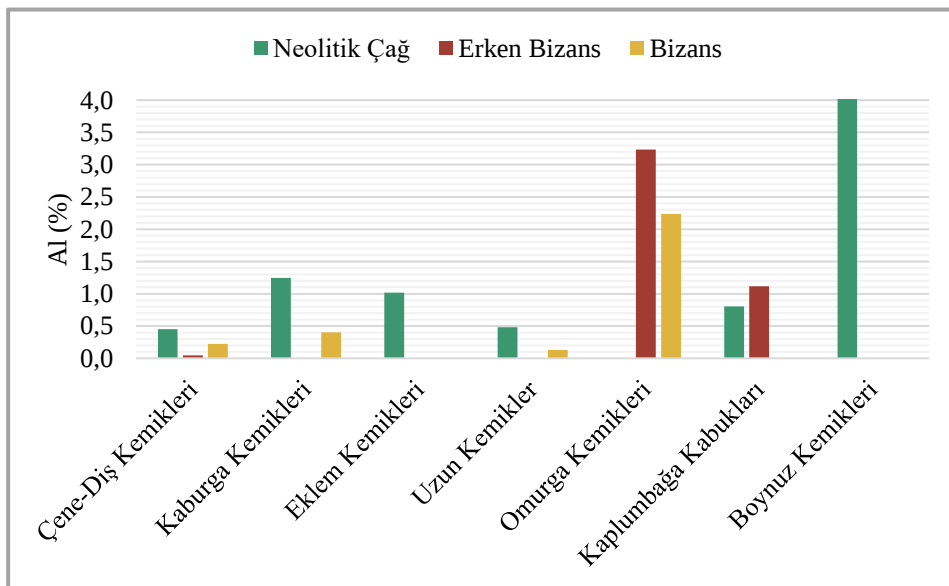
Dönem	Örnek No	Al miktarı (%)	Hata (2σ)
Bizans	5	0,223	± 0,064
	11	0,017	± 0,053
	12	0,785	± 0,244
	14	0,226	± 0,151
	15	3,396	± 0,648
	16	0,434	± 0,164
	17	4,897	± 0,741
	22	0,068	± 0,103
	23	0,129	± 0,066
	24	0,191	± 0,077

İncelenen dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Al miktarı Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geçmişten günümüze yaklaştıkça hayvan kemiklerindeki Al miktarının azalma gösterdiği görülmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Al miktarı.

Dönem	Al miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	0,645	± 0,233
Erken Bizans	0,430	± 0,030
Bizans	0,259	± 0,115

Elde edilen sonuçların kemik türlerine göre ortalamalarına bakıldığında en yüksek Al oranının boynuz kemiğinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.3). Boynuz kemiğinden sonraki en yüksek Al oranı omurga kemiklerindedir. İncelenen hayvan kemiği örneklerinde en düşük Al oranı uzun kemik örneklerinde tespit edilmiştir.



Şekil 4.3 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Al miktarı (%).

4.2.2 Kalsiyum

Kalsiyum vücutta hayati önem taşıyan elementlerden bir tanesidir. Ca kemiklerin yapıtaşı olarak bilinen elementtir ve vücuttaki kalsiyumun %99'u kemik ve dişlerde depolanır (Dermience ve diğ, 2015; Brody, 1999). Kalsiyum kemik yapısına katılmasının yanısıra kan değerlerinde, kasların kasılmasında ve vücut fonksiyonlarının yerine getirilmesinde de önemli bir rol oynar. Geçmişte yapılan araştırma çalışmalarına göre arkeolojik kemiklerde kalsiyum oranı %26-%38 oranında değişmektedir (Allmäe ve diğ, 2012). Bu veriler ışığında incelenen hayvan buluntuları kemiklerindeki Ca konsantrasyonuna bakıldığında, incelenen kemiklerin çok büyük bir kısmındaki Ca oranının bu aralığın üzerinde kaldığı görülmektedir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Ca miktarı.

Dönem	Örnek No	Ca miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1	52,224	± 1,162
	4	49,207	± 0,857
	7	44,470	± 0,630
	9	45,270	± 1,575
	10	17,799	± 1,416
	18	42,472	± 2,154
	19	50,482	± 1,811
	20	52,384	± 2,023
	21	33,778	± 2,236
	25	53,366	± 1,693
	26	48,995	± 1,314
	27	50,902	± 1,139
	28	51,145	± 1,419
	29	34,344	± 1,135
Erken Bizans	2	46,835	± 0,874
	3	49,207	± 0,857
	6	50,494	± 0,834
	8	50,494	± 1,777
	13	43,927	± 1,489
Bizans	5	45,143	± 0,835
	11	43,624	± 2,313
	12	53,001	± 1,785
	14	27,323	± 1,423
	15	16,765	± 1,220
	16	54,813	± 1,722
	17	36,825	± 1,750
	22	30,838	± 1,888
	23	52,142	± 1,165
	24	51,246	± 1,123

İncelenen dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Ca miktarı Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

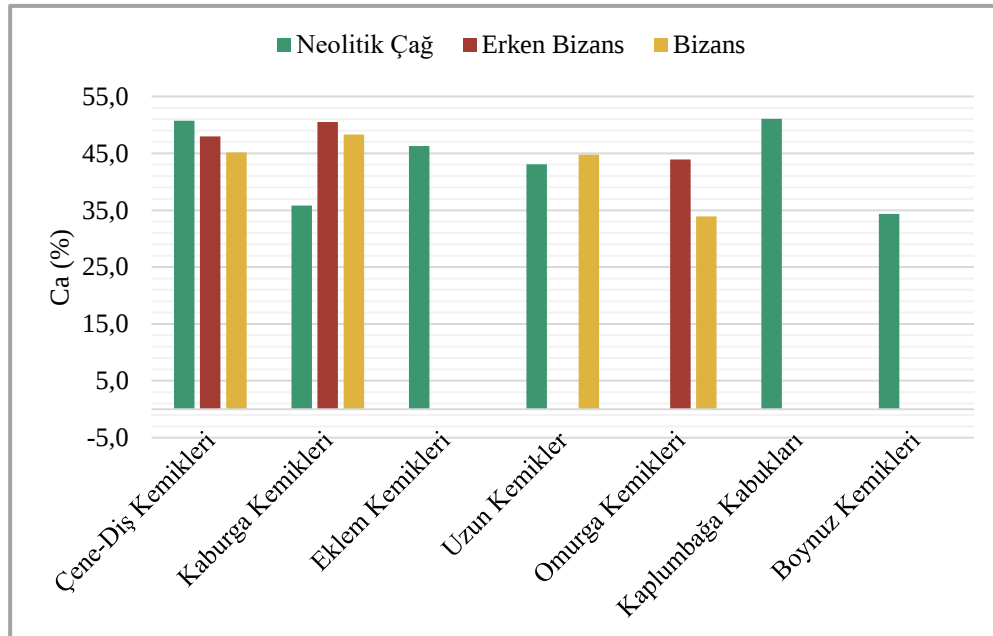
Elde edilen sonuçlara göre Neolitik Çağdan Erken Bizans Dönemine geçişte incelenen hayvan kemiklerindeki Ca miktarının arttığı, Erken Bizans Döneminden Bizans Dönemine geçişte ise azalma gösterdiği görülmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Ca miktarı.

Dönem	Ca miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	44,774	± 1,468
Erken Bizans	47,681	± 1,166
Bizans	41,172	± 1,522

Elde edilen sonuçların kemik türlerine göre ortalamalarına bakıldığında en yüksek Ca oranının çene-diş kemiklerinde olduğu gözlenmiştir.

İncelenen hayvan kemiği örneklerinde en düşük Ca oranı boynuz örneğinde tespit edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Ca miktarı (%).

4.2.3 Potasyum

Potasyum, hayvan vücudunda en fazla bulunan elementlerden bir tanesidir. Hayvanlarda K, ana hücre içi katyondur ve büyük ölçüde ozmotik basıncın ve asit-baz dengesinin korunmasında rol almaktadır (National Research Council, 2003). Beslenmeyle vücuda

potasyum alımı ve kemik sağlığı ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalar potasyumun hipertansiyon, osteoporoz ve kemik kırılabilirliği üzerindeki negatif etkisini ortaya koymaktadır (Weaver, 2013).

İncelenen hayvan kemiği örneklerinde tespit edilen K miktarı Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : İncelenen hayvan kemiklerindeki K miktarı.

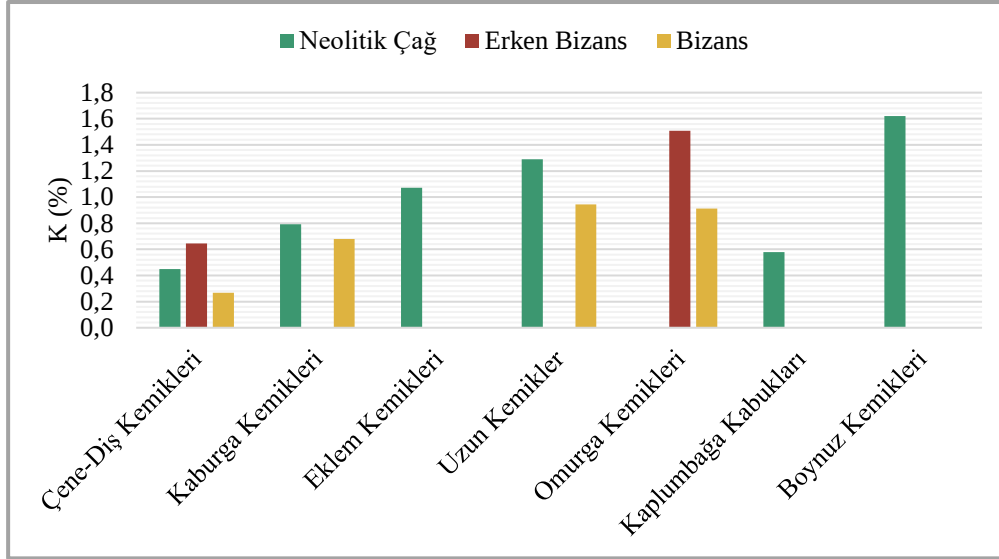
Dönem	Örnek No	K miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1	0,632	± 0,136
	4	0,268	± 0,067
	7	0,616	± 0,079
	10	0,970	± 0,342
	18	0,898	± 0,331
	19	1,247	± 0,303
	20	1,893	± 0,410
	21	0,689	± 0,335
	25	0,491	± 0,173
	26	0,897	± 0,189
	27	0,473	± 0,117
	28	0,459	± 0,143
	29	1,620	± 0,259
Erken Bizans	2	0,780	± 0,120
	3	0,650	± 0,123
	6	0,509	± 0,091
	13	1,507	± 0,293
Bizans	5	0,267	± 0,068
	11	0,656	± 0,300
	12	0,704	± 0,220
	14	0,124	± 0,100
	15	1,139	± 0,328
	16	1,318	± 0,228
	17	1,066	± 0,312
	22	0,944	± 0,345

İncelenen örneklerde bulunan K miktarı dönemlere göre kıyaslandığında, Neolitik Çağdan Erken Bizans dönemine gelen süreçte hayvan kemiklerindeki K miktarında önemli bir değişim olmamıştır, ancak Erken Bizans döneminden Bizans dönemine geçişte ufak bir düşüş yaşanmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama K miktarı.

Dönem	K miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	0,858	± 0,221
Erken Bizans	0,862	± 0,156
Bizans	0,777	± 0,237

Elde edilen sonuçların kemik türlerine göre ortalamalarına bakıldığında en yüksek K oranının Neolitik Çağa ait boynuz kemiği örneğinde olduğu görülmektedir. İncelenen hayvan kemiği örneklerinde en düşük K oranının ise Bizans dönemine ait çene-diş kemiklerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama K miktarı (%).

4.2.4 Magnezyum

Magnezyum vücutta hayati önem taşıyan 11 minerallerden birisidir. Vücut kendi başına bu minerali üretemediği için dışarıdan alınması gerekir. Magnezyum toprakta ve deniz suyunda bulunur. Topraktaki magnezyum bitkiler tarafından alınır ve hayvanların vücuduna su ve bitkisel kaynaklı beslenme ile geçer (Görmüş ve Ergene, 2004). Hücre içi olarak, Mg birçok fizyolojik fonksiyon için hayati öneme sahiptir. Her şeyden önce Mg, hücrelerdeki ana enerji kaynağı olan ATP için temeldir. Ayrıca, Mg, lipid, protein ve nükleik asit sentezinde yer alan yüzlerce enzimin kofaktörüdür (Castiglioni ve diğ, 2013). Mg vücutta sinir sistemi, kas sistemi ve güçlü kemiklerde önemlidir. Sebze ve meyvelerde hayli fazla bulunan Mg, alkali ortam oluşturarak Ca atılımının önüne geçer ve kemik yoğunluğunu artırır. Mg eksikliğinde majör depresyon, zihinsel hastalıklar, IQ kaybı, ve bağımlılık gibi bozukluklar ortaya çıkabilir (İleri, 2015).

Farklı türler üzerinde yapılan araştırmalarda Mg eksikliğinin osteoporozu tetiklediği görülmüştür. Mg eksikliği olan hayvanların kemikleri zayıf ve kırılmandır (Castiglioni ve diğ, 2013).

İncelenen hayvan kemiği örneklerinde tespit edilen Mg miktarı Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Mg miktarı.

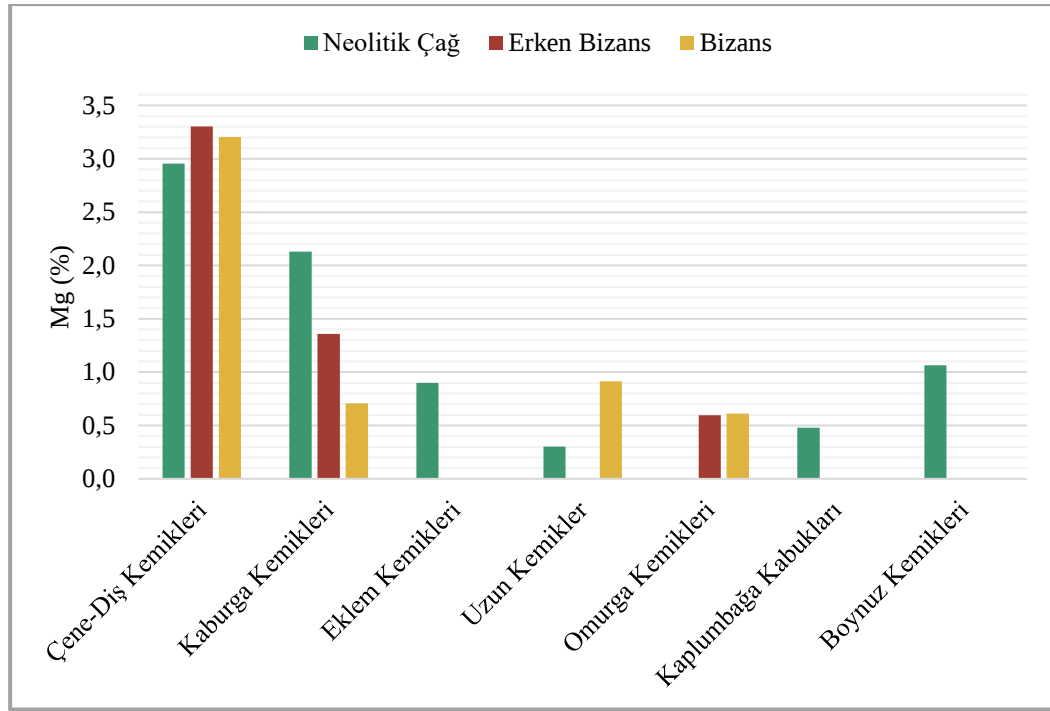
Dönem	Örnek No	Mg miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1	2,099	± 0,256
	4	3,813	± 0,259
	7	2,674	± 0,164
	9	1,583	± 0,311
	19	0,898	± 0,261
	21	0,302	± 0,235
	25	0,896	± 0,240
	26	0,561	± 0,151
	27	0,063	± 0,043
	28	0,398	± 0,134
	29	1,065	± 0,212
Erken Bizans	2	2,078	± 0,202
	3	3,782	± 0,301
	6	4,045	± 0,258
	8	1,359	± 0,301
	13	0,596	± 0,186
Bizans	5	3,204	± 0,232
	11	0,609	± 0,303
	12	0,807	± 0,236
	14	0,016	± 0,038
	15	0,178	± 0,143
	16	0,774	± 0,221
	17	1,483	± 0,392
	22	0,207	± 0,173
	23	1,840	± 0,239
	24	0,698	± 0,139

İncelenen örneklerde bulunan Mg miktarı dönemlere göre kıyaslandığında, Neolitik Çağdan Erken Bizans dönemine gelen süreçte hayvan kemiklerindeki Fe miktarında % 55 oranında artış gözlenmiş, ancak Erken Bizans döneminden Bizans dönemine geçişte keskin bir düşüş yaşanmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Mg miktarı.

Dönem	Mg miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1,104	± 0,206
Erken Bizans	2,372	± 0,249
Bizans	0,982	± 0,211

Elde edilen sonuçların kemik türlerine göre ortalamalarına bakıldığında en yüksek Mg oranının çene-diş kemiklerinde olduğu gözlenmektedir. İncelenen hayvan kemiği örneklerinde en düşük Mg oranlarının ise Neolitik ait uzun kemikler ve kaplumbağa kabuklarında olduğu görülmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Mg miktarı (%).

4.2.5 Sodyum

Sodyum, hücre dışı sıvılarda ana katyondur (Soetan ve diğ, 2010). Sodyumun hayvan vücudundaki ana rolü, ozmotik basıncın düzenlenmesi ve asit-baz dengesinin sürdürülmesi olmasına rağmen, aynı zamanda kas irritabilitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir ve karbonhidrat emiliminde özel bir rol oynar (Url-8). Herhangi bir enzimin yapısına katılmayan Na, klor ile NaCl tuzunu oluşturur (Brody, 1999).

İncelenen hayvan kemiği örneklerindeki Na miktarı Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Na miktarı.

Dönem	Örnek No	Na miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1	6,505	± 0,410
	4	10,006	± 0,387
	7	11,501	± 0,316
	9	4,437	± 0,467
	18	0,393	± 0,199
	20	1,241	± 0,299
	21	0,587	± 0,289
	25	1,999	± 0,316
	26	1,266	± 0,201
	27	1,704	± 0,197
	28	5,131	± 0,434
	29	2,410	± 0,282

Çizelge 4.9 (devam): İncelenen hayvan kemiklerindeki Na miktarı.

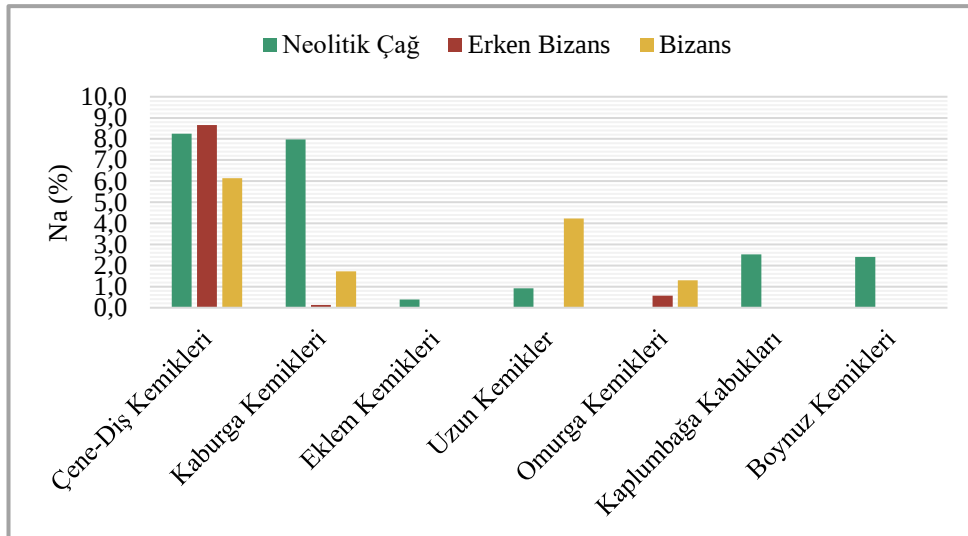
Dönem	Örnek No	Na miktarı (%)	Hata (2σ)
Erken Bizans	2	5,361	± 0,293
	3	8,809	± 0,421
	6	11,824	± 0,412
	8	0,124	± 0,082
	13	0,578	± 0,161
Bizans	5	6,136	± 0,288
	11	1,774	± 0,460
	12	1,686	± 0,303
	15	0,751	± 0,262
	16	0,703	± 0,186
	17	2,463	± 0,450
	22	0,851	± 0,311
	23	3,888	± 0,312
	24	7,960	± 0,428

İncelenen hayvan buluntularında dönemlere göre kıyaslama yapıldığında kemiklerdeki Na miktarının Neolitik Çağdan Erken Bizans dönemine geçişte %70 oranında arttığı, ancak Erken Bizans döneminden Bizans dönemine geçişte %55 oranında azaldığı gözlenmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 : Dönemlere göre kemiklerdeki ortalama Na miktarı.

Dönem	Na miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	3,932	± 0,316
Erken Bizans	5,339	± 0,273
Bizans	2,912	± 0,333

Elde edilen sonuçların kemik türlerine göre ortalamaları Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Na miktarı (%).

Elde edilen sonuçların kemik türlerine göre ortalamalarına bakıldığında en yüksek Na oranlarının çene-diş kemiklerinde olduğu, en düşük Na oranlarının ise Neolitik ait eklem kemiklerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).

4.2.6 Fosfor

Fosfor hayvan vücudunda kalsiyumdan sonra en yüksek miktarda bulunan elementtir. Fosfor iskelet büyümesi ve diş gelişiminde büyük rol oynadığı gibi vitamin ve enzim aktiviteleri gibi metabolik fonksiyonların yerine getirilmesi için önemli bir yer teşkil etmektedir. Vücutta yeterli miktarda fosfor bulunmazsa mevcut şekerin oksitlenip yakılması ve organizmaya enerji sağlanması mümkün olmaz (Olgun ve Ünal, 1983). İncelenen hayvan kemiği örneklerinde tespit edilen P miktarı Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : İncelenen hayvan kemiklerindeki P miktarı.

Dönem	Örnek No	P miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1	23,365	± 0,897
	4	21,143	± 0,644
	7	16,611	± 0,436
	9	20,235	± 1,194
	10	2,881	± 0,665
	18	14,122	± 1,434
	19	22,340	± 1,375
	20	23,057	± 1,549
	21	11,239	± 1,524
	25	21,804	± 1,243
	26	19,840	± 0,950
	27	21,415	± 0,845
	28	19,189	± 0,990
	29	10,601	± 0,680
Erken Bizans	2	20,680	± 0,678
	3	22,245	± 0,776
	6	20,665	± 0,625
	8	17,780	± 0,510
	13	14,789	± 0,959
Bizans	5	15,363	± 0,546
	11	18,726	± 1,792
	12	20,095	± 1,255
	14	10,501	± 1,055
	15	5,622	± 0,832
	16	9,979	± 0,811
	17	19,256	± 1,401
	22	11,330	± 1,364
	23	22,991	± 0,895
	24	19,573	± 0,795

İncelenen hayvan buluntularında dönemlere göre kıyaslama yapıldığında kemiklerdeki P miktarının Neolitik Çağdan Erken Bizans dönemine geçişte arttığı, Erken Bizans döneminden Bizans dönemine geçişte ise azaldığı gözlenmiştir (Çizelge 4.12).

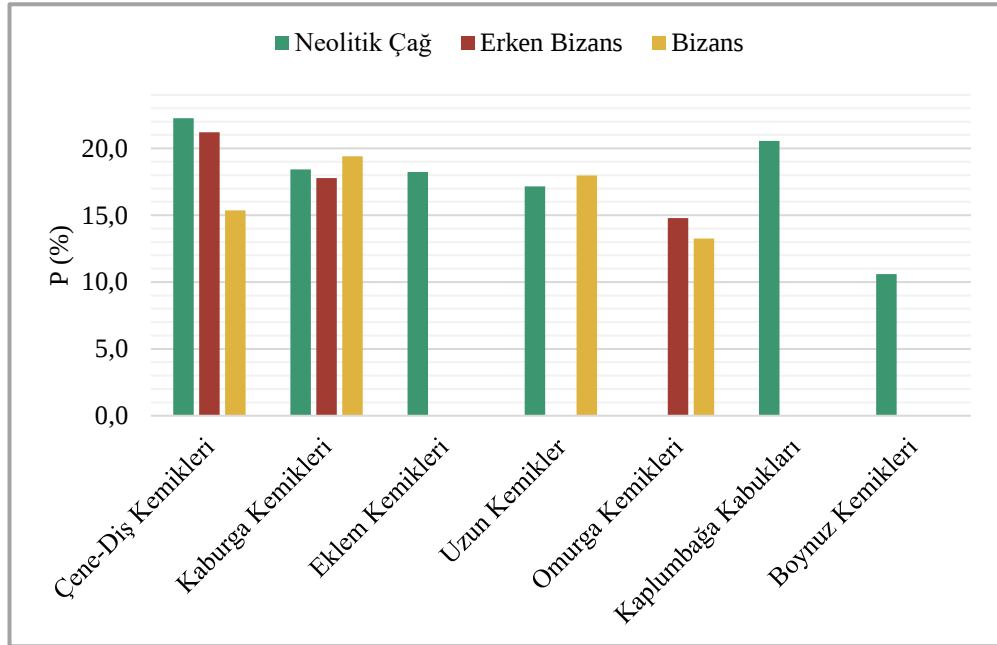
10 ve 15 numaralı örnekte ölçüm hatası olabileceği dikkate alınarak hesaplamalara katılmamıştır.

Çizelge 4.12 : Dönemlere göre ortalama P miktarı.

Dönem	P miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	18,843	± 1,058
Erken Bizans	19,231	± 0,709
Bizans	16,423	± 1,101

Günümüzde yaşayan memeli hayvanların boynuz kemiklerindeki P miktarı %6-7 arasında, çene ve diş kemiklerinde %11-14 arasında, uzun kemiklerde ise %10-11 arasındadır (Buddhachat ve diğ, 2016).

İncelenen hayvan kemiklerinde tespit edilen P miktarı günümüzde yaşayan memeli hayvanlarla kıyaslandığında incelenen örneklerdeki P miktarının bu aralıktaki değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.83).



Şekil 4.8 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama P miktarı (%).

4.2.7 Silisyum

Silisyum hayvanlarda kemik gelişiminde görev alan elementlerden biridir. Si kemiğin mineralizasyon işleminde yer alırken, aynı zamanda kemik ve kıkırdak kollajen matrisinin oluşumunda da önemli rol oynar. Bu matris, kemik ve kıkırdak dokularının kırılma ve hasara karşı duyarlılığını önlemek için gereklidir (Nielsen, t.y.).

Fosil kemiklerde silisyumun kemikteki boşlukları doldurduğu görülmüştür.

İncelenen hayvan kemiği örneklerinde tespit edilen Si miktarı Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 : İncelenen hayvan kemiklerindeki Si miktarı.

Dönem	Örnek No	Si miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	1	0,711	± 0,163
	4	1,210	± 0,159
	7	5,052	± 0,248
	9	4,508	± 0,581
	10	7,610	± 1,096
	18	4,005	± 0,793
	20	1,864	± 0,462
	21	1,689	± 0,608
	25	1,896	± 0,382
	26	3,880	± 0,438
	27	1,776	± 0,252
	28	3,253	± 0,423
Erken Bizans	29	15,463	± 0,872
	2	0,401	± 0,098
	3	0,156	± 0,067
	6	1,329	± 0,163
	8	3,056	± 0,510
Bizans	13	10,712	± 0,856
	5	2,579	± 0,230
	12	2,250	± 0,433
	14	0,741	± 0,287
	15	7,094	± 0,965
	16	1,717	± 0,342
	17	14,125	± 1,283
	23	0,481	± 0,134
	24	2,064	± 0,266

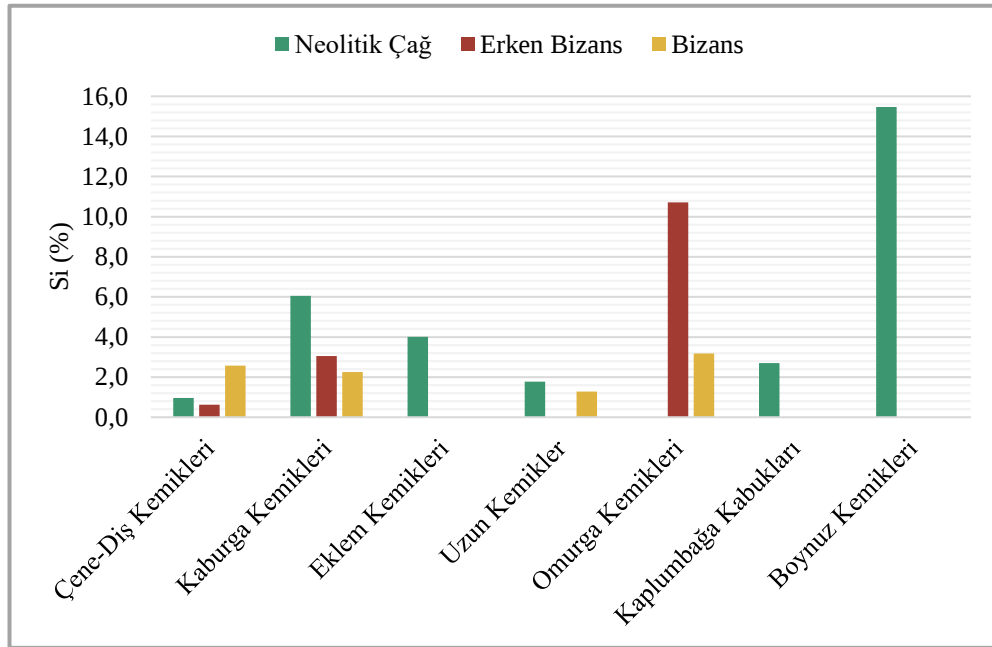
İncelenen hayvan buluntularında tespit edilen ortalama Si miktarı Çizelge 4.28'de verilmiştir. 13, 17 ve 29 numaralı örneklerde ölçüm hatası olabileceği dikkate alınarak hesaplamalara katılmamıştır.

Elde edilen verilere göre Neolitik Çağda yaşayan hayvan kemiklerinde tespit edilen ortalama silisyum miktarı Erken Bizans ve Bizans dönemine göre çok daha fazladır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14 : Dönemlere göre ortalama Si miktarı.

Dönem	Si miktarı (%)	Hata (2σ)
Neolitik Çağ	3,121	± 0,467
Erken Bizans	1,235	± 0,209
Bizans	2,418	± 0,379

Elde edilen sonuçların kemik türlerine göre ortalamalarına bakıldığında her üç döneme ait kaburga kemiklerinde tespit edilen Si miktarında azalma görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Dönemlere göre kemik türlerindeki ortalama Si miktarı (%).

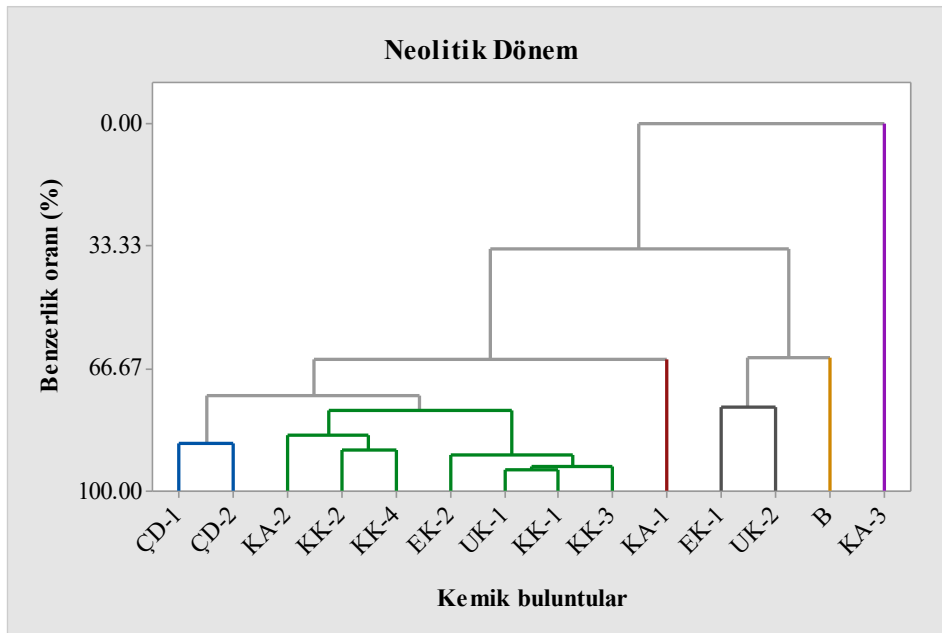
4.3 İstatistiksel Analiz Sonuçları

Şekil B1-6'da farklı kemik buluntu türleri için tüm belirlenen elementlerin Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiş olan sonuçları yer almaktadır. İstatistiksel analizlere göre veriler nonparametriklerdir. Buluntular arasında her element için konsantrasyon birikimi açısından ($p > 0.05$) istatistiksel anlamlı bir fark belirlenmemiştir.

4.4 Kümeleme Analizi Sonuçları

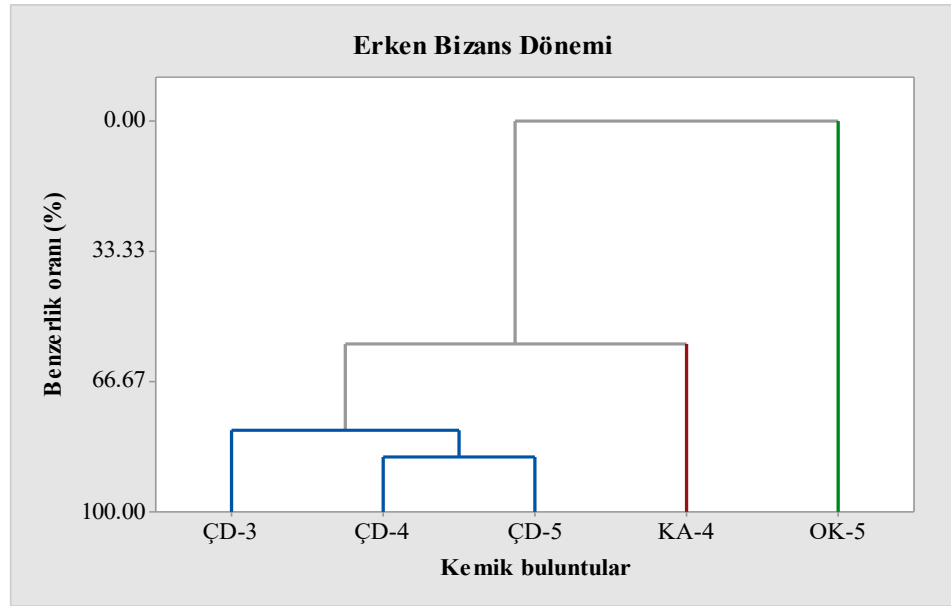
Buluntu örneklerinin istatistiksel analizlerini yapmak için Minitab 17.0 yazılımıyla incelenen dönemdeki örneklerdeki tür sayısı dikkate alınarak, o sayıda hiyerarşik kümeleme yapılmıştır.

Şekil 4.10'da Neolitik Çağ buluntularının 6 tür kemik içermesi nedeniyle belirlenmiş tüm elementler için 6 adet kümeleme oluşmuş dendrogramı yer almaktadır. Sonuçlara göre benzerlik oranı en yüksek olan (%93,97 – 63,57) ÇD-1, ÇD-2, KA-2, KK-2, KK-4, EK-2, UK-1, KK-1, KK-3, KA-1, EK-1, UK-2 ve B kodlu buluntuların aynı kümede yer alması dikkate alındığında, bu örneklerin aynı tür canlıya ait kemikler olduğu söylenebilir. KA-3 buluntusu ile diğer tüm dönem buluntularının benzerlik oranlarının sıfır olması, bu kemikteki element konsantrasyonlarının dağılımının incelen örneklerle hiçbir benzerliğin olmadığını göstergesidir.



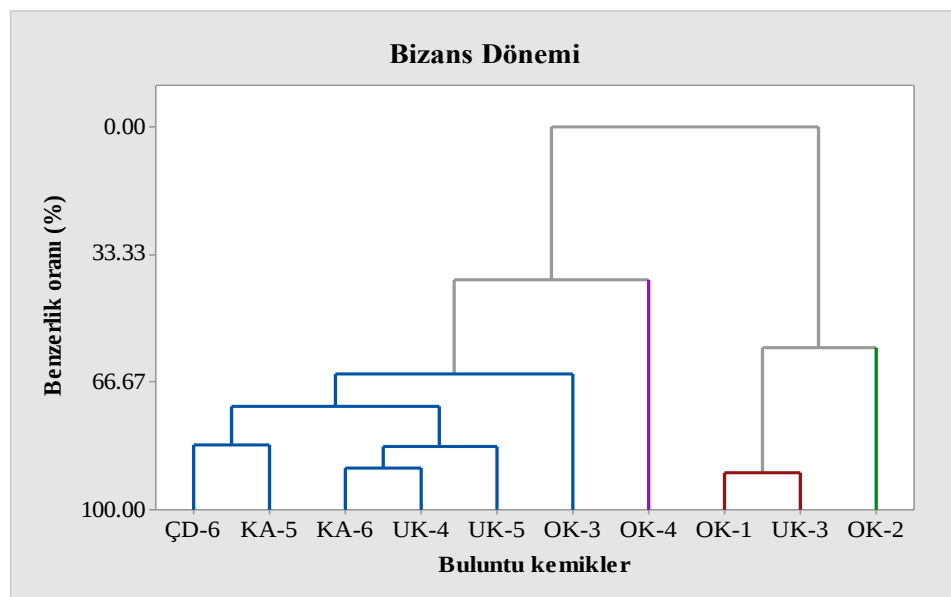
Şekil 4.10 : Neolitik Çağa ait hayvan buluntularının dendrogramı.

Şekil 4.11'de Erken Bizans dönemi buluntularının üç tür kemik içermesi nedeniyle, belirlenmiş tüm elementler için 3 adet kümeleme oluşturulmuş dendrogramı yer almaktadır. Sonuçlara göre benzerlik oranı en yüksek olan (%86.09 - 79.24) ÇD-3, ÇD-4 ve ÇD-5 kodlu buluntuların aynı kümede yer alması dikkate alındığında, aynı tür canlıya ait kemikler olduğu söylenebilir. OK-5 ile diğer tüm dönem buluntularının benzerlik oranlarının sıfır olması, bu kemikteki element konsantrasyonlarının dağılımının incelen örneklerle hiçbir benzerliğin olmadığını göstergesidir.



Şekil 4.11 : Erken Bizans dönemine ait hayvan buluntularının dendogramı.

Şekil 4.12’de Bizans dönemi buluntularının buluntularının dört tür kemik içermesi nedeniyle, belirlenmiş tüm elementler için 4 adet kümeleme oluşturulmuş dendrogramı yer almaktadır. Sonuçlara göre benzerlik oranı en yüksek olan (%90.37 – 64.32) ÇD-6, KA-5, KA-6, UK-4, UK-5, OK-3, OK-1 ve UK-3 kodlu buluntuların aynı grupta yer alması dikkate alındığında, aynı tür canlıya ait kemikler olduğu söylenebilir. OK-2 ve OK-4’ün de diğer tür canlıyı temsil ettiği söylenebilir. Diğer bir sonuç da, ÇD-6, KA-5, KA-6, UK-4, UK-5, OK-1, UK-3, OK-2 farklı tür kemiklerdeki element konsantrasyonlarının dağılımının benzerlik (%64.32) gösterdiğiidir.



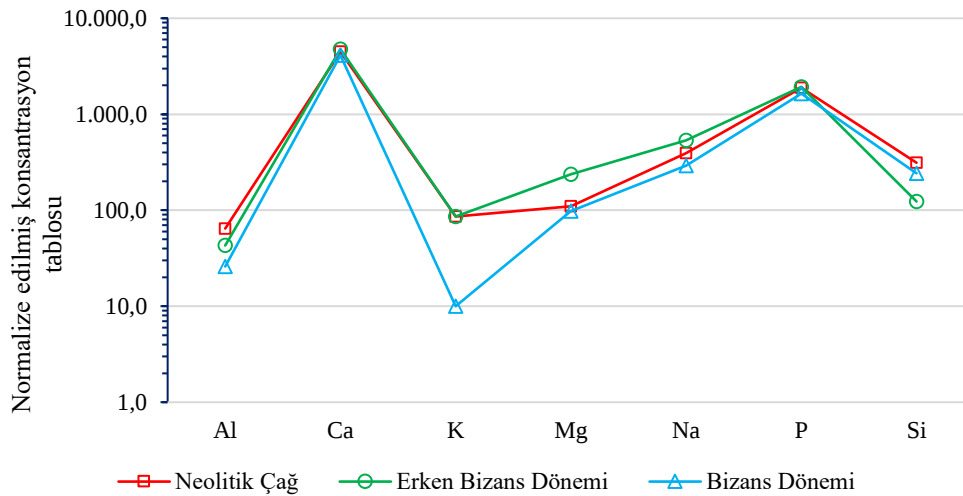
Şekil 4.12 : Bizans dönemine ait hayvan buluntularının dendogramı.

5. TARTIŞMA VE YORUMLAR

EDXRF yöntemi ile Yenikapı kazılarında bulunan Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemlerinde ait hayvan kemiği örneklerinde belirlenen Al, Ca, K, Mg, Na, P ve Si elementlerinin dönemlere göre değişimi tespit edilmiştir. Farklı dönemlere ait buluntulardaki element konsantrasyonlarının farklı olması; o dönemde yaşayan hayvanların beslenme şekilleri, doğa koşulları, genetik özellikleri gibi parametrelerle açıklanabilir. Bu bilgiler ışığında Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans döneminde yaşayan hayvanların kemik yoğunluğu, beslenme alışkanlıkları, olası hastalıkları ve çevresel etkilerden etkilenme durumları hakkında tahmin yürütmek mümkün olmuştur.

5.1 Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans Dönemi Hayvan Kemiklerinin Parmak İzi

Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemine ait hayvan kemiklerinin elementel konsantrasyonlarını karşılaştırmak amacıyla kimyasal parmak izi grafikleri oluşturulmuştur (Steinhauser ve diğ, 2007). Bu kapsamda oluşturulan grafikte kemik örneklerinde bulunan elementlerin gösterildiği x-ekseni lineer ölçektedir, y-ekseni ise referans değer ile normalize edilmiş logaritmik değerler arasındadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemi kemiklerinin kimyasal parmak izi.

Neolitik Çağ ve Erken Bizans dönemlerine ait hayvan kemiklerinin elementel konsantrasyonları karşılaştırıldığında, Neolitik Çağdan Erken Bizans dönemine geçiş sürecinde kemiklerde Ca, K, Mg, Na ve P elementlerinin konsantrasyonu artarken; Al ve Si elementlerinin konsantrasyonunun azaldığı gözlenmiştir.

Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait hayvan kemiği buluntularının elementel konsantrasyonları karşılaştırıldığında ise, Erken Bizans döneminden Bizans dönemine geçiş sürecinde kemiklerde Si konsantrasyonu artarken; Al, Ca, K, Mg, ve P konsantrasyonunda azalma olduğu gözlenmiştir.

5.2 Kemiklerde Ca/P Oranının Değişimi

Hayvan kemiklerinde bulunan kalsiyum ve fosfor birbirleriyle yakından ilişkilidir. Kemiklerdeki Ca/P oranının göz önünde bulundurulması gerekir, çünkü bu oran kemik gelişimi hakkında bilgi verir (Akpoilih ve diğ, 2016). Bu bilgilere dayanarak Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemine ait kemiklerdeki Ca/P oranı hesaplanmıştır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 : Ca/P oranı.

Dönem	Örnek No	Ca miktarı (ppm)	P miktarı (ppm)	Ca/P oranı
Neolitik Çağ	1	522240	233650	2,24
	4	492070	211430	2,33
	7	444700	166110	2,68
	9	452700	202350	2,24
	10	177990	28810	6,18
	18	424720	141220	3,01
	19	504820	223400	2,26
	20	523840	230570	2,27
	21	337780	112390	3,01
	25	533660	218040	2,45
	26	489950	198400	2,47
	27	509020	214150	2,38
	28	511450	191890	2,67
Erken Bizans	29	343440	106010	3,24
	2	468350	206800	2,26
	3	487500	222450	2,19
	6	483990	206650	2,34
	8	504940	177800	2,84
	13	439270	147890	2,97

Çizelge 5.1 (devam): Ca/P oranı.

Dönem	Örnek No	Ca miktarı (ppm)	P miktarı (ppm)	Ca/P oranı
Bizans	5	451430	153630	2,94
	11	436240	187260	2,33
	12	530010	200950	2,64
	14	273230	105010	2,60
	15	167650	56220	2,98
	16	548150	99790	5,49
	17	368250	192560	1,91
	22	308380	113300	2,72
	23	521420	229910	2,27
	24	512460	195730	2,62

Çizelge 5.2'deki gibi her üç döneme göre Ca/P oranı kıyaslandığında Neolitik Çağdan Erken Bizans dönemine doğru ortalama Ca/P oranının sabit kaldığı, Erken Bizans döneminden Bizans dönemine geçişte ise arttığı gözlenmiştir. 10 16 ve 17 numaralı örneklerde çıkan sonuçlardaki sapmalar nedeniyle, bu sonuçlarda hata olabileceği göz önünde bulundurularak değerlendirmeye alınmamıştır.

Çizelge 5.2 : İncelenen dönemlerdeki ortalama Ca/P oranı.

Dönem	Ca miktarı (ppm)	P miktarı (ppm)	Ca/P oranı
Neolitik Çağ	468490	111320	2,49
Erken Bizans	476810	192320	2,48
Bizans	451560	174430	2,59

Günümüz hayvan kemiklerinde yapılan bir çalışmada memelilerin diş ve kemik yapısındaki Ca/P oranı 2,46-2,66 olarak belirtilmiştir (Buddhachat ve diğ, 2016). İncelenen hayvan kemikleri ile bu oranlar kıyaslandığında günümüzde yaşayan sağlıklı hayvan kemiklerindeki Ca/P oranının, incelenen dönemlerle benzer olduğu görülmektedir. Bu sebeple Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemine ait incelenen hayvanların kemik gelişiminin günümüze göre benzer olduğu yorumu yapılabilir.

10 ve 16 numaralı örneklerdeki yüksek Ca/P oranına bakılırsa bu kemiklerin çok daha gelişmiş olduğu ya da kemiklerin diyajenize hale geldiği söylenebilir.

5.3 Kemiklerde Al, Ca, K, Mg, Na, P ve Si Konsantrasyonunun Önemi

Günümüzde yaşayan memeli hayvan türleri için yapılan araştırmalarda sağlıklı kemiklerdeki ortalama Al miktarı %0,813 olarak belirtilmiştir (Buddhachat, 2016). Bu değerlere göre yapılan karşılaştırmada Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemi kemiklerinde elde edilen ortalama sonucun bu değer altında kaldığı gözlenmektedir. Ancak geçmişte günümüz memeli hayvan kemikleri ile yapılan çalışmalarda tespit edilen Al miktarı ile benzerlik göstermektedir. İncelenen kemiklerdeki Al miktarının düşük olduğu ve bu dönemlerde yaşayan hayvanlarda kemik yumuşaması veya herhangi bir sinir hastalığı riskinin düşük olduğu tahmin edilebilmektedir.

Kalsiyum, kemiklerin yapıtaşı olarak bilinmesinin yanısıra kasların çalışmasında ve vücut fonksiyonlarının yerine getirilmesinde de rol oynar (Samur, 2008). İncelenen hayvan buluntuları kemiklerindeki Ca konsantrasyonuna bakıldığında, bu dönemlerde yaşayan hayvanların kemiklerinin güçlü ve sağlıklı olduğu yorumu yapılabilir.

İncelenen hayvan kemiklerindeki K konsantrasyonuna bakılarak bu dönemlerde yaşayan hayvanlardaki kemik kırılabilirliği riskinin eşdeğer olduğu, ancak Bizans dönemine ait çene-diş kemiklerindeki kırılabilirlik riskinin daha yüksek olduğu tahmin edilebilir.

İncelenen hayvan kemiklerinde Erken Bizans dönemine ait kemiklerde bulunan Mg miktarının Neolitik Çağ ve Bizans dönemine kıyasla çok daha yüksek olduğu göz önünde bulundurularak, Erken Bizans döneminde yaşayan hayvanların diğer dönemlere göre sinir sisteminin, kas sisteminin ve kemiklerinin daha güçlü olduğu şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca, Neolitik Çağ ve Bizans dönemine ait incelenen hayvanların osteoporoz riskinin Erken Bizans dönemine göre daha yüksek olduğu tahmin edilebilir.

İncelenen hayvan kemiklerinde Erken Bizans dönemine ait hayvan kemiği örneklerinde bulunan Na konsantrasyonunun Neolitik Çağ ve Erken Bizans dönemine göre daha yüksek olduğu dikkate alınarak, Erken Bizans döneminde yaşayan hayvanların diğer dönemlere göre kemiklerinde asit-baz dengesinin daha iyi olduğu şeklinde tahmin yürütülebilir.

Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait hayvan kemiklerindeki fosfor konsantrasyonunun günümüz memeli hayvan kemiklerinde yapılan araştırmalara göre benzer değerlerde veya daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre bu

dönemlerde yaşayan hayvan kemiklerindeki P konsantrasyonunda bir anormali gözlenmediği tahmin edilebilir.

Neolitik Çağa ait hayvan kemiklerde tespit edilen Si oranının Erken Bizans ve Bizans dönemine kıyasla daha yüksek olması, bu dönemde yaşayan hayvanların kemiklerinin daha sağlam ve hasara dayanıklı olduğunun düşünülmesine yol açar.

5.4 İstatistiksel Analiz

EDXRF yöntemi ile elde edilen elementel analiz sonuçlarının istatistiksel analizi için kullanılan dendrogram grafikleri ve kümelemeler ile yararlı bilgiler elde edilmiştir. Dönemlere göre buluntular için elementel içerikleri baz alınarak yapılan kümelemeler ile birbirleriyle ilişkili kemik buluntuları belirlenmiştir ve benzerlik durumları değerlendirilmiştir.

Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilerek elde edilen sonuçlara göre, buluntular arasında her element için konsantrasyon birikimi açısından ($p>0.05$) istatistiksel anlamlı bir fark belirlenmemiştir.

Konuyla ilgili az sayıda çalışma olduğu gözönüne alınarak, bu çalışmanın, Yenikapı Metro ve Marmaray projeleri arkeolojik kazılarındaki Neolitik Çağ, Erken Bizans ve Bizans dönemlerine ait arkeolojik hayvan kemik buluntularını laboratuvar incelemeleri ve istatistiksel analizlerle destekleyerek İstanbul'un binlerce yıl önceki merak uyandıran tarihi ve hayvan buluntuları ile ilgili yapılacak arkeolojik çalışmalara hizmet edecek çalışmalardan biri olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akers, R. M.; Denbow, D. M.** (2013). *Anatomy and Physiology of Domestic Animals*, Second Edition, Wiley-Blackwell, 133-146.
- Akpoiloh, B. U.; Ajani, E. K.; Omitoyin, B. O.** (2016). Optimum Ca/P ratio and phytase for growth and bone mineralization in Juvenile *Clarias gariepinus* fed soya bean-based diet, *Journal of Aquaculture Research and Development*, 7(2). doi:10.4172/2155-9546.1000403.
- Akyl Erentürk, S.; Hacıyakupoğlu, S.; İleri, R. K.; Yankıömer, N.** (2018). Chemical patterns in sediments of ancient Theodosius Harbour (Istanbul), *Journal of Soils and Sediments*, 18(12):3423, 2018.
- Allmäe, R.; Limbo-Simovart, J.; Heapost, L.; & Verš, E.** (2012). The content of chemical elements in archaeological human bones as a source of nutrition research, *Papers on Anthropology*, 21, 27-49.
- Avcı, İ.** (2001). İstanbul'un tarihsel gelişim süreci içinde öne çıkan bir öge: Su, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 413(3), 25-26.
- Bertin, E. P.** (1984). *Inorganic Nutrients*, Second Edition, Academic Press.
- Brody, T.** (1999). *Secrets of the Past: Nuclear Energy Applications in Art & Archaeology*. New York, 11-13, 57-58.
- Brouwer, P.** (2010). *Theory of XRF*, Third Edition, PANalytical B.V. Almelo, 25-26.
- Bryan, J. C.** (2018). *Introduction to Nuclear Science*, Third Edition, CRC Press, 111.
- Buddhachat, K; Klinhom, S; Siengdee, P; Brown, J. L.; Nomsiri, R; Kaewmong, P.** (2016). Elemental Analysis of Bone, Teeth, Horn and Antler in Different Animal Species Using Non-Invasive Handheld X-Ray Fluorescence. *Plos One*, 11(5). doi: 10.1371/journal.pone.0155458.
- Budis, H.; Kalisinska, E.; Łanocha, N.; Kosik-Bogacka, D.** (2015). Concentrations of manganese, iron, and strontium in bones of the domestic dog (*Canis lupus familiaris*), *Turkish Journal of Veterinary Animal Sciences*, 39, 279-286.
- Cannata Andia, J. B.** (1996). Aluminium toxicity: its relationship with bone and iron metabolism, *Nephrol Dial Transplant*, 11(3), 69-73.
- Castiglioni, S.; Cazzaniga, A.; Albisetti, W.; Maier, J. A.** (2013). Magnesium and osteoporosis: Current state of knowledge and future research directions, *Nutrients*, 5(8), 3022-3033. doi:10.3390/nu5083022.
- Clark, K. K.** (1995). The later prehistoric and protohistoric dog: the emergence of canine diversity, *Archaeozoologia*, 7, 9-32.
- Cross, B. J.; Witherspoon, K.** (2003). Combined electron and X-ray induced microbeam XRF in the SEM. Erişim tarihi 1 Nisan 2019, Erişim adresi https://crossroadsscientific.com/uploads/3/5/5/2/35527645/_combined_electron_and_x-ray_induced_microbeam_xrf_in_the_sem.pdf

- Dermience, M.; Lognay, G.; Mathieu, F.; Goyens, P.** (2015). Effects of thirty elements on bone metabolism, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 32, 86-106.
- Dizman, S.** (2017). EDXRF spektrometresi kullanılarak Pileki Mağarası'ndan çıkarılan Pileki taşı ve toprak örneklerinde iz elementlerinin belirlenmesi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 47-56.
- Ellingham, S. T. D.; Thompson, T. J. U.; Islam, M.** (2018). Scanning electron microscopy-energy-dispersive x-ray (SEM/EDX): A rapid diagnostic tool to aid the identification of burnt bone and contested cremains. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 504-510. doi:10.1111/1556-4029.13541
- Ergene, A.** (1972). İz elementlerin bitki, hayvan ve insan hayatı bakımından önemi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(3).
- Ergün, N.** (2006). *Adana-Yüreören, Urfa-Teleilat ve Sivas-Ziyaretsuyu Kazılarında Ele Geçen Helenistik Döneme Ait Arkeolojik Buluntuların XRF Tekniği ile Değerlendirilmesi*; (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fewtrell, L.** (2014). Silver: Water disinfection and toxicity, *WHO Centre for Research into Environment and Health*, 1.
- Filiz, E.** (2007). *Doğal Kaynaklardan Elde Edilen Absorbanlarla Sulardan Ağır Metal Giderimi*; (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Goldstein, J. I.; Newbury, D. E.; Echlin, P.; Joy, D. C.; Roming, A. D.; Lyman, C. E.** (1992). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Second Edition, New York, NY: Plenum Press.
- Goodrich, R. D.; Garrett, J. E.** (1986). Sulfur in Agriculture, American Society of Agronomy.
- Gordon, R. F.** (1977). *Poultry Diseases*. Tindall, London.
- Görmüş, S.; Ergene, N.** (2004). Magnezyumun klinik önemi. *Genel Tıp Dergisi*, 14(2), 69-75.
- Guintard, C.; Lallemand, M.** (2003). Osteometric study of metapodial bones in sheep (*Ovis aries*, L.1758), *Annals of Anatomy*, 185, 537-583.
- Harcourt, R. A.** (1974). The dog in prehistoric and early historic Britain, *Journal of Archaeological Science*, 1, 151-175.
- Hassan, A. A.; Rylander, C.; Sandanger, T. M.; Brustad, M.** (2013). Copper, cobalt and chromium in meat, liver, tallow and bone marrow from semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.) in Northern Norway. *Food and Public Health*, 3(3), 154-160. doi:10.5923/j.fph.20130303.07.
- Hays, V. W.; Swenson, M. J.** (1985). *Dukes' Physiology of Domestic Animals*, Tenth Edition, 449-466.
- Jenkins, R.** (1999). *X-Ray Fluorescence Spectrometry*, Second Edition, John Wiley & Sons.

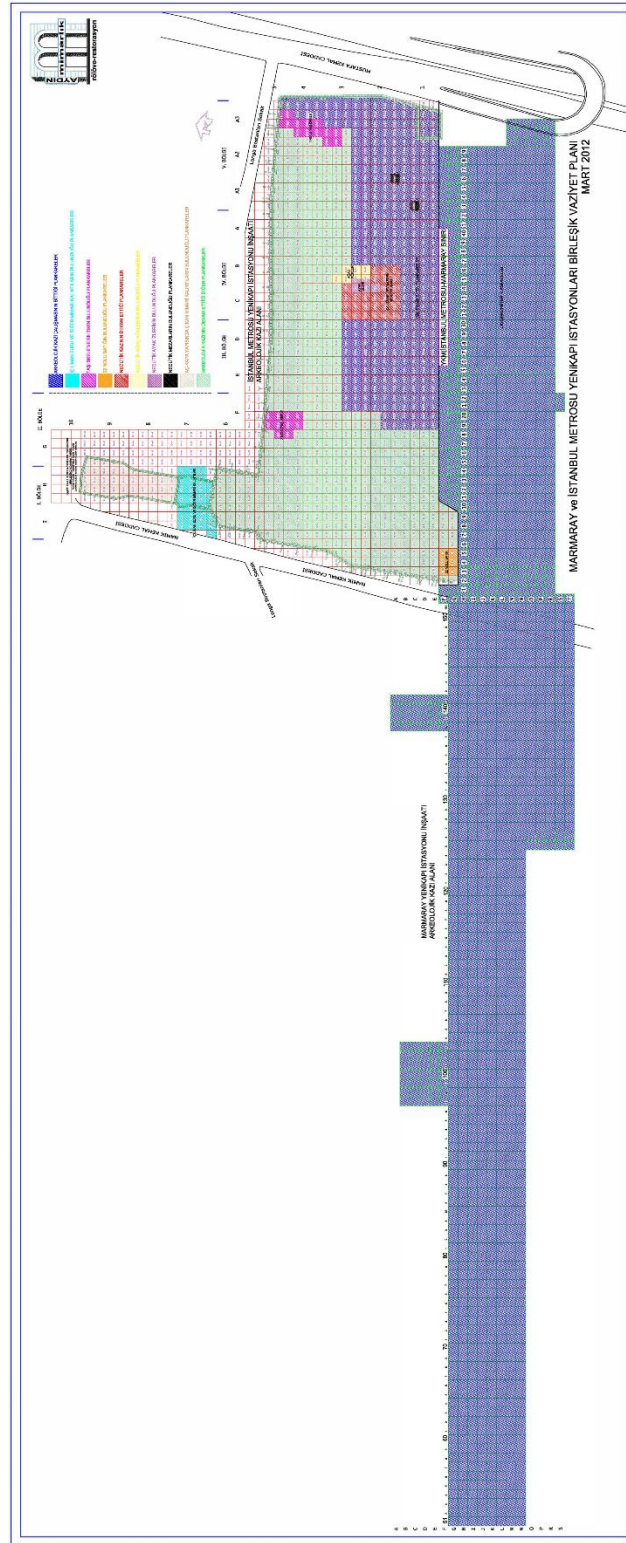
- Kenar, A.** (2015). Marmaray Projesi Kapsamında Yenikapı Kazılarında Ortaya Çıkarılan Osmanlı Keramikleri (15-17. Yüzyıl). *Medeniyet Sanat Dergisi*, 1, 1-2.
- Knoll, G. F.** (2010). *Radiation Detection and Measurement*, (4. Baskı). John Wiley & Sons.
- Margui, E.; Grieken, R. V.** (2013). *X-Ray Flourescence Spectrometry and Related Techniques: An Introduction*, Momentum Press, 9-10, 18.
- Marshall, J. L.** (1991). *Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray (SEM/EDX) Characterization of Solder Solderability and Reliability*, Chicago, IL: Springer, 173-224.
- McDonald, J. H.** (2007). *Handbook of Biological Statistics*, Third Edition, Baltimore, Sparky House Publishing.
- Mehmetoğlu, B.** (2008). *Tarihi Kent Merkezlerinde Metro Yapımı ve Arkeolojik Değerleri Koruma İlişkisi*; (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- National Research Council.** (2003). *Nutrient Requirements of Nonhuman Primates*, (2. Baskı). National Academies Press.
- Nielsen, B. D.** (t.y.). Silicon and equine bone health. Erişim tarihi 10 Nisan 2019, Erişim adresi <https://www.orgonosilica.com/img/cms/Scientific%20Studies%20USA/Silicon%20Bone%20Equine%20Nielsen.pdf>
- Olgun, H.; Ünal, S.** (1983). Hayvan beslemede fosfor. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 23, 61-64.
- Onar, V.** (2005). Estimating the body weight of dogs unearthed from the Van-Yoncatepe Necropolis in Eastern Anatolia, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29, 495-498.
- Onar, V.; Alpak, H.; Pazvant, G.; Armutak, A.; Gezer-İnce, N.; Kızıltan, Z.** (2013). A bridge from Byzantium to modern day Istanbul: An overview of animal skeleton remains found during metro and Marmaray excavations, *İstanbul Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 39(1), 1-8.
- Onar, V.; Armutak, A.; Belli, O.** (2002). Skeletal remains of dogs unearthed from the Van-Yoncatepe necropolises, *Journal of Osteoarchaeology*, 12, 317-334.
- Onar, V.; Belli, O.** (2005). Estimating the body weight of dogs unearthed from the Van-Yoncatepe Necropolis in Eastern Anatolia, *Revue de Médecine Vétérinaire*, 156, 53-60.
- Özal, T.A.** (2004). *Chemical Characterization of Sinopean Archaeological Common Ware*; (Yüksek Lisans Tezi). Bilkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özsait-Kocabaş, I.** (2018). The Yenikapı 12 shipwreck, a 9th century merchantman from the Theodosian Harbour in Istanbul, Turkey: construction and reconstruction, *The International Journal of Nautical Archaeology*, 47(2), 357-390.

- Parks, J. E.** (2015). The Compton effect – Compton scattering and gamma ray spectroscopy. Erişim tarihi 2 Şubat 2019, Erişim adresi <http://www.phys.utk.edu/labs/modphys/Compton%20Scattering%20Experiment.pdf>
- Pastacı, N.; Bahtiyar, N.; Karalük, S.; Gönül, R.; Or, M. E.; Dursun, Ş.; Barutçu, Ü. B.** (2010). Köpeklerde alüminyum toksikasyonunun Alzheimer hastalığı üzerine etkisi, *Tübbav Bilim Dergisi*, 3(3), 271-275.
- Peacock, M.** (2010). Calcium metabolism in health and disease, *Clinical Journal of American Society of Nephrol*, 5, 23-30.
- Price, C. T.; Koval, K. J.; Langford, J. R.** (2013). Silicon: A review of its potential role in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis. *Journal of International Endocrinology*, 2013, 1-6.
- Rauf, A.** (2014). Animal bone – A brief introduction. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(4), 1458-1464.
- Samur, G.** (2008). *Vitaminler, Mineraller ve Sağlığımız*. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Beslenme ve Fiziksel Aktiviteler Daire Başkanlığı, Ankara, 20-21.
- Shugar, A. N.; Mass, J. L.** (2012). *Handheld XRF for Art and Archaeology*. Leuven, 17-18, 379.
- Soetan, K. O.; Olaiya, C. O.; Oyewole, O. E.** (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants. *African Journal of Food Science*, 4(5), 200-222.
- Steinhauser, G.; Sterba, J. H.; Bichler, M.** (2007). Chemical fingerprints of pumice from Cappadocia (Turkey) and Kos (Greece) for archaeological applications, *Applied Radiation and Isotopes*, 65(5), 488-503.
- Stuart, B. H.** (2007). *Analytical Techniques in Material Conservation*. New York, John Wiley & Sons, 234-235.
- Tsoufanidis N., Landsberger S.,** (2010). Measurement and Detection of Radiation, Third Edition, Taylor and Francis, 636, New York.
- Ünal, S.; Akalın, S.** (2004). Demir eksikliği ve süt ürünlerinin demirce zenginleştirilmesi. *Gıda Dergisi*, 29(4), 317-323.
- Weaver, C. M.** (2013). Potassium and health. *Advances in Nutrition*, 4(3), 368-377. doi:10.3945/an.112.003533.
- Willard H.; Dean, J.; Merritt, Jr. L.; Settle, Jr. F.A.** (1981). *Instrumental Methods of Analysis*, Sixth Edition, Van Nostrand Co., New York, 339.
- Url-1** <<http://www.istanbulkulturturizm.gov.tr/TR-165066/tarihce.html>>, erişim tarihi 04.10.2018.
- Url-2** <https://www.science.mcmaster.ca/radgrad/images/6R06CourseResources/4RA34RB3_Lecture_Note_7_Semiconductor_Detectors.pdf>, erişim tarihi 08.04.2019.
- Url-3** <<http://www.astro.uwo.ca/~jlandstr/p359/writeup/mca.pdf>>, erişim tarihi 10.02.2019.

- Url-4** <<https://www.mee-inc.com/hamm/energy-dispersive-x-ray-spectroscopyeds>>, erişim tarihi 09.02.2019.
- Url-5** <<https://cfamm.ucr.edu/documents/eds-intro.pdf>>, erişim tarihi 09.02.2019.
- Url-6** <<http://www.process-sciences.com>>, erişim tarihi 03.04.2019.
- Url-7** <http://animalbiosciences.uoguelph.ca/~swatland/ch2_2.htm>, erişim tarihi 09.04.2019.
- Url-8** <<http://www.fao.org/3/ab470e/ab470e06.htm>>, erişim tarihi 07.04.2019.

EKLER

EK A: Vaziyet planı



Şekil A.1 : Yenikapı kazı alanı vaziyet planı (İstanbul Arkeoloji Müzeleri Müdürlüğü, 2014).

EK B : Kruskal-Wallis test sonuçları

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
UK-1	1	0.42900	4.0	0.71
UK-2	1	0.53600	5.0	1.41
UK-3	1	0.06800	1.0	-1.41
UK-4	1	0.12900	2.0	-0.71
UK-5	1	0.19100	3.0	0.00
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
UK-1	1	52.38	5.0	1.41
UK-2	1	33.78	2.0	-0.71
UK-3	1	30.84	1.0	-1.41
UK-4	1	52.14	4.0	0.71
UK-5	1	51.25	3.0	0.00
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
UK-1	1	1.8930000000	5.0	1.41
UK-2	1	0.6890000000	3.0	0.00
UK-3	1	0.9440000000	4.0	0.71
UK-4	1	0.0000000000	1.5	-1.06
UK-5	1	0.0000000000	1.5	-1.06
Overall	5		3.0	

H = 3.80 DF = 4 P = 0.434

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
UK-1	1	0.0000000000	1.0	-1.41
UK-2	1	0.3020000000	3.0	0.00
UK-3	1	0.2070000000	2.0	-0.71
UK-4	1	1.8400000000	5.0	1.41
UK-5	1	0.6980000000	4.0	0.71
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Şekil B.1 : Uzun kemik buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Na

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
UK-1	1	1.2410	3.0	0.00
UK-2	1	0.5870	1.0	-1.41
UK-3	1	0.8510	2.0	-0.71
UK-4	1	3.8880	4.0	0.71
UK-5	1	7.9600	5.0	1.41
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on P

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
UK-1	1	23.06	5.0	1.41
UK-2	1	11.24	1.0	-1.41
UK-3	1	11.33	2.0	-0.71
UK-4	1	22.99	4.0	0.71
UK-5	1	19.57	3.0	0.00
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on Si

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
UK-1	1	1.864000000	4.0	0.71
UK-2	1	1.689000000	3.0	0.00
UK-3	1	0.000000000	1.0	-1.41
UK-4	1	0.481000000	2.0	-0.71
UK-5	1	2.064000000	5.0	1.41
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Şekil B.1 (devam) : Uzun kemik buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	0.42200	2.0	-0.88
KA-2	1	0.50200	3.0	-0.29
KA-3	1	2.80900	6.0	1.46
KA-4	1	1.11800	5.0	0.88
KA-5	1	0.01700	1.0	-1.46
KA-6	1	0.78500	4.0	0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	44.47	3.0	-0.29
KA-2	1	45.27	4.0	0.29
KA-3	1	17.80	1.0	-1.46
KA-4	1	50.49	5.0	0.88
KA-5	1	43.62	2.0	-0.88
KA-6	1	53.00	6.0	1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	0.6160000000	3.0	-0.29
KA-2	1	0.0000000000	1.5	-1.17
KA-3	1	0.9700000000	6.0	1.46
KA-4	1	0.0000000000	1.5	-1.17
KA-5	1	0.6560000000	4.0	0.29
KA-6	1	0.7040000000	5.0	0.88
Overall	6		3.5	

H = 4.86 DF = 5 P = 0.434

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	2.6740000000	6.0	1.46
KA-2	1	1.5830000000	5.0	0.88
KA-3	1	0.0000000000	1.0	-1.46
KA-4	1	1.3590000000	4.0	0.29
KA-5	1	0.6090000000	2.0	-0.88
KA-6	1	0.8070000000	3.0	-0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Şekil B.2 : Kaburga kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	0.42200	2.0	-0.88
KA-2	1	0.50200	3.0	-0.29
KA-3	1	2.80900	6.0	1.46
KA-4	1	1.11800	5.0	0.88
KA-5	1	0.01700	1.0	-1.46
KA-6	1	0.78500	4.0	0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	44.47	3.0	-0.29
KA-2	1	45.27	4.0	0.29
KA-3	1	17.80	1.0	-1.46
KA-4	1	50.49	5.0	0.88
KA-5	1	43.62	2.0	-0.88
KA-6	1	53.00	6.0	1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	0.6160000000	3.0	-0.29
KA-2	1	0.0000000000	1.5	-1.17
KA-3	1	0.9700000000	6.0	1.46
KA-4	1	0.0000000000	1.5	-1.17
KA-5	1	0.6560000000	4.0	0.29
KA-6	1	0.7040000000	5.0	0.88
Overall	6		3.5	

H = 4.86 DF = 5 P = 0.434

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KA-1	1	2.6740000000	6.0	1.46
KA-2	1	1.5830000000	5.0	0.88
KA-3	1	0.0000000000	1.0	-1.46
KA-4	1	1.3590000000	4.0	0.29
KA-5	1	0.6090000000	2.0	-0.88
KA-6	1	0.8070000000	3.0	-0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Şekil B.2 (devam) : Kaburga kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
OK-1	1	0.2260	1.0	-1.41
OK-2	1	3.3960	4.0	0.71
OK-3	1	0.4340	2.0	-0.71
OK-4	1	4.8970	5.0	1.41
OK-5	1	3.2360	3.0	0.00
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
OK-1	1	27.32	2.0	-0.71
OK-2	1	16.77	1.0	-1.41
OK-3	1	54.81	5.0	1.41
OK-4	1	36.83	3.0	0.00
OK-5	1	43.93	4.0	0.71
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
OK-1	1	0.1240	1.0	-1.41
OK-2	1	1.1390	3.0	0.00
OK-3	1	1.3180	4.0	0.71
OK-4	1	1.0660	2.0	-0.71
OK-5	1	1.5070	5.0	1.41
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
OK-1	1	0.01600	1.0	-1.41
OK-2	1	0.17800	2.0	-0.71
OK-3	1	0.77400	4.0	0.71
OK-4	1	1.48300	5.0	1.41
OK-5	1	0.59600	3.0	0.00
Overall	5		3.0	

Şekil B.3 : Omurga kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Na

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
OK-1	1	0.0000000000	1.0	-1.41
OK-2	1	0.7510000000	4.0	0.71
OK-3	1	0.7030000000	3.0	0.00
OK-4	1	2.4630000000	5.0	1.41
OK-5	1	0.5780000000	2.0	-0.71
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on P

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
OK-1	1	10.501	3.0	0.00
OK-2	1	5.622	1.0	-1.41
OK-3	1	9.979	2.0	-0.71
OK-4	1	19.256	5.0	1.41
OK-5	1	14.789	4.0	0.71
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Kruskal-Wallis Test on Si

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
OK-1	1	0.7410	1.0	-1.41
OK-2	1	7.0940	3.0	0.00
OK-3	1	1.7170	2.0	-0.71
OK-4	1	14.1250	5.0	1.41
OK-5	1	10.7120	4.0	0.71
Overall	5		3.0	

H = 4.00 DF = 4 P = 0.406

Şekil B.3 (devam) : Omurga kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
EK-1	1	1.4270	2.0	1.00
EK-2	1	0.6110	1.0	-1.00
Overall	2		1.5	

H = 1.00 DF = 1 P = 0.317

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
EK-1	1	42.47	1.0	-1.00
EK-2	1	50.48	2.0	1.00
Overall	2		1.5	

H = 1.00 DF = 1 P = 0.317

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
EK-1	1	0.8980	1.0	-1.00
EK-2	1	1.2470	2.0	1.00
Overall	2		1.5	

H = 1.00 DF = 1 P = 0.317

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
EK-1	1	0.0000000000	1.0	-1.00
EK-2	1	0.8980000000	2.0	1.00
Overall	2		1.5	

H = 1.00 DF = 1 P = 0.317

Şekil B.4 : Eklem kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Na

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
EK-1	1	0.3930000000	2.0	1.00
EK-2	1	0.0000000000	1.0	-1.00
Overall	2		1.5	

H = 1.00 DF = 1 P = 0.317

Kruskal-Wallis Test on P

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
EK-1	1	14.12	1.0	-1.00
EK-2	1	22.34	2.0	1.00
Overall	2		1.5	

H = 1.00 DF = 1 P = 0.317

Kruskal-Wallis Test on Si

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
EK-1	1	4.0050000000	2.0	1.00
EK-2	1	0.0000000000	1.0	-1.00
Overall	2		1.5	

H = 1.00 DF = 1 P = 0.317

Şekil B.4 (devam) : Eklem kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	0.4560000000	6.0	1.46
ÇD-2	1	0.4510000000	5.0	0.88
ÇD-3	1	0.0000000000	1.0	-1.46
ÇD-4	1	0.0710000000	3.0	-0.29
ÇD-5	1	0.0160000000	2.0	-0.88
ÇD-6	1	0.2230000000	4.0	0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	52.22	6.0	1.46
ÇD-2	1	49.21	5.0	0.88
ÇD-3	1	46.84	2.0	-0.88
ÇD-4	1	48.75	4.0	0.29
ÇD-5	1	48.40	3.0	-0.29
ÇD-6	1	45.14	1.0	-1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	0.6320	4.0	0.29
ÇD-2	1	0.2680	2.0	-0.88
ÇD-3	1	0.7800	6.0	1.46
ÇD-4	1	0.6500	5.0	0.88
ÇD-5	1	0.5090	3.0	-0.29
ÇD-6	1	0.2670	1.0	-1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	2.099	2.0	-0.88
ÇD-2	1	3.813	5.0	0.88
ÇD-3	1	2.078	1.0	-1.46
ÇD-4	1	3.782	4.0	0.29
ÇD-5	1	4.045	6.0	1.46
ÇD-6	1	3.204	3.0	-0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Şekil B.5 : Çene-diş kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	0.4560000000	6.0	1.46
ÇD-2	1	0.4510000000	5.0	0.88
ÇD-3	1	0.0000000000	1.0	-1.46
ÇD-4	1	0.0710000000	3.0	-0.29
ÇD-5	1	0.0160000000	2.0	-0.88
ÇD-6	1	0.2230000000	4.0	0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	52.22	6.0	1.46
ÇD-2	1	49.21	5.0	0.88
ÇD-3	1	46.84	2.0	-0.88
ÇD-4	1	48.75	4.0	0.29
ÇD-5	1	48.40	3.0	-0.29
ÇD-6	1	45.14	1.0	-1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	0.6320	4.0	0.29
ÇD-2	1	0.2680	2.0	-0.88
ÇD-3	1	0.7800	6.0	1.46
ÇD-4	1	0.6500	5.0	0.88
ÇD-5	1	0.5090	3.0	-0.29
ÇD-6	1	0.2670	1.0	-1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	2.099	2.0	-0.88
ÇD-2	1	3.813	5.0	0.88
ÇD-3	1	2.078	1.0	-1.46
ÇD-4	1	3.782	4.0	0.29
ÇD-5	1	4.045	6.0	1.46
ÇD-6	1	3.204	3.0	-0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Şekil B.5 (devam) : Çene-diş kemiği buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KK-1	1	1.0020	3.0	0.45
KK-2	1	1.5090	4.0	1.34
KK-3	1	0.4710	2.0	-0.45
KK-4	1	0.2390	1.0	-1.34
Overall	4		2.5	

H = 3.00 DF = 3 P = 0.392

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KK-1	1	53.37	4.0	1.34
KK-2	1	48.99	1.0	-1.34
KK-3	1	50.90	2.0	-0.45
KK-4	1	51.15	3.0	0.45
Overall	4		2.5	

H = 3.00 DF = 3 P = 0.392

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KK-1	1	0.4910	3.0	0.45
KK-2	1	0.8970	4.0	1.34
KK-3	1	0.4730	2.0	-0.45
KK-4	1	0.4590	1.0	-1.34
Overall	4		2.5	

H = 3.00 DF = 3 P = 0.392

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
KK-1	1	0.89600	4.0	1.34
KK-2	1	0.56100	3.0	0.45
KK-3	1	0.06300	1.0	-1.34
KK-4	1	0.39800	2.0	-0.45
Overall	4		2.5	

H = 3.00 DF = 3 P = 0.392

Şekil B.6 : Kaplumbağa kabuğu buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Kruskal-Wallis Test on Al

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	0.4560000000	6.0	1.46
ÇD-2	1	0.4510000000	5.0	0.88
ÇD-3	1	0.0000000000	1.0	-1.46
ÇD-4	1	0.0710000000	3.0	-0.29
ÇD-5	1	0.0160000000	2.0	-0.88
ÇD-6	1	0.2230000000	4.0	0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Ca

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	52.22	6.0	1.46
ÇD-2	1	49.21	5.0	0.88
ÇD-3	1	46.84	2.0	-0.88
ÇD-4	1	48.75	4.0	0.29
ÇD-5	1	48.40	3.0	-0.29
ÇD-6	1	45.14	1.0	-1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on K

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	0.6320	4.0	0.29
ÇD-2	1	0.2680	2.0	-0.88
ÇD-3	1	0.7800	6.0	1.46
ÇD-4	1	0.6500	5.0	0.88
ÇD-5	1	0.5090	3.0	-0.29
ÇD-6	1	0.2670	1.0	-1.46
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Kruskal-Wallis Test on Mg

Buluntu	N	Median	Ave Rank	Z
ÇD-1	1	2.099	2.0	-0.88
ÇD-2	1	3.813	5.0	0.88
ÇD-3	1	2.078	1.0	-1.46
ÇD-4	1	3.782	4.0	0.29
ÇD-5	1	4.045	6.0	1.46
ÇD-6	1	3.204	3.0	-0.29
Overall	6		3.5	

H = 5.00 DF = 5 P = 0.416

Şekil B.6 (devam) : Kaplumbağa kabuğu buluntularında Kruskal-Wallis testi sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Melis Dişli

E-posta : melisdisli8@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- Ventas Enerji ve Isı Sistemleri Pazarlama A. Ş. – Makine Mühendisi (2016 -).