T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİOCAESAREA (UZUNCABURÇ) ANTİK KENTİ KAZISINDA ÇIKARILAN KEMİK ÖRNEKLERİNİN STRONSİYUM İZOTOPLARI YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

RIZA ERDEM

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
AĞUSTOS - 2023

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİOCAESAREA (UZUNCABURÇ) ANTİK KENTİ KAZISINDA ÇIKARILAN KEMİK ÖRNEKLERİNİN STRONSİYUM İZOTOPLARI YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Rıza ERDEM
ORCID:0000-0003-4932-8173

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Prof. Dr. Şana SUNGUR
ORCID: 0000-0001-7370-8972

HATAY
AĞUSTOS - 2023

24/07/2023

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

RIZA ERDEM

ÖZET

DİOCAESAREA (UZUNCABURÇ) ANTİK KENTİ KAZISINDA ÇIKARILAN KEMİK ÖRNEKLERİNİN STRONSİYUM İZOTOPLARI YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Arkeometri Biliminde özellikle stronsiyum izotop analizleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Mersin ilinin Silifke ilçesinde bulunan Uzuncaburç Helenistik ve Roma dönemine ait arkeolojik buluntuları ve içinde Diocaesarea antik kentini bulunduran Türkiye'nin en önemli ören yerlerinden bir tanesidir.

Bu çalışmada, Uzuncaburç antik kenti kazısında çıkarılan 11 adet kemik ve o bölgeye ait olan 2 adet salyangoz numunesi kullanılmıştır. Kemiklerin ait oldukları bireylerin beslenme geçmişleri, göç durumları ve kemiklerdeki diyagenetik etkinin varlığı stronsiyum izotopları ve miktarları yönünden incelenmiştir. İnsan kemik örneklerinde toplam stronsiyum miktarları 244.32 ile 709.16 μg g^{-1} arasında tespit edilirken, salyangoz örneklerinde toplam stronsiyum miktarları 312.70 ile 447.51 μg g^{-1} arasında belirlenmiştir. Kemiklerdeki stronsiyum oranlarının yüksek çıkması beslenmenin daha çok bitkisel kaynaklı olduğunu göstermektedir.

İncelenen salyangoz ve kemik örneklerinin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranları genellikle birbirine yakın olmakla birlikte, DNM-43 ve DNM-44 sağ alt çene kemiği örneklerinin salyangoz örneklerinden uzakta kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu iki örneğin salyangoz ve diğer kemik örnekleriyle aynı bölgeye ait olmadığı düşünülmektedir.

Salyangoz ve kemik örneklerinin $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımı incelendiğinde genellikle dağılımın birbirlerine yakın olduğu, sadece DNM-66 sağ alt çene kemiği örneğinin diğer örneklerden uzakta kaldığı görülmektedir. Bunun da diyageneze daha fazla uğramış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, Diocaesarea antik kentinde sosyoekonomik ve beslenme özelliklerinin farklı olduğu gürülmektedir.

2023, 40 sayfa

Anahtar Kelimeler: Diocaesarea (Uzuncaburç), stronsiyum izotop analizi, mobilite, beslenme, diyagenez

ABSTRACT

INVESTIGATION of BONE SAMPLES EXCAVED at the ANCIENT CITY of DIOCAESAREA (UZUNCABURÇ) in TERMS of STRONTIUM ISOTOPES

Especially strontium isotope analyzes are widely used in Archaeometric Science. Uzuncaburç, located in Silifke district of Mersin province, is one of the most important ruins in Turkey, containing archaeological finds from the Hellenistic and Roman periods and the ancient city of Diocaesarea.

In this study, 11 bones excavated in Uzuncaburç ancient city and 2 snail samples belonging to that region were used. Nutritional histories, migration status and the presence of diagenetic effects in the bones of the individuals to which the bones belong were investigated in terms of strontium isotopes and their amounts. Total strontium amounts in human bone samples were found to be between 244.32 and 709.16 μg g^{-1}, while total strontium amounts were between 312.70 and 447.51 μg g^{-1} in snail samples. The high strontium ratios in the bones indicate that the nutrition is mostly plant-based.

Although the $^{87}Sr/^{86}Sr$ isotope ratios of the snail and bone samples examined are generally close to each other, it is seen that the DNM-43 and DNM-44 right mandibular bone samples are far from the snail samples. Therefore, it is thought that these two samples do not belong to the same region as the snail and other bone samples.

When the distribution of $^{88}Sr/^{86}Sr$ ratios of snail and bone samples is examined, it is seen that the distribution is generally close to each other; only the DNM-66 right mandible specimen is far from other specimens. It is thought that this may be due to the fact that it has undergone more diagenesis.

As a result, it is seen that the socioeconomic and nutritional characteristics of the ancient city of Diocaesarea are different.

2023, 40 pages

Keywords: Diocaesarea (Uzuncaburç), strontium isotope analysis, mobility, nutrition, diagenesis

TEŞEKKÜR

Mesleki ve akademik hayatımda önemli kararlar almam gerektiğinde sürekli yanımda olan ve varlığı ile benim için önemli bir rol model oluşturan, gerek yüksek lisans tez konumunun belirlenmesinde gerek araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarıma ışık tutan, yardımını esirgemeyen ve Şubat 2022'ye kadar danışmanlığımı yapan Dr. Öğretim Üyesi Zeki AYDIN'a ve sonrasında danışmanlığımı yürüten Prof. Dr. ŞANA SUNGUR'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi (HMKÜ) Kimya Bölüm Başkanlığı'na ayrıca HMKÜ FBE Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince, tüm laboratuvar çalışmalarımda yapmış oldukları katkı ve yardımları nedeniyle Dr. Öğr. Üyesi CENK GÜNER ve Dr. Öğr. Üyesi EVRİM TEKELİ'ye teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, güvenen ve daima yanımda olan canım aileme sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ V
ŞEKİLLER DİZİNİ VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ VII
1. GİRİŞ 1
1.1. Uzuncaburç (Silifke) Kazı Alanı 1
1.2. Kemiğin Kimyası 2
1.3. Kemiğin Bozulması 3
1.4. Diyagenez ile Beslenme İlişkisi 3
1.5. Stronsiyum Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 4
1.6. Stronsiyum İzotop Analizleri 6
1.7. Biyolojik Olarak Kullanılabilir Stronsiyumun Haritalanması 9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 11
3. MATERYAL ve YÖNTEM 17
3.1. Materyal 17
3.1.1. Kullanılan Kimyasallar 21
3.1.2. Kullanılan Cihazlar 21
3.2. Yöntem 22
3.2.1. Örneklerin Temin Edilmesi 22
3.2.2. Görünür Kirlerin Mekanik Yolla Uzaklaştırılması ve Yıkama 22
3.2.3. Numunelerin Alınması 22
3.2.4. Yakma İşlemi 22
3.2.5. Saflaştırma İşlemleri 23
3.2.6. Stronsiyum İzotop Analizleri 23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 24
5. SONUÇ ve ÖNERİLER 32
KAYNAKLAR 35
ÖZGEÇMİŞ 40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Stronsiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri 4
Çizelge 1.2. Yarı ömrü 1 dakikadan uzun olan Stronsiyum izotoplarının özellikleri 7
Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler 21
Çizelge 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar 21
Çizelge 4.1. Kemik ve salyangoz örneklerinde tespit edilen Stronsiyum miktarları (N=3) 24
Çizelge 4.2. Numunelerin Stronsiyum izotoplarının ölçüm değerleri 26
Çizelge 4.3. Numunelerin Stronsiyumun izotoplarının birbirlerine oranları 27
Çizelge 4.4. Numunelerin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının salyangozların $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarına göre ‰ yakınlıkları 30

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Stronsyum mineralleri 5
Şekil 1.2. Kararlı Stronsiyumun çevreden ve diyetten insan kemiğine hareketi (değerler yaklaşıktır) (Kavanagh, 1979) 6
Şekil 1.3. İnsan diş minesi ve kemiğinin Stronsiyum izotop analizinde yer alan olası sonuçlar ve yorumlar (Slovak ve Paytan, 2011). 9
Şekil 1.4. İnsan kalıntılarında Stronsiyum izotop alımı ve analizlerin temel ilkeleri (Duxfield ve ark., 2020). 10
Şekil 2.1. Almanya Eulau'da yapılan kazılar sonrası çıkan insan dişlerinde termal iyonizasyon kütle spektrometresi ile Stronsiyum izotop analizleri sonuçları 12
Şekil 2.2. Stronsiyumun kaburga, el ve ayak tarak kemiklerinde tespit edilen değerleri 14
Şekil 2.3. Utah'daki tavşanımsılar, kemirgenler, geyikler ve koyunların kesişici dişlerinden ve büyük hayvanların uzun kemiklerinden 75 örnek $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları ve bölge bölge $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları 16
Şekil 3.2. Alman kasa 4 (Parmak kemiği / el) (Numune no:2) 17
Şekil 3.3. Alman kasa 5 (Uzun kol kemiği) (Numune no:3) 17
Şekil 3.4. Alman kasa 8 (Dirsek kemiği) (Numune no:4) 18
Şekil 3.5. DNM-42 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:5) 18
Şekil 3.6. DNM-43 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:6) 18
Şekil 3.7. DNM-44 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:7) 19
Şekil 3.8. DNM-55 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:8) 19
Şekil 3.9. DNM-56 (Uyluk kemiği) (Numune no:9) 19
Şekil 3.10. DNM-66 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:10) 20
Şekil 3.11. DNM-70 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:11) 20
Şekil 3.12. DNM-66 (Salyangoz) (Numune no:12) 20
Şekil 3.13. DNM-59 (Salyangoz) (Numune no:13) 21
Şekil 4.1. Örneklerde tespit edilen Stronsiyum miktarlarının dağılımı 25
Şekil 4.2. Örneklerde tespit edilen $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımını 28
Şekil 4.3. Örneklerde tespit edilen $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımını 29
Şekil 4.4. Numunelerin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının salyangozların $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarına göre ‰ yakınlıkları 31

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Sr : Stronsiyum
mL : Mililitre
Ca : Kalsiyum
C :Karbon
Mg :Magnezyum
A^o : Armstrong
mg : Miligram
g : Gram
kg : Kilogram
ppm : Parts per million-Milyonda bir birim
% : Yüzde
‰ : Binde
β^+ : Pozitron ışıması
β^- : Beta ışıması
EC^a : Elektron Yakalma
/ : Bölüm
µmol : Mikromol
nm :Nanometre
℃ :Santigrad derece
µg :Mikrogram

KISALTMALAR

HPLC	:High Performance Liquid Chromotography-Yüksek Performanslı Sıvı Kromotografisi
MC-ICP-MS	: Çoklu toplayıcı İndüktif eşleşmiş plazma-kütle Spektrometresi
İ.Ö.	: İsa'dan önce
Ark.	: Arkadaşları
PED-XRF	: X-Işınları Fluoresans Analizi Yöntemi
SD	: Standart Sapma
TIMS	: Termal İyonizasyon Kütle Spektrometresi
ICP-MS	:Bakır İyon İndirgeme Antioksidan Kapasitesi

1. GİRİŞ

1.1. Uzuncaburç (Silifke) Kazı Alanı

Tez çalışması için alınan örnekler Uzuncaburç yerleşiminden getirilmiştir. Uzuncaburç Mersin ili, Silifke ilçesinde yer almaktadır. Uzuncaburç Helenistik ve Roma dönemine ait arkeolojik buluntuları ve içinde Diocaesarea antik kentini bulunduran Türkiye'nin en önemli ören yerlerindendir.

Diocaesarea antik kentinin arkeolojik yapıları ve verileri, Olba yönetiminin en önemli dini ve idari merkezi olduğunu göstermektedir. Uzuncaburç'un bu özelliği onu önemli bir arkeolojik yerleşim yeri haline getirmiştir. Uzuncaburç, Antik dönemde Dağlık Kilikya da bulunan Olba Bölgesi içerisindedir. İlk adı Prakana (Hisar Yerinin Ülkesi) iken Roma Döneminde adı Diocaesarea (Zeus'un İmparator Yurdu) ismini almıştır. Bizans Dönemi'nin ardından Türkler buraya şehrin sembolü olan yüksek burcun (Hellenistik Kule'nin) ismini vererek "Uzuncaburç" demişlerdir. Birçok bölümden oluşmuş bir yerleşim yeridir. Bunlar sütunlu cadde, tören kapısı, Zeus (olbios) tapınağı, Tyche tapınağı, zafer kapısı, tiyatro, Helenistik anıt mezar, Helenistik kule, nekropol alanıdır (Anonim, 2023).

Kilikya'da Helenistik Dönem 333 yılında Büyük İskender'in bu bölgeyi almasıyla başlamıştır. Teukrid Hanedanlığı Olba Bölgesini rahip krallık sistemi ile uzun bir süre yönetmiştir. Uzuncaburç Helenistik Dönemde Zeus-Olbios tapınağı, yüksek kule (burç) ve Helenistik Anıt Mezar bulunmaktadır (Boysal, 1963). Sezar'ın öldürülmesinden sonra Kilikya yönetimi Marcus Antonius'un eline geçmiş, Antonius Dağlık Kilikya'nın doğu bölümlerini Kleopatra'ya hediye etmiştir. Kleopatra da Olba Tapınak Krallığının başına Aba'yı geçirmiştir (Sayar, 2004). Dağlık Kilikya'nın yönetimi önce Galatia Kralına sonrada Kappadokia Kralı I. Arkhelos'a verilmiştir. Roma İmparatoru Tiberius, Zeus-Olbios tapınağının bulunduğu yere Diocaesarea ismini vermiştir. İ.Ö. 1. yüzyıl ile 2. yüzyılda bölgede Roma egemenliği başlamıştır. Geniş kapsamlı imar çalışmaları uygulanmaya başlanmıştır. Hadrian Döneminde Olba ve Diokaesareia kentleri hızla gelişmiştir (Durugönül, 2004). Bölgede geniş dağılımlı yol yapılmıştır. Yollar stratejik, idari, dinsel, liman ve ticaret merkezlerinin yürütme işlevini görmekteydi (Aydınoğlu 1998). Bizans döneminde Diocaesarea'daki Zeus-Olbios tapınağı kiliseye dönüştürülmüştür. Silifke Ayatekla Kilisesi bu bölgeyi Hıristiyanlığın önemli bir yöresi

haline getirmiştir (Aydın 2004). 6. yüzyılda ve sonrasında bölgede Araplar, Bizanslılar, Ermeniler ve Türkler arasında savaşlar olmuştur ve birçok kez el değiştirmiştir (Gürtürk 1987). Bu durum bölge halkının da zaman zaman göçe zorlanmasına sebep olmuştur. Silifke'de Karamanoğlu Beyliği ve sonrasında da Osmanlı Dönemi başlamıştır. 18. yüzyılda Osmanlının iskân siyaseti kapsamında konargöçerlerin yerleşik hayata geçirilmesi için bir takım adımlar atılmıştır. Bu bölgeden gönderilen aşiretlerin tekrar yerleşmeleri sağlanmıştır (Yüksel, 2019).

1.2. Kemiğin Kimyası

Kemik doku bileşenlerinin % 65'i inorganik (hidroksiapatit), % 35'i ise organik maddelerden (su, kemik hücreleri, kollajen olmayan proteinler ve kollojen) oluşmaktadır (Samuel ve ark., 2009). Stokiyometrik özellikte olmayan hidroksiapatit yapıyı oluşturan kalsiyum, fosfat ve hidroksil iyonları beslenme ile alınan anyon ve katyonlarla yer değiştirebilme özelliğine sahiptir (Zimmerman, 2015; Turner-Walker, 2008; Pate, 1994). Kalsiyum; lityum, sodyum, potasyum, berilyum, magnezyum, Stronsiyum, baryum, radyum, zirkonyum, vanadyum, niyobiyum, krom, mangan, demir, bakır, gümüş, çinko, kadmiyum, civa, alüminyum, galyum, silisyum, kalay, kurşun ve bizmut gibi çok sayıdaki elementle, fosfat; sitrat, fosfat esterleri, difosfonatlar, pirofosfat ve amino asitlerle, hidroksil de flor ve klor ile yer değiştirebilmektedir (Sevdin, 2017). Bu yer değiştirmeler bireylerin beslenme tarzlarını yansıtacağı için beslenme modeli çalışmalarında element analizleri önemli bir yere sahiptir (Zimmerman, 2015; Gosman ile Stout, 2010; Sandford, 1992). Kemiğin organik kısmından alınan numunerle izotop analizleri yapılarak, elde edilen sonuçlar beslenme modeli çalışmalarında kullanılmaktadır (Zimmerman, 2015; Busetto, 2008; Pate, 1994).

Bireyin yaşadığı bölge, kemiğin yapısı, kemik tipi ve beslenmeye bağlı olarak, kemik matrisi içindeki eser elementlerin birikimi ve ikamesi farklılıklar göstermektedir. Yapılan çalışmalar diyafiz adı verilen uzun kemiklerin daha yoğun kemikten oluşan orta kısımlarında kalsiyum, Stronsiyum, sodyum ve potasyum gibi elementlerin, epifiz adı verilen daha canlı olan uç kısımlarında da kalay, kobalt, kurşun, krom, nikel, çinko ve vanadyum gibi elementlerin daha yüksek oranlarda bulunduğunu göstermiştir (Zimmerman, 2015).

1.3. Kemiğin Bozulması

Tafonomi, organizmanın ölümden sonra fosilleşme sürecidir. Üç basamakta (nekroloji, biyostratinomi, diyagenez) gerçekleşen bu süreç oldukça karmaşıktır (Grupe, 2007). Nekroloji organizmanın ölümü ile başlayan ilk basamaktır. Biyostratinomi organizmanın ölümü ile gömülmesi arasında geçen ikinci basamaktır. Bu dönemde kemiğin hem organik hem de inorganik yapısında değişimler gözlenmeye başlar. Kısa bir süreç olmasına rağmen hızlı bir yıkım gerçekleşir. Diyagenez ise gömülme sonrasını içeren üçüncü basamaktır. Bu süreçte, kemiğin organik ve inorganik bileşenlerindeki değişimin yanı sıra mikroorganizma saldırıları da gözlenir. Kemiğin organik yapısında meydana gelen en önemli değişim kolajen kaybıdır. Bu durum kemiğin gözenek sayısında artışa neden olur ve böylece iç ve dış kaynaklı elementler yer değiştirmeye başlar. Özellikle flor ve karbonat gibi iyonların kemiğin yapısına girmesi yeniden kristalleşmeye neden olabilir. Bu durumda hidroksiapatit yapı çözünüp yeniden çökelebilir. İnorganik yapıda meydana gelen bu değişim dış kaynaklı elementlerin kemiğe dâhil olmasına olanak sağlar. Mikrobiyal saldırılar da kolajen kaybı ve kemiğin gözenek sayısında artışa neden olarak benzer sonuçları arttırır. Bütün bu süreçler sonucunda kemiğin gömüldüğü yerin özellikleri kemiğe geçer (Sevdin, 2017).

1.4. Diyagenez ile Beslenme İlişkisi

Alkali toprak elemeti olan Stronsiyum ve kalsiyum periyodik cetvelde aynı grupta yer almaktadır. Kimyasal yapılarındaki benzerlikten dolayı, Stronsiyum hidroksiapatitteki kalsiyumun yerine geçme eğilimindedir (Burton ve ark., 2003; Burton ve Weight, 1995; Klepinger, 1984). Stronsiyumun besin zincirindeki hareketi topraktan canlının vücuduna doğrudur (Busetto, 2008). Stronsiyum ve kalsiyum arasındaki benzerliği ayırt edemeyen bitkiler bünyelerinde büyük oranda Stronsiyum barındırırlar. Memelilerin Sr/Ca oranı bitkilere göre daha düşüktür. Çünkü memelilerin sindirim sitemi Stronsiyum yerine kalsiyumu tercih etmektedir (Burton ve Price, 2002; Sillen, 1981). Bitkiler Stronsiyumu doğrudan topraktan alırken, memeliler ya bitkilerden ya da bitkileri tüketen hayvanlardan alırlar (Özdemir ve Erdal, 2012). Arkelojik kazılardan elde edilen kemiklerden bireyin bitkisel olarak mı yoksa hayvansal olarak mı beslendiğini belirleyebilmek için Stronsiyumun kemikteki birikim miktarının tespit

edilmesi gerekmektedir. Daha çok hayvansal gıdalarla beslenenlerde Sr/Ca oranı bitkisel olarak beslenenlere kıyasla daha düşüktür (Burton ve Weight, 1995; Nelson, 1984).

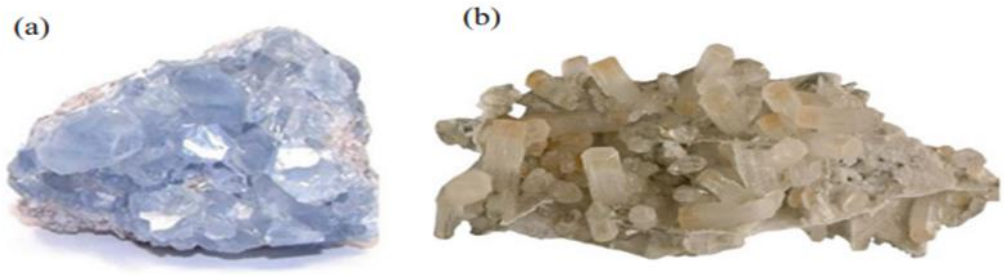
1.5. Stronsiyum Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Stronsiyum, 2A gurubunda ve s orbitalinde iki değerlik elektronu bulunan toprak alkali bir elementtir (Mahan, 1983). Stronsiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Stronsiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Değer
Atom Numarası	38
Atom Ağırlığı (^{12}C)	87,62
Erime Noktası (°C)	800
Kaynama Noktası (°C)	1366
Atom Yarıçapı (A^o)	1,91
İyon Yarıçapı (M^{++},A^0)Pauling	1,13
1. İyonlaşma Enerjisi (Kcal)	132
2. İyonlaşma Enerjisi	253
Elektronegativesi (Pauling)	1,0

İki ana doğal Stronsiyum minerali $SrSO_4$ ve $SrCO_3$ Şekil 1.1' de gösterilmiştir. Stronsiyumun en önemli minerali selestittir ($SrSO_4$). En büyük üreticiler Meksika, İspanya, Türkiye ve İngiltere'dir. Stronsiyum bileşiklerinin, özellikle $SrCO_3$'ün ana kullanım alanları renkli televizyon ve bilgisayar monitörleri için özel cam imalatıdır. Stronsiyumun organometalik bileşikleri, magnezyumunkinden çok daha reaktiftir. Reaktivitedeki farklılık, Mg^{2+} (72 pm) ile (Sr^{2+} 118 pm) karşılaştırıldığında yük/boyut oranı düştükçe, bağın iyonik karakterinin ve ligandların kinetik kararsızlığının artmasından kaynaklanmaktadır (Greenwood ve Earnshaw, 1997)



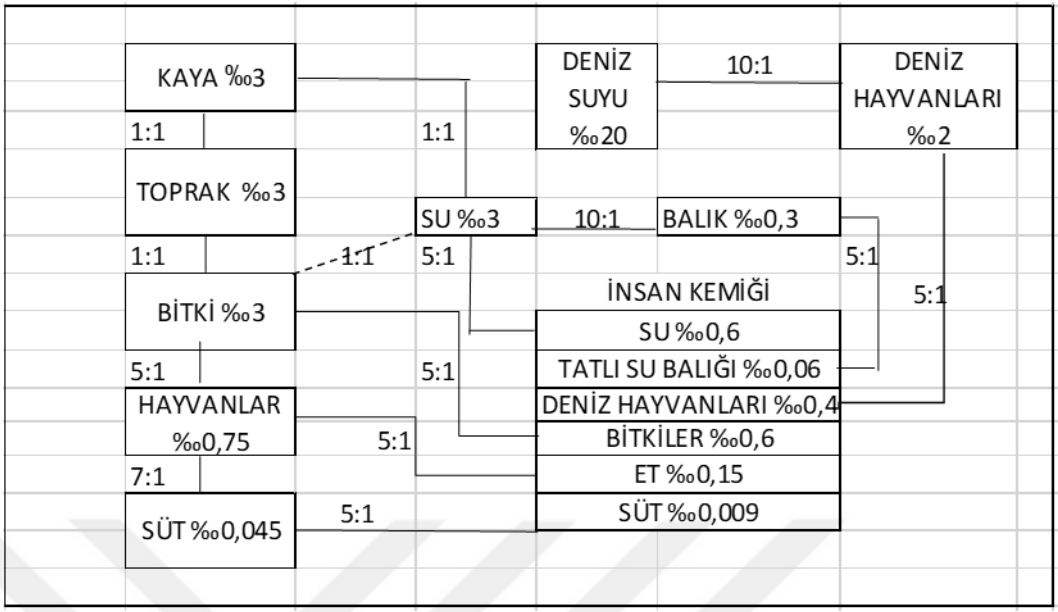
Şekil 1.1. Stronsyum mineralleri

Stronsiyum, kalsiyumlu minerallerinin kristal örgülerinde apatit, öjit, hornblend ve plajikolaz şeklinde bulunmaktadır (Goldschmıdt, 1958). Stronsiyum tuzları ilaç olarak kullanılabilmektedir. Kararlı Stronsiyum toksik olmadığı için insana yüksek miktarda verilebilmektedir (Sanyal, 2017). Stronsiyum kemik oluşumunu arttırdığı için osteoporoz tedavisinde de kullanılmaktadır. Stronsiyumun kemikteki aktiviteleri sebebiyle kemik döngüsü dengelenmekte dayanıklılığı ve ağırlığı artmaktadır (Landi, 2007; Bigi, 2007; Capuccini, 2009; Lin, 2013).

Stronsiyum, kireçli kayaçlarda, okyanus suyunda, yiyecek ve içeceklerde bulunmaktadır (Li, 2007; Verberckmoes, 2004). Stronsiyum fiziksel ve kimyasal olarak kalsiyuma benzemektedir ve eser miktarda Stronsiyum kemiğe geçmektedir. İnsanlardaki Stronsiyum ve kalsiyum kemikte aynı metabolik döngü içerisindedir. Stronsiyum kemik yüzeyinde apatit olarak birikmekte ve hücre sıvısıyla etkileşime girmektedir. Kalsiyum atomu ile yer değiştirmektedir. Mineral içerisinde yüksek miktarda Stronsiyum bulunsa bile, on kalsiyum atomunun bir tanesi Stronsiyum ile yer değiştirebilmektedir. Stronsiyum kemikte molar olarak kalsiyumun en fazla %3,5 i kadar bulunmaktadır (Landi, 2007; Guo, 2005; Bigi, 2007; Marie, 2001).

Hidroksiapatitin tüm kompozisyonlarında Stronsiyum ve kalsiyum iyon değişimi fiziksel ve kimyasal özelliklerine etki etmektedir (Bigi, 2007; Capuccini, 2009). Stronsiyum iyon yarıçapı (1,13 A^o) kalsiyumun iyon yarıçapından (0,99 A^o) büyüktür. Sr-OH mesafesi, Ca-OH mesafesinden daha fazla olduğu için kristalinite düşmekte bu da apatitin çözünürlüğünü ve mekanik özelliğini değiştirmektedir (Baykut, 1987).

Mineral seviyeleri okyanus sularında yoğunlaşmıştır. Bu nedenle deniz bitkilerinde ve hayvanlarda daha yüksek miktarlarda Stronsiyum ortaya çıkmaktadır (Odum, 1957; Rosenthal, 1963). Kararlı Stronsiyumun çevreden ve diyetten insan kemiğine hareketinin yakslaşık değerleri Şekil 1.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kararlı Stronsiyumun çevreden ve diyetten insan kemiğine hareketi (değerler yaklaşıktır) (Kavanagh, 1979)

1.6. Stronsiyum İzotop Analizleri

İzotoplar, çekirdeklerinde aynı sayıda proton ve farklı sayıda nötron içeren atomları ifade etmektedirler. Periyodik cetvelde aynı yerde bulunup, aynı atom numarası ve aynı kimyasal özelliklere sahip olmalarına rağmen, atom kütleleri, termodinamik ve kinetik özellikleri birbirlerinden farklıdır. ${}^{84}_{38}Sr$, ${}^{86}_{38}Sr$, ${}^{87}_{38}Sr$, ${}^{88}_{38}Sr$ gibi. İzotopların kararlı ve kararsız (radyoaktif) olmak üzere iki türü bulunmaktadır. ${}^{87}_{38}Sr$ radyojenik olup zamanla rubidyumun bozunmasıyla oluşmaktadır. Yarı ömrü yaklaşık olarak $4.7.10^{10}$ yıldır. Diğer izotopları ise radyoaktif değildir (Price ve ark., 2002). İzotoplarının doğadaki bolluk yüzdeleri ^{88}Sr % 82.53, ^{87}Sr % 7.04, ^{86}Sr % 9.87 ve ^{84}Sr % 0.56 şeklindedir. ^{73}Sr'den ^{107}Sr'a kadar toplam 35 Stronsiyum izotopu bulunmakla birlikte, çoğunun yarı ömürleri çok kısa olduğu için pratik olarak kullanılamamaktadırlar. Yarı ömrü 1 dakikadan uzun olan Stronsiyum izotoplarının özellikleri Çizelge 1.2'de gösterilmiştir (Magill ve ark., 2012).

Çizelge 1.2. Yarı ömrü 1 dakikadan uzun olan Stronsiyum izotoplarının özellikleri

İzotoplar	Işıma türü	Yarı ömür	β^+/β^- Enerji MeV	γEnerji keV
^{78}Sr	β^+	2.65 dak.	-	104, 243, 268, 212…
^{79}Sr	β^+	2.3 dak.	4.2	39, 105, 209
^{80}Sr	EC[a]	1.8 sa.	β^+ yok	589, 175, 553, …
^{81}Sr	β^+	22.2 dak.	2.7 , 3.0	154, 148, 443, 188, …
^{82}Sr	EC[a]	25.34 gün	β^+ yok	γ yok
^{83}Sr	EC, β^+	32.4 sa.	1.2	763, 381, 418, …
^{85}Sr	EC	64.84 gün	β^+ yok	514
^{89}Sr	β^-	50.5 gün	1.5	909
^{90}Sr	β^-	28.9 yıl	0.5	γ yok
^{91}Sr	β^-	9.5 sa.	1.1 , 2.7	1024, 750, 653, …
^{92}Sr	β^-	2.71 sa.	0.6 , 1.9	1384
^{93}Sr	β^-	7.43 dak.	1.5 , 3.4	590, 876, 888, 710, 169, …
^{95}Sr	β^-	74 sn.	2.1 , 3.5	1428

Kayalarda bulunan Stronsiyumun izotop oranları jeolojik faktörlere bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Kayalardaki $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları genellikle 0.700 ile 0.750 arasında değişmektedir. Çok eski kayalarda bu oran daha yüksek tespit edilebilirken, jeolojik olarak genç kayalarda daha da düşük olarak saptanabilmektedir (Price ve ark., 2002). Kayaların ayrışması ya da erozyonlar sonucunda Stronsiyum toprağa karışmaktadır. Yüzey ve yer altı suları aracılığıyla da yayılabilmektedir. Bitkiler tarafından alınarak o alanda yaşam süren hayvan ve insanların vücuduna geçebilmektedir. İnsan dokularında tespit edilen $^{87}Sr/\ ^{86}Sr$ oranları, tüketilen suyu, bitki ve hayvanların $^{87}Sr/\ ^{86}Sr$ oranını ve hatta bölgedeki kaya yataklarının $^{87}Sr/\ ^{86}Sr$ oranını yansıtmaktadır. Bu yüzden türlerin vücut kompozisyonları yaşadıkları bölge hakkında bilgi vermektedir. Bu amaçla genellikle diş ve kemiklerde Stronsiyum izotop analizleri yapılmaktadır. Stronsiyum dişlerin gelişimi süresince yapıya eklenmektedir. Sonrasında dişlerde tekrar yapılanma olmadığından dişlerde belirlenen Stronsiyum miktarı bireyin büyüdüğü bölgeyi ve özelliklerini göstermektedir (Bethard, 2013). Kemik ise daha dinamik bir doku olduğundan belirli zamanlarda kendini yenileyebilmektedir. Kemik yenileme yetişkinlerde 7-11 yılda bir gerçekleşmektedir. Kemiklerde belirlenen Stronsiyum miktarı ise bireyin ölmeden önce yaşadığı bölgeyi göstermektedir. Böylece dişlerdeki ve kemiklerdeki Stronsiyum izotop oranlarının ($^{87}Sr/^{86}Sr$) belirlenmesiyle, bireyin doğup büyüdüğü yerde ölüp ölmediği belirlenebilmektedir (Knudson ve ark.,

2004). Bazı yazarlar, kemik ve diş minesindeki ortalama $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları arasındaki 0.001'lik bir farkı yerel ve yerel olmayanlar arasındaki ayrım için uygun sınır değer olarak kabul etmiştir (Grupe ve ark., 1997; Schweissing ve Grupe, 2000; Price ve ark., 2004). Yapılan çalışmalar Stronsiyumun fosil kemiklerde uzun süre değişmeden kaldığını göstermiştir. Bu sonuç, elde edilen değerlerin büyük oranda ölümün gerçekleştiği zamandaki değerler olduğunu ifade etmektedir (Çırak, 2010).

Birçok çalışma, jeolojik örneklere kıyasla incelenen bölgedeki fauna iskeleti ve dokularının $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarında daha düşük değişkenlik gösterdiklerini ortaya koymuştur. Arkeolojik fauna materyali kesinlikle tercih edilmelidir ancak bulunması zordur ve bu nedenle sıklıkla daha farklı materyaller de seçilmektedir. Küçük memeliler ve salyangozların bulunması kolay olduğu için sıkça kullanılmaktadırlar (Price ve ark., 2002).

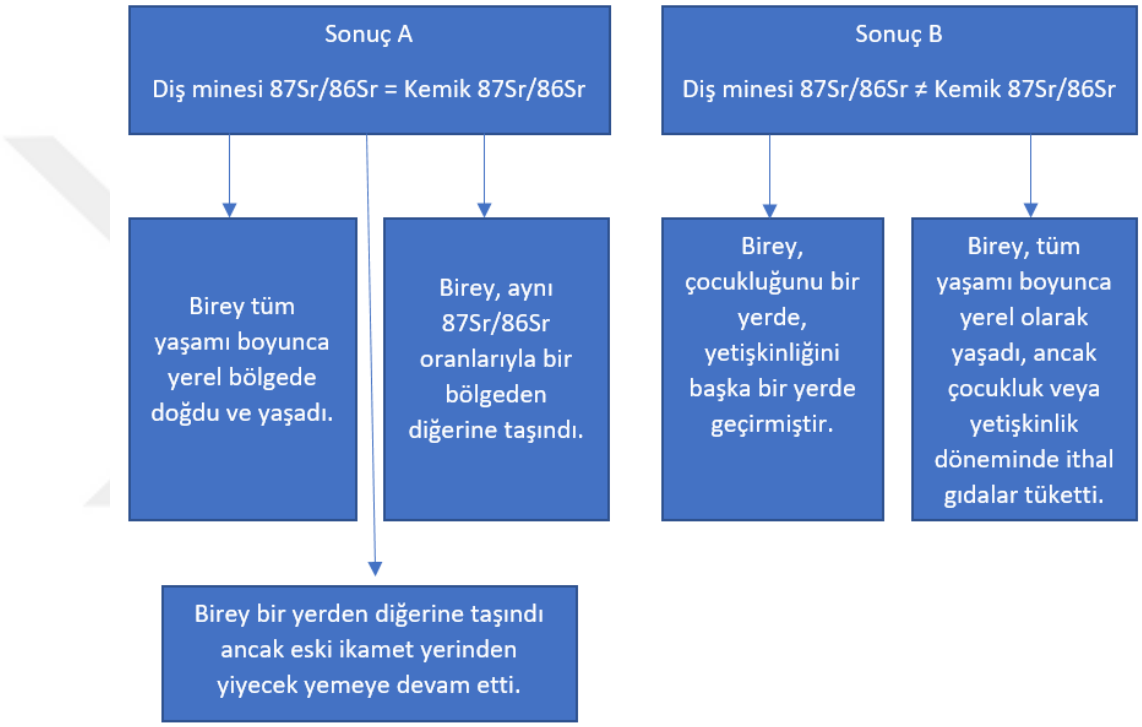
Stronsiyum ve baryumun kemikteki miktarları denizsel ve karasal beslenme modellerini belirlemek için de kullanılmaktadır. Kayalarda baryum barit ($BaSO_4$), Stronsiyum ise selestin ($SrSO_4$) şeklinde bulunmaktadır. Baryum tuzları deniz suyunda Stronsiyum tuzlarına oranla daha az çözündüğü için Stronsiyuma kıyasla daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Buna rağmen Stronsiyumun karasal ve denizsel yiyeceklerdeki oranları arasındaki fark baryuma göre daha azdır. Bu yüzden denizsel ve karasal beslenme şeklinde baryum elementi daha ayırt edici olarak kabul edilmektedir (Burton ve Price, 1990).

Tarımcı ve avcı/toplayıcı olabileceği düşünülen iki farklı topluluğun beslenme şekillerinin incelendiği bir çalışmada, tarımcı olduğu tahmin edilen toplulukta erkeklerin Stronsiyum oranının kadınlara kıyasla daha az olduğu görülmüştür. Böylece beslenmede cinsiyetler arasında bir farklılaşma olduğu ortaya konmuştur (Lambert ve ark., 1979). Gebelik ve laktasyon zamanlarında kadınların kemiklerinde Stronsiyumun miktarları yükselmektedir. Bebeklerin Stronsiyum miktarı oldukça düşüktür. Sütten ayırma ile yükselmeye başlamakta ve böylelikle sütten ayırma yaşı da bilinebilmektedir (Blakely, 1989; Katzenberg, 1996).

Son yirmi yılda arkeolojik örneklerde Radyojenik Stronsiyum izotopların ($^{87}Sr/^{86}Sr$) analizi, bir arkeolojik alanda biriken örneklerin veya yerel olmayan bireylerin tanımlanması için kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu biyojeokimyasal analiz, coğrafi ikamet ve paleomobilite süreçlerini aydınlatmada o kadar etkilidir ki bu

biyoarkeolojideki dört büyük devrimden biri olarak kabul edilmektedir. Kemik ve diş minesinin hidroksiapatit kristallerinde kalsiyumun yerini alan Stronsiyum izotopları besin zincirinden hemen hemen değişmediğinden, Stronsiyum izotop analizine coğrafi olarak bağlı gıda tüketimini yansıtan bir zaman kapsülü sağlamaktadır (Bentley, 2006; Knudson ve diğerleri, 2014; Price ve diğerleri., 2002; Slovak ve Paytan, 2011).

Diş minesi ve kemiklerde gerçekleştirilen Stronsiyum izotop analizlerinden elde edilen verilerin yorumlanmasında kullanılan şematik bir gösterim aşağıda verilmiştir

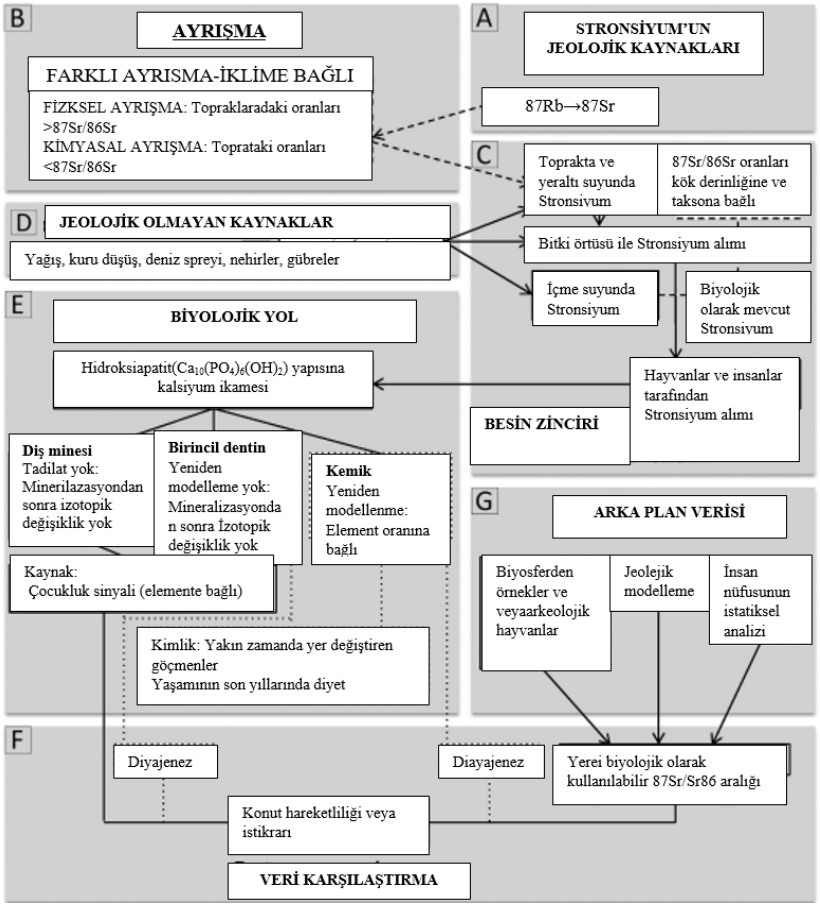


Şekil 1.3. İnsan diş minesi ve kemiğinin Stronsiyum izotop analizinde yer alan olası sonuçlar ve yorumlar (Slovak ve Paytan, 2011).

1.7. Biyolojik Olarak Kullanılabilir Stronsiyumun Haritalanması

Biyolojik olarak kullanılabilir Stronsiyumun haritalanması Stronsiyum izotop analizlerinin yorumlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar $^{87}Sr/^{86}Sr$ değerlerinin, genel olarak tüm besin zinciri boyunca tutarlı olduğunu göstermiştir. Bir Stronsiyum izotop temeli oluşturmak için, toplandıkları alanın biyolojik olarak kullanılabilir Stronsiyumunu gösterecek toprak, bitki veya hayvan örneklerinin seçilmesi gerekmektedir. Numuneler seçilip analiz edildikten sonra, bir Stronsiyum temel haritası oluşturmak için ilgili alanın temel jeolojisi ile karşılaştırma yapmak

gerekir (Evans ve a ark., 2010). Şekil 1.4'de insan kalıntılarında Stronsiyum izotop alımı ve analizlerin temel ilkelerini gösteren örnek bir harita verilmiştir.



Şekil 1.4. İnsan kalıntılarında Stronsiyum izotop alımı ve analizlerin temel ilkeleri (Duxfield ve ark., 2020).

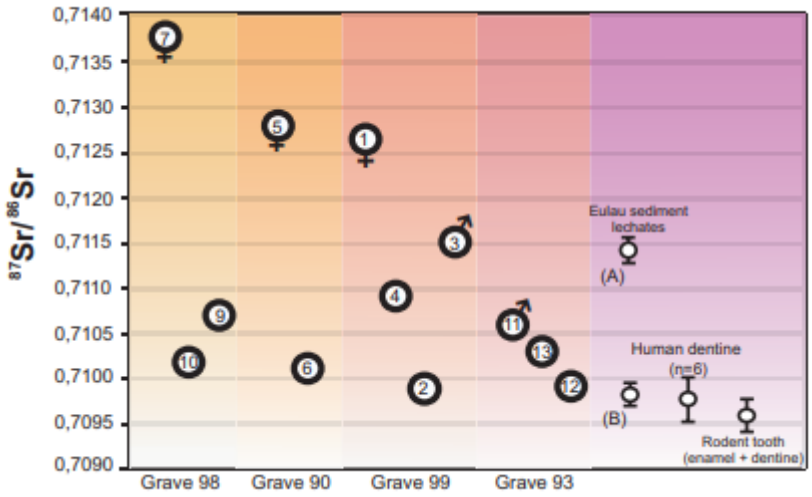
Hayvanlar insanlara fizyolojik olarak benzer olduklarından ve çoklu diyet kaynaklarını homojenleştirdiklerinden doğru biyoyararlı $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları sağlayabilirler. Bununla birlikte, seçim yaparken hayvanların ekolojilerini ve davranışlarını da göz önünde bulundurmak gerekir. Örneğin, göçmen hayvanlar uzun mesafeli yolculuklar yaptıkları için doğru sonuç vermeyebilirler. Genellikle fare, tavşan, sincap, salyangoz gibi hayvanlar hem kolay bulundukları hem de yaşam alanları sınırlı olduğu için tercih edilmektedirler (Price ve ark., 2002).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Grupe ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada Geç Neolitik Çağı Bell Beaker insanlarının hareketliliğini inceleyebilmek amacıyla, Güney Bavyera'daki 69 iskelete ait diş ve kompakt kemiklerde $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarını tayin etmişlerdir. Ortalama $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını diş minelerinde (0.70967), kemiklere (0.70904) kıyasla daha yüksek bulmuşlardır. Aslında küçük bir fark gibi görünmekle birlikte bu farkın önemli olduğunu belirtmişlerdir. Diş minesi çocukluk dönemini, yetişkinin femur kemiğindeki değer ise ölümden önceki birkaç yıl içinde ikamet edilen yeri gösterdiği için $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları arasındaki farklardan bu bireylerin % 17.5 ila % 25 inin göç ettiğini saptamışlardır. Bölgedeki arkeolojik buluntular göçün genel yönünün güneybatıya doğru olduğunu ve göç eden kadınların sayısının da daha fazla olduğunu göstermiştir. Bunu, dış evlilik ile kadınların farklı yerlere gitmesine bağlamışlardır.

Çırak (2003) Mersin Kelenderis kazı alanından getirilen 17 adet insan iskeletinde (9 kadın, 8 erkek) çinko, Stronsiyum ve baryum analizlerini ICP – OES aracılığıyla gerçekleştirmiş ve incelediği iskeletlerin ait oldukları toplumun beslenme alışkanlıklarını belirlemeye çalışmıştır. İnsanlarda ortalama Sr miktarı 100 ila 200 ppm arasında olduğunu vurgulamıştır. Bitki kaynaklı beslenme artıkça o kadar çok Stronsiyum miktarının artacağını ifade etmiştir. Kadınlarda ortalama Sr, Ba, Zn miktarlarını sırasıyla 179, 83, 159 ppm olarak, erkeklerde ise 199, 104, 154 ppm olarak bulmuştur. Erkeklerde Stronsiyum ve baryum değerleri dişilerden daha yüksek bulunmuştur. Bunu erkeklerin kadınlara göre daha fazla bitki bazlı gıda tüketmiş olabileceğine dayandırmıştır. Kadın ve erkek bireylerde çinko miktarlarının çok yakın bulunması et tüketimlerinin benzer olabileceğini düşündürmüştür. Çinko miktarları, Stronsiyuma oranla daha düşük saptanmıştır. Bu topluluğun hayvansal besinler yerine bitkisel besinleri daha fazla tercih ettiğini göstermiştir.

Haak ve ark. (2008) Almanya Eulau'da yapılan kazılar sonrası çıkan insan dişlerinde termal iyonizasyon kütle spektrometresi ile Stronsiyum izotop analizleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları aşağıdaki grafikte özetlemişlerdir. Grafikte kadınlara ait $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını dişi sembolü ile erkeklere ait oranları erkek sembolü ile çocuklara ait oranları da daire işareti ile göstermişlerdir.



Şekil 2.1. Almanya Eulau'da yapılan kazılar sonrası çıkan insan dişlerinde termal iyonizasyon kütle spektrometresi ile Stronsiyum izotop analizleri sonuçları

Erkeklerin ve çocukların $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları 0.7105 civarında bir grup oluştururken kadınlarınkiler 0.7125'den büyük olacak şekilde gruplanmıştır. Elde ettikleri sonuçlardan, erkekler ile çocukların büyük olasılıkla Eulau bölgesinde yaşayıp ölen "yerliler" olduğunu, ancak kadınların, çocuklarını büyüttükleri yerden farklı bir yerde yetiştirilmiş olabileceklerini, bunun da dış evliliklerden kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Çırak (2010) yaptığı çalışmada 2003-2004 yıllarında Minnetpınarı kazı alanındaki 65 mezardan çıkarılan 58 adet iskelette ve kazı alanından getirilen topraklarda polarize enerji dağılımlı X ışınları floresansı ile eser ve makro element analizleri yapmıştır. Baryum ve Stronsiyum miktarlarının bitkisel beslenme sonucunda yükseleceğini ifade etmiştir. Kadın bireylerde ortalama Stronsiyum ve baryum miktarlarını sırasıyla 472.78 ppm ve 108.62 ppm olarak, erkeklerde ise 431.88 ppm ve 102.64 ppm olarak belirlemiştir. Bu sonuçlardan, Minnetpınarı toplumunda kadın bireylerin erkeklere göre daha çok bitkisel ürünleri beslenmede tercih ettiklerini ortaya koymuştur. Ayrıca, erkek ve kadın bireylerin Sr/Ca oranlarını incelemiş ve erkeklerde bu oranın daha az olduğunu tespit etmiştir. Erkeklerde 1.05 olan Ca/Sr oranının kadınlarda 1.17 olduğunu belirlemiştir. Bu sonucun da, kadın bireylerin erkeklere kıyasla daha fazla bitkisel gıdalarla beslendiğini desteklediğini belirtmiştir.

Britton ve ark. (2011) Fransa'nın Jonzac bölgesinde yapılan kazılardan ele geçen üç ren geyiği ve bir bizona ait diş minesi örneklerinde MC-ICP-MS cihazı ile

Stronsiyum izotop analizi yapmışlardır. Bu hayvanların göç davranışlarını incelemek istemişlerdir. Bu çalışmada incelenen tüm hayvanların $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları 0.7090 ve 0.7104 arasında kalmıştır. Stronsiyum miktarları ise 13 ppm ile 166 ppm arasında değişmiş ve ortalaması 76 ppm olarak bulunmuştur. Bizonun kemik örnekleri $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları 0.7090 ile 0.7091 arasında çıkmıştır. Bizonun yerel bir aralıkla en tutarlı izotop değerlerine sahip olduğunu, bu nedenle göç etmediğini, Ren geyiklerinin $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları ise 0.7095 ile 0.7104 arasına çıkmıştır. Bu da mevsimsel bir göç yaptıklarını göstermiştir. Zooarkeolojik sonuçlarla bağlantılı olarak Ren geyiklerinden ikisinin benzerliği, onların aynı sürüden olabileceğini ve mevsimlik döngüleri sırasında muhtemelen aynı noktada öldürüldüklerini göstermiştir.

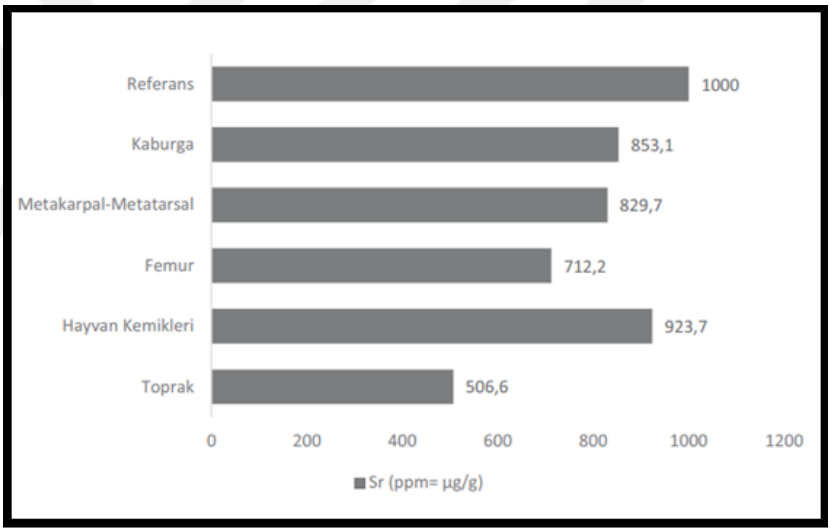
Knudson ve ark. (2010) Güney Perudaki arkeolejik alanlardan çıkarılan insan kaburga ve kalça kemiklerinde, MC-ICP-MS cihazı ile $^{87}Sr/^{86}Sr$ ve $^{88}Sr/^{87}Sr$ analizlerini gerçekleştirmişlerdir. $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını 0.706858 ile 0.710031 arasında tespit etmişlerdir. Küçük memeliler üzerinde yapılan önceki çalışmalardan $^{87}Sr/^{86}Sr$ için yerel aralık 0.7058 - 0.7082 olarak belirlenmiştir. Değerlerdeki benzerlikten incelenen bölge insanlarının göç etmediğini saptamışlardır. $^{88}Sr/^{87}Sr$ oranlarının ise daha çok Stronsiyum kaynaklı beslenip beslenmediklerini gösterdiğini ifade etmişlerdir. İnsan kemiklerinin $^{88}Sr/^{86}Sr$ (‰) ortalamasını -0.25 ± 0.21 olarak bulmuşlardır. Yine önceki çalışmalardan küçük otçulların Stronsiyum $^{88}Sr/^{86}Sr$ (‰) oranı -0.09 ± 0.07 olarak, büyük otçullarınki ise -0.21 ± 0.15 olarak bulunmuştur. Bu değerleri karşılaştırarak da, o bölgede yaşayanların büyük çoğunluğunun diyetlerinde farklılık olmadığını belirtmişlerdir.

Knudson ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada Viking Dublin'de yaşayan ve ölen insanların kökenlerini araştırmışlardır. Bu amaçla insanların diş ve kemiklerinde MC-ICP-MS cihazı ile Stronsiyum izotop analizleri yapmışlardır. Ortalama $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranını 0.70975 ± 0.00139 olarak belirlemişlerdir. Yerel domuz kemik örneklerinde ise ortalama $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranını 0.70943 ± 0.00144 olarak tespit etmişlerdir. Bu verileri karşılaştırarak bu bölgede yaşayan insanların göçmen olmadığını ifade etmişlerdir.

Giblin ve ark. (2013) Neolitik ve Bakır Çağında yaşayan insanların Büyük Macar Ovasından göç edip etmediklerini aydınlatmak için MC-ICP-MS cihazı ile insan kemiklerinde ve dişlerinde Stronsiyum izotop analizleri gerçekleştirmişlerdir. Diş örneklerinde $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranını 0.070936 ile 0.71067 arasında tespit etmişlerdir. Çeşitli

kemik örneklerinde ise $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranını 0.70963 ile 0.71057 arasında belirlemişlerdir. Daha önceki çalışmalarda, Büyük Macar Ovası'ndan ve çevresindeki sıradağlardan alınan kaya ve su örneklerinin Stronsiyum izotop analizleri yapılmış ve 0.7040 ile 0.7114 arasında değerler elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen Stronsiyum izotop verilerini önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlar ve Geç Neolitik ve Bakır Çağı'ndaki bireylerin Büyük Macar Ovası ve kuzey yaylalarının sınırları içinde büyüdüklerini ve aynı bölgede öldüklerini, yakınlardaki doğu yaylalarındaki kaynakları dahi kapsamlı bir şekilde kullanmadıklarını belirtmişlerdir.

Sevdin (2017) çalışmasında, Niğde'de bulunan Tepecik-Çiftlik arkeolojik kazı bölgesinden alınan ve tarihlendirmesi Neolitik dönem olarak belirlenen 25 bireyin el, kaburga ve ayak tarak kemiklerinde element birikimlerini PED-XRF yöntemiyle tespit etmiştir.



Şekil 2.2. Stronsiyumun kaburga, el ve ayak tarak kemiklerinde tespit edilen değerleri

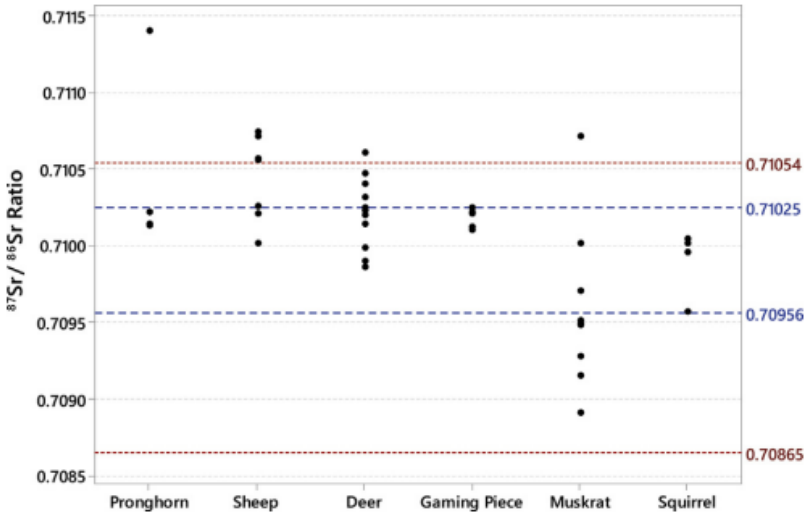
Stronsiyumun kaburga, el ve ayak tarak kemiklerinde tespit edilen değerleri sırasıyla 853.1 ppm ve 829.7 ppm'dir. Femurda tespit edilen değer 712.2 ppm'e gerilerken, hayvan kemiklerinde 923.7 ppm'e yükselmektedir. Topraktaki Stronsiyum değeri 506.6 ppm'dir. Kemiklerdeki değişim katsayısı kaburgada % 12.7, tarak kemiklerinde % 13, femurda % 16.5, hayvan kemiklerinde % 14.5'dur. Toprakta % 22.3'e yükselmiştir. Analizi yapılan üç kemik grubunda Stronsiyumun miktarları biyojenik sınırlarda ve topraktan yüksek değerler sergilemiştir. Bu durum Stronsiyumun gömü sonrası değişimlerden daha az etkilendiğini göstermiştir. Tarih öncesi toplumların beslenme modelinin araştırıldığı çalışmalarda, Stronsiyum miktarlarının örnek grupları

arasındaki değişim katsayısının % 20-30'un altında olması, Stronsiyumun beslenme ile geldiğini, diyagenezi yansıtmadığı göstermektedir. Topraktaki Stronsiyum miktarının kemiklerden düşük olması bu düşünceyi desteklemiştir.

Snoeck ve ark. (2018) Stonehenge'de 25 farklı bireyi temsil eden yakılmış oksipital kemik parçaları üzerinde kızılötesi, elementel ve izotopik analizler yapmışlardır. Ek olarak, Batı Galler'deki sekiz lokasyondan 17 modern bitki örneğinin Stronsiyum izotop oranlarını ($^{87}Sr/^{86}Sr$) çoklu toplayıcı endüktif-birleştirilmiş-plazma kütle spektrometrisi (MC-ICP-MS) ile ölçmüş ve İngiltere'de daha önce yayınlanmış modern bitki, su ve dentin verileriyle karşılaştırmışlardır. Stonehenge ve Batı Galler ile Britanya'nın diğer bölgeleri için biyolojik olarak mevcut oran Stronsiyum izotop aralığını 0.7074 - 0.7090 olarak almışlardır. İnsan kalıntıların Stronsiyum izotop oranlarını 0.7078 ile 0.7118 arasında saptamışlardır. 0.7090 değerinin altında tespit edilen 15 bireyin kökeninin Batı Galler olabileceğini, 0.7091 ile 0.7118 arasında buluna 10 bireyin ise o bölgeden olmadığını, göç ettiklerini ya da en azından bazı bireylerin gömülmek üzere bölgeye getirildiğini ifade etmişlerdir.

Whelton ve ark. (2018) Yunanistan'ın kuzeyindeki Neolitik insanların hareketliliğini araştırmak için Stronsiyum izotop oranlarını kullanmışlardır. 36 kişiye ait diş minelerinin $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını TIMS cihazı ile ölçmüşlerdir. Önceki çalışmalardan incelenen bölgedeki anakayanın $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarının 0.70918-0.79020 arasında kaldığını belirlemişlerdir. İnceledikleri diş minelerinde Stronsiyum izotop oranlarını 0.70847 – 0.71467 arasında tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları önceki çalışmalardan elde edilen değerlerle karşılaştırarak bölge içindeki genel nüfus hareketliliğinin sınırlı olduğunu, Kleitos'taki bireylerden üçünün Stronsiyum izotop oranlarının yerel $^{87}Sr/^{86}Sr$ aralığının dışında kaldığını ve bu bireylerin göç etmiş olabileceklerini belirtmişlerdir.

Lambert (2019) Utah'daki tavşanımsılar, kemirgenler, geyikler ve koyunların kesişici dişlerinden ve büyük hayvanların uzun kemiklerinden 75 örnek alarak ICP-MS cihazı ile $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını saptamış ve bölge bölge $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları ile karşılaştırarak grafiğe dökmüştür. Kırmızı çizgi dışında kalan hayvanların yerel olmadığı, diğerlerinin ise yerel olduğu yorumunu yapmıştır.



Şekil 2.3. Utah'daki tavşanımsılar, kemirgenler, geyikler ve koyunların kesişici dişlerinden ve büyük hayvanların uzun kemiklerinden 75 örnek $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları ve bölge bölge $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları

Pfeiffer ve ark. (2020) Huron-Wendat halkının hareketliliğini incelemek için güney Ontario'daki 44 arkeolojik alandan küçük memeli, geyik ve insanlara ait diş minesi örnekleri alarak $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını MC-ICP-MS cihazı ile belirlemişlerdir. Analiz sonucunda ortalama $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranını 0.709443 ± 0.051071 olarak, $^{87}Sr/^{86}Sr$ aralığını ise 0.708308 ile 0.712295 arasında tespit etmişlerdir. İnsan dişlerinin çoğundan elde edilen Stronsiyum izotop oranlarını küçük memeliler için elde edilen değerlerle uyumlu bulmuşlardır. Birkaç değer önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Bunun nedeninin iç göçler olabileceğini ifade etmişlerdir.

Nieto-Espinet ve ark. (2020) Languedoc'daki iki önemli demir çağı bölgesinin La Monédière (Bessan) ve Lattara (Lattes) zooarkeolojik sonuçlarını incelemişlerdir. Bu amaçla keçi, koyun ve sığır dişlerinin Stronsiyum izotop oranlarını belirlemişlerdir. $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını 0.707691 ile 0.719532 arasında bulmuşlardır. Ayrıca yaprak numunelerinin $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını da incelemişler ve 0.706704 ile 0.711104 arasında tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçların diğer arkeolojik verilerle uyumlu olduğunu ve demir çağı Languedoc'taki hayvancılık hakkında kapsamlı bir fikir edindiklerini ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Kullanılan meteryallerin resimleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Alman kasa 2 (Dirsek kemiği) (Numune no:1)



Şekil 3.1. Alman kasa 4 (Parmak kemiği / el) (Numune no:2)



Şekil 3.2. Alman kasa 5 (Uzun kol kemiği) (Numune no:3)



Şekil 3.3. Alman kasa 8 (Dirsek kemiği) (Numune no:4)



Şekil 3.4. DNM-42 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:5)



Şekil 3.5. DNM-43 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:6)



Şekil 3.6. DNM-44 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:7)



Şekil 3.7. DNM-55 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:8)



Şekil 3.8. DNM-56 (Uyluk kemiği) (Numune no:9)



Şekil 3.9. DNM-66 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:10)



Şekil 3.10. DNM-70 (Sağ alt çene kemiği) (Numune no:11)



Şekil 3.11. DNM-66 (Salyangoz) (Numune no:12)



Şekil 3.12. DNM-59 (Salyangoz) (Numune no:13)

3.1.1. Kullanılan Kimyasallar

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler

Kimyasal Madde Adı	Üretici Firma	Katalog No
Nitrik asit % 65	Merck	807500
Hidrojen peroksit % 32	Merck	107711

3.1.2. Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar

Cihaz	Marka	Model
Saf su cihazı	New Human Power	New Human Power I
Hassas terazi	Radwag	AS 220/C/2
Gravür cihazı	Maestero	MTCF1037
Kül fırını	Protherm	PLF120/A
Ultrasonik su banyosu	MIPRO	B L.2.7
ICP-MS	PerkinElmer	NexION 300D

3.2. Yöntem

3.2.1. Örneklerin Temin Edilmesi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı ve Mersin Üniversitesi adına Prof. Dr. Ümit AYDINOĞLU başkanlığında yürütülen Uzuncaburç (Diocaesarea) Kazısından 2022 yılında çıkartılarak depolardan örneklerden istek üzerine alınmıştır.

3.2.2. Görünür Kirlerin Mekanik Yolla Uzaklaştırılması ve Yıkama

Uzuncaburç kazılarında elde edilen iskeletler kazı sonrasında toprak kalıntılarından kabaca arındırılmıştır. Sonrasında kemiklerin yüzeylerindeki görünür kirlilik fırça yardımı ile yüzeyden mekanik olarak uzaklaştırılmıştır. Kemiklerin iç kısımlarından numuneler alınacağı için yıkama işlemine gerek duyulmamıştır. Salyangoz numuneleri ultrasonik bonyo ile yıkanmış ve saf su kullanarak temizlenmiştir.

3.2.3. Numunelerin Alınması

Çalışmanın bu aşamasında Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Kimya Bölümü Laboratuvarı kullanılmıştır. Mekanik olarak görünür kirliliğin uzaklaştırılması ve yıkanması ardından her bir numune ayrı poşetlere alınarak numaralandırılmıştır.

Her bir kemiğin içinden gravür cihazı ile numuneler alınmıştır. Gravür cihazının kullanılamadığı salyangoz numuneleri seramik havan yardımıyla öğütülerek toz haline getirilmiştir. Tüm numuneler numaralandırılmış ağzı kapaklı tüplere konulmuştur.

3.2.4. Yakma İşlemi

Krozelere yerleştirilen örnekler 4-5 saat boyunca 900 ℃'de kül fırınında yakılarak organik faz uzaklaştırılmıştır. Sonra 2 ml'lik santrifüj tüplerine alınarak ağzı sıkıca kapatılmıştır (Schweissing ve Grupe, 2000).

3.2.5. Saflaştırma İşlemleri

Kütle spektrometrik analiz öncesinde, diğer elementlerin ve bileşiklerin (özellikle ^{87}Rb) kütle girişimini (izobarik girişim) azaltmak ve iyonizasyon verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için saflaştırma işleminin yapılması gerekmektedir. Bunun için sıralsıyla aşağıda belirtilen işlemler gerçekleştirilmiştir (Giblin ve ark., 2013; Maurer ve ark., 2012).

1) 900 °C'de kül edilen örnekten 20 mg alınmıştır.
2) Üzerine 1 ml derişik HNO_3 (% 65'lik) ve 200 µl derişik H_2O_2 (% 32'lik) ilave edilmiştir.
3) Ardından 2 ml saf su ilave edilerek 24 saat bekletilmiş ve örneğin tamamıyla çözünmesi sağlanmıştır.
4) Bu şekilde çözünmüş örnek kuruluğa kadar ısıtıcı üzerinde ve çeker ocak altında buharlaştırılmıştır. Beherin içerisinde hiç çözelti kalmamasına ve ısıtıcı üzerinde de fazla bekletilip yakılmamasına dikkat edilmiştir.
5) Kalıntı üzerine yaklaşık 5 ml saf su eklenip membran filtreden (0,45 µm) süzülmüş ve süzüntü 50 ml'ye tamamlanmıştır.

3.2.6. Stronsiyum İzotop Analizleri

^{88}Sr, ^{87}Sr ve ^{86}Sr izotopları PerkinElmer NexION 300D ICP-MS spektrometre ile analiz edilmiştir. Analitik kemik yönteminin doğrulanmasına yardımcı olmak için standart referans malzeme NIST-SRM 1400 (kemik külü) kullanılmıştır. NIST-SRM 1400 ün sertifikasında, içerdiği toplam Stronsiyum miktarı 249 ± 7 mg kg^{-1} olarak belirtilmiştir. Yapılan analizler sonucunda toplam Stronsiyum konsantrasyonu 247 ± 2 mg kg^{-1} olarak saptanmıştır. Bu da, ICP – MS'nin kalibrasyonunun kabul edilebilir sınırlarda olduğunu göstermektedir.

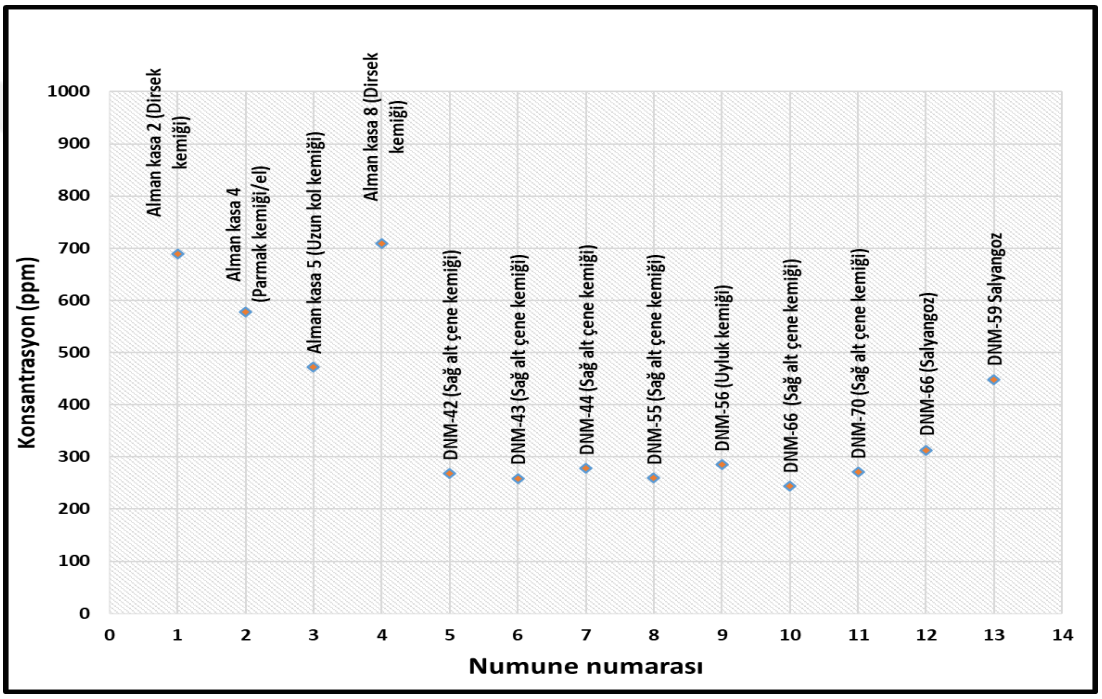
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Analizler sonucunda kemik ve salyangoz örneklerinde tespit edilen Stronsiyum miktarları ve alınan numune miktarlarına bağlı olarak hesaplanan miktarlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kemik ve salyangoz örneklerinde tespit edilen Stronsiyum miktarları (N=3)

Numune	Ölçülen Toplam Sr Miktarı (µg L^{-1})	Alınan Numune Miktarı (g)	Toplam Sr Miktarı (µg g^{-1})
Standart	131.97 ± 1.48	0.0267	247.13 ± 1.51
Alman kasa 2 (Dirsek kemiği)	410.36 ± 3.49	0.0298	688.52 ± 3.50
Alman kasa 4 (Parmak kemiği/el)	297.28 ± 2.14	0.0257	578.36 ± 3.16
Alman kasa 5 (Uzun kol kemiği)	234.32 ± 0.22	0.0248	472.42 ± 0.44
Alman kasa 8 (Dirsek kemiği)	445.35 ± 2.96	0.0314	709.16 ± 3.71
DNM-42 (Sağ alt çene kemiği)	105.49 ± 1.10	0.0197	267.74 ± 1.58
DNM-43 (Sağ alt çene kemiği)	110.32 ± 0.44	0.0213	258.97 ± 1.04
DNM-44 (Sağ alt çene kemiği)	126.46 ± 0.77	0.0227	278.55 ± 1.71
DNM-55 (Sağ alt çene kemiği)	108.20 ± 0.57	0.0208	260.10 ± 1.37
DNM-56 (Uyluk kemiği)	105.83 ± 0.33	0.0185	286.03 ± 0.89
DNM-66 (Sağ alt çene kemiği)	86.49 ± 0.70	0.0177	244.32 ± 1.98
DNM-70 (Sağ alt çene kemiği)	98.01 ± 0.62	0.0181	270.74 ± 1.71
DNM-66 (Salyangoz)	146.97 ± 1.96	0.0235	312.70 ± 1.48
DNM-59 (Salyangoz)	230.02 ± 1.22	0.0257	447.51 ± 2.38

İnsan kemik örneklerinde toplam Stronsiyum miktarları 244.32 ile 709.16 μg g^{-1} arasında tespit edilmiştir. En yüksek Stronsiyum miktarlarına dirsek kemiklerinde (688.52 ve 709.16 μg g^{-1}) rastlanmıştır. En düşük Stronsiyum miktarları ise alt çene kemiklerinde (244.32 – 278.55 μg g^{-1}) bulunmuştur. Salyangoz örneklerinde ise toplam Stronsiyum miktarları 312.70 ile 447.51 μg g^{-1} arasında belirlenmiştir. Örneklerde tespit edilen Stronsiyum miktarlarının dağılımını daha net bir şekilde görebilmek amacıyla elde edilen değerler Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Örneklerde tespit edilen Stronsiyum miktarlarının dağılımı

Numunelerin Stronsiyum izotoplarına ait ölçüm değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Elde edilen değerlerden yararlanılarak $^{88}Sr/^{87}Sr$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ ve $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranları hesaplanmış ve Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

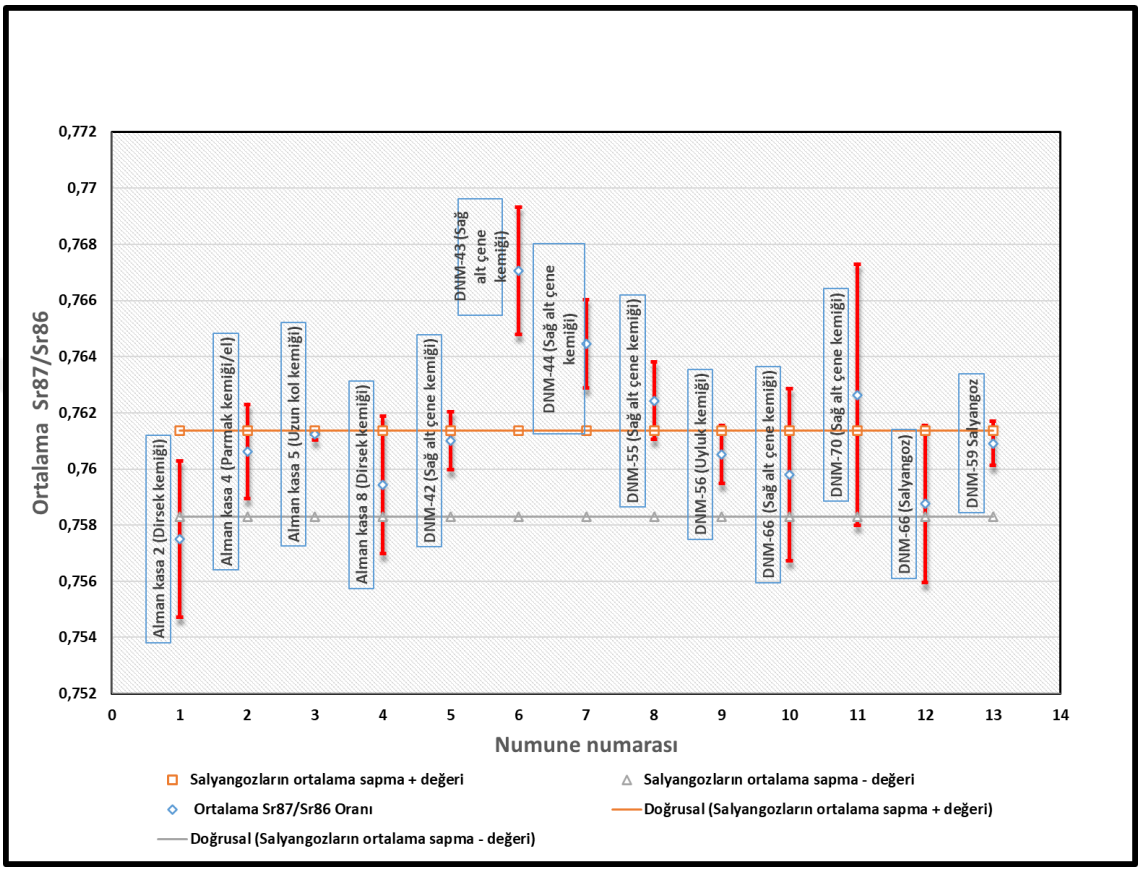
Çizelge 4.2. Numunelerin Stronsiyum izotoplarının ölçüm değerleri

Numune	Ölçülen Toplam ^{84}Sr Yoğunluk	Ölçülen Toplam ^{86}Sr Yoğunluk	Ölçülen Toplam ^{87}Sr Yoğunluk	Ölçülen Toplam ^{88}Sr Yoğunluk
Standart	12946 ± 13	250425 ± 1311	191602 ± 2450	2595572 ± 13875
Alman kasa 2 (Dirsek kemiği)	42398 ± 176	835141 ± 3460	632620 ± 2389	8725917 ± 39035
Alman kasa 4 (Parmak kemiği/el)	32553 ± 181	638261 ± 3397	485474 ± 3646	6717510 ± 73934
Alman kasa 5 (Uzun kol kemiği)	26945 ± 150	530333 ± 4286	403709 ± 3156	5599889 ± 51989
Alman kasa 8 (Dirsek kemiği)	43646 ± 202	855881 ± 8729	649991 ± 4529	9096800 ± 91327
DNM-42 (Sağ alt çene kemiği)	12205 ± 37	240935 ± 4381	183354 ± 1583	2581422 ± 17130
DNM-43 (Sağ alt çene kemiği)	12304 ± 18	242674 ± 1530	186146 ± 1624	2612509 ± 10503
DNM-44 (Sağ alt çene kemiği)	14401 ± 24	280709 ± 2369	214588 ± 1371	3028071 ± 16584
DNM-55 (Sağ alt çene kemiği)	12784 ± 12	249368 ± 1876	190125 ± 1087	2692755 ± 20476
DNM-56 (Uyluk kemiği)	11477 ± 56	223268 ± 1050	169799 ± 1027	2330248 ± 15545
DNM-66 (Sağ alt çene kemiği)	89589 ± 177	175215 ± 2831	133127 ± 2689	1688276 ± 25486
DNM-70 (Sağ alt çene kemiği)	10680 ± 175	207748 ± 1387	158436 ± 2025	2177419 ± 14789
DNM-66 (Salyangoz)	14974 ± 70	295780 ± 5342	224425 ± 1424	3199792 ± 19096
DNM-59 (Salyangoz)	24480 ± 293	483240 ± 2441	367704 ± 2238	5207758 ± 53295

Çizelge 4.3. Numunelerin Stronsiyumun izotoplarının birbirlerine oranları

Numune	**$^{88}Sr/^{87}Sr$**	**$^{87}Sr/^{86}Sr$**	**$^{88}Sr/^{86}Sr$**
Standart	13.55 ± 0.07	0.765 ± 0.003	10.36 ± 0.01
Alman kasa 2 (Dirsek kemiği)	13.79 ± 0.09	0.758 ± 0.003	10.45 ± 0.03
Alman kasa 4 (Parmak kemiği/el)	13.84 ± 0.05	0.761 ± 0.002	10.52 ± 0.06
Alman kasa 5 (Uzun kol kemiği)	13.87 ± 0.02	0.761 ± 0.001	10.56 ± 0.01
Alman kasa 8 (Dirsek kemiği)	13.99 ± 0.04	0.759 ± 0.002	10.63 ± 0.01
DNM-42 (Sağ alt çene kemiği)	14.08 ± 0.08	0.761 ± 0.001	10.71 ± 0.05
DNM-43 (Sağ alt çene kemiği)	14.03 ± 0.01	0.767 ± 0.002	10.76 ± 0.02
DNM-44 (Sağ alt çene kemiği)	14.11 ± 0.01	0.764 ± 0.002	10.79 ± 0.03
DNM-55 (Sağ alt çene kemiği)	14.16 ± 0.03	0.762 ± 0.001	10.80 ± 0.01
DNM-56 (Uyluk kemiği)	13.72 ± 0.01	0.761 ± 0.001	10.44 ± 0.02
DNM-66 (Sağ alt çene kemiği)	12.68 ± 0.07	0.760 ± 0.003	9.63 ± 0.01
DNM-70 (Sağ alt çene kemiği)	13.74 ± 0.08	0.763 ± 0.005	10.48 ± 0.01
DNM-66 (Salyangoz)	14.26 ± 0.11	0.759 ± 0.003	10.82 ± 0.04
DNM-59 (Salyangoz)	14.16 ± 0.06	0.761 ± 0.001	10.78 ± 0.06

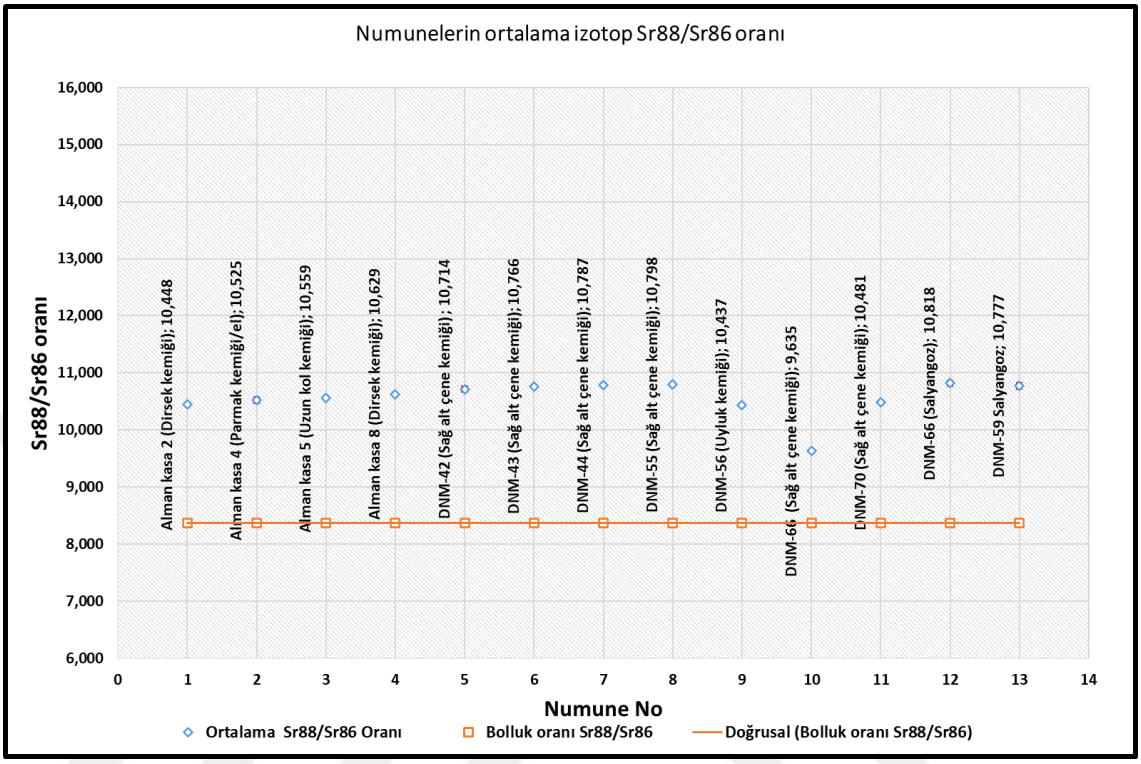
Örneklerde tespit edilen $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımını daha net bir şekilde görebilmek amacıyla elde edilen değerler Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Örneklerde tespit edilen $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımını

Salyangoz numunelerinin $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları 0.759 ± 0.003 ve 0.761 ± 0.001 olarak bulunmuştur. Bu değerler yerel bölgenin $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranlarını yansıtmaktadır. Kemik örneklerinde tespit edilen $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları ise 0.758 ± 0.003 ile 0.767 ± 0.002 arasında saptanmıştır. Ortalama değerin ise 0.761 olduğu görülmektedir. Bu da salyangoz örnekleri için elde edilen değerlere yakın olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte; Şekil 4.2 incelendiğinde 6 nolu (DNM-43 sağ alt çene kemiği) ve 7 nolu (DNM-44 sağ alt çene kemiği) örneklerin salyangoz örneklerinden uzakta kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu iki örneğin salyangoz ve diğer kemik örnekleriyle aynı bölgeye ait olmadığı söylenebilir.

Benzer şekilde, örneklerde tespit edilen $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımını daha net bir şekilde görebilmek amacıyla elde edilen değerler Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Örneklerde tespit edilen $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımını

Salyangoz numunelerinin $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranları 10.78 ± 0.06 ve 10.82 ± 0.04 olarak bulunmuştur. Kemik örneklerinde tespit edilen $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranları ise 9.63 ± 0.01 ile 10.80 ± 0.01 arasında saptanmıştır. Salyangoz ve kemik örneklerinin $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranlarının dağılımını gösteren Şekil 4.3 incelendiğinde genellikle dağılımın birbirlerine yakın olduğu, sadece 10 nolu DNM-66 (Sağ alt çene kemiği) örneğin diğer örneklerden uzakta kaldığı görülmektedir. Bunun da diyageneze daha fazla uğramış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Numunelerin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının salyangozların $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarına göre ‰ yakınlıkları Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. Hesaplamalar aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$^{87}Sr/^{86}Sr = [(^{87}Sr/^{86}Sr \text{ numune} / {}^{87}Sr/^{86}Sr \text{ salyangoz DNM-66}) - 1] \times 1000$$

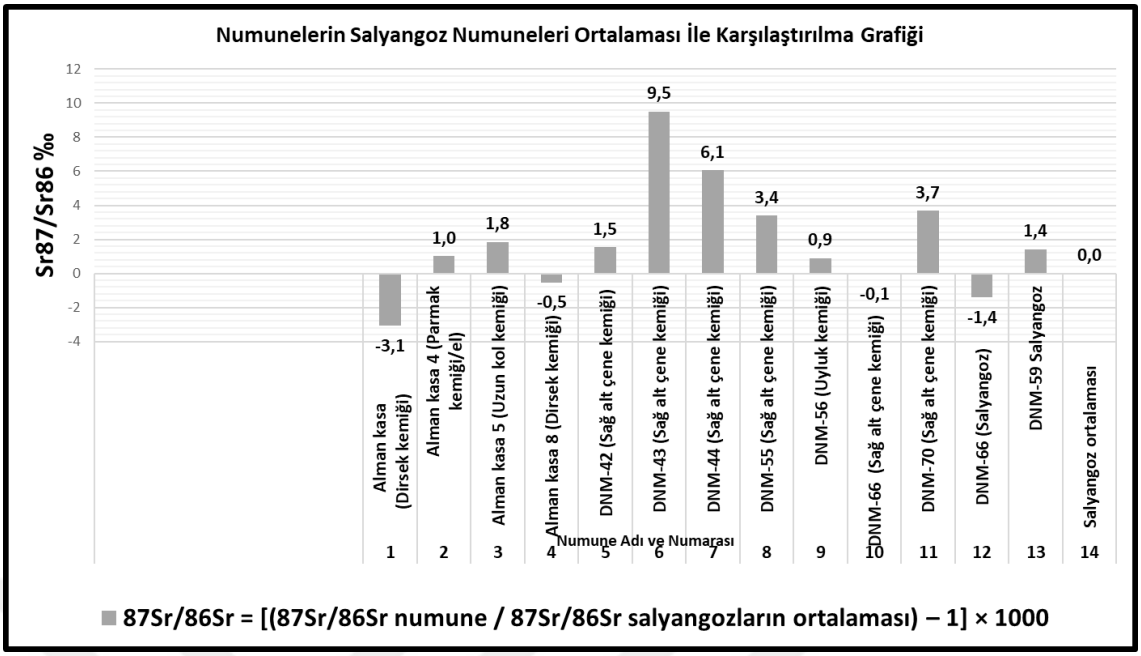
$$^{87}Sr/^{86}Sr = [(^{87}Sr/^{86}Sr \text{ numune}/{}^{87}Sr/^{86}Sr \text{ salyangoz DNM-59}) - 1] \times 1000$$

$$^{87}Sr/^{86}Sr = [(^{87}Sr/^{86}Sr \text{ numune} / {}^{87}Sr/^{86}Sr \text{ salyangozların ortalaması}) - 1] \times 1000$$

Çizelge 4.4. Numunelerin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının salyangozların $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarına göre ‰ yakınlıkları

Numune	Salyangoz DNM 66'dan uzaklıkları	Salyangoz DNM-59'dan uzaklıkları	Salyangozların ortalamasına uzaklıkları
Standart	7.905	5.256	6.579
Alman kasa 2 (Dirsek kemiği)	-1.318	-3.942	-2.632
Alman kasa 4 (Parmak kemiği/el)	2.635	0.000	1.316
Alman kasa 5 (Uzun kol kemiği)	2.635	0.000	1.316
Alman kasa 8 (Dirsek kemiği)	0.000	-2.628	-1.316
DNM-42 (Sağ alt çene kemiği)	2.635	0.000	1.316
DNM-43 (Sağ alt çene kemiği)	10.540	7.884	9.211
DNM-44 (Sağ alt çene kemiği)	6.588	3,942	5.263
DNM-55 (Sağ alt çene kemiği)	3.953	1.314	2.632
DNM-56 (Uyluk kemiği)	2.635	0.000	1.316
DNM-66 (Sağ alt çene kemiği)	1.318	-1.314	0.000
DNM-70 (Sağ alt çene kemiği)	5.270	2.628	3.947
DNM-66 (Salyangoz)	0.000	-2.628	-1.316
DNM-59 (Salyangoz)	2.635	0.000	1.316

Numunelerin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının salyangozların $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarına göre ‰ yakınlıklarını daha net bir şekilde görebilmek amacıyla elde edilen değerler Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Numunelerin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının salyangozların $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarına göre ‰ yakınlıkları

Şekil 4.4 incelendiğinde, salyangoz ortalamalarına en uzak olan örneğin 6 nolu (DNM-43 sağ alt çene kemiği) olduğu, en yakın örneğin ise 10 nolu DNM-66 (sağ alt çene kemiği) olduğu görülmektedir. Bu durumda 10 nolu örneğin ait olduğu bireyin göç etmiş olma ihtimalinin bulunmadığı ama 6 nolu örneğin ait olduğu bireyin ise göç etmiş olma olasılığının bulunduğu söylenebilir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Arkeometri Bilimi, organik yapının kimyasal, fiziksel, mineralojik, mikro morfolojik özellikleri ve bulunduğu ortamın paleocoğrafik ve iklimsel özelliklerini araştıran veya arkeolojik çalışmalar sonucunda bulunan materyalleri inceleyen bir bilim dalıdır (Beşer, 2010).

İzotop analizleri arkeolojik çalışmalarda çok sık kullanılmaktadır. En sık kullanılan iki element Kurşun ve Stronsiyumdur. Bu elementlerin ikisi de radyojenik kökenlidir. Başka bazı izotoplar da jeokronolojik ve jeokimyasal araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Zofia ve Stos, 1989).

Özellikle son yıllarda yaygınlaşan yeni bir yaklaşım olan multidisiplinel çalışma, bilim dünyasında saygınlık kazanmıştır. Bu çalışmalar arkeometriye önem kazandırmış olup hızla geliştirmektedir. Ülkemizdeki arkeolojik bilimsel çalışmalar için kullanılan insan iskeletlerinin bir kısmı toplu gömüler, inşaat, yol vb. çalışmalarda tesadüfen ele geçmekte, bir kısmı ise sistemli arkeolojik kazılarda bulunmaktadır.

İskeletlerin yaşlarını belirleyebilmek için epifizlerin, kranyumun, kostaların, maksiller suturaların, dişlerin, skapula, femur, pelvis kemiklerin incelenmesinde kombine yöntemler, radyolojik yöntemler, histolojik yöntemler kullanılmaktadır.

Son yıllarda arkeometri biliminin gelişmesiyle bu yöntemlerin dışında da çalışmalar yapılmaya başlamıştır. İskeletlerin sadece yaşları değil aynı zamanda yaşadıkları bölgenin iklimsel özellikleri ve floral yapıları hakkında fikir yürütülmektedir. Ayrıca, beslenme biçimlerini, anatomik özelliklerini ve mineral yapılarını incelemeye imkân sağlanmıştır (Beşer, 2010).

Temel beslenme bilgisi, sosyal sınıfı belirleme, ekonomik durum, cinsiyete göre beslenme, kaynak yerlerine ulaşım, toplayıcılık, avcılık ve toplayıcılıktan tarıma geçiş, evcil hayvanların tarım ekonomilerindeki yeri, yerleşik köy çiftçileri ve kır göçebeleri arasındaki ilişkiler, cinsiyetler arasında davranış ve beslenmenin farklarını ortaya çıkarmıştır. Bulguların arkeolojik olarak değerlendirilmesiyle yeni bakış açıları ortaya çıkmıştır (Price ve ark.,1985; Çırak ve Akyol, 2014).

Bu çalışmada; Mersin Uzuncaburç kazısından alınan kemik örneklerinde ICP-MS cihazı ile $^{84}Sr/^{86}Sr/^{87}Sr/^{88}Sr$ izotoplarının analizleri ile diagenetik etki ve o dönemde yaşayan insanların göç olgusu, beslenme ve sosyal yaşamın incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışma ile bu önemli bölgedeki insan sosyal yaşamı hakkında bulguların elde

edileceği düşünülmüştür. Antik kent ve kazı alanında bu yönden herhangi bir çalışmanın bulunmaması yapılan tez çalışmasının özgünlüğünü göstermektedir.

İnsan kemik örneklerinde toplam stronsiyum miktarları 244.32 ile 709.16 μg g^{-1} arasında tespit edilirken, salyangoz örneklerinde toplam stronsiyum miktarları 312.70 ile 447.51 μg g^{-1} arasında belirlenmiştir. Kemiklerdeki stronsiyum oranlarının yüksek çıkması beslenmenin daha çok bitkisel kaynaklı olduğunu göstermektedir (Çırak, 2010). Bu çalışmada incelenen kemik örneklerinden en yüksek stronsiyum miktarına sahip olan numunenin Alman kasa 8 (dirsek kemiği) olduğu görülmektedir (709.16 ppm). En düşük stronsiyum miktarına sahip olan ise DNM-66 (sağ alt çene kemiği) numunesidir (244.74 ppm). İncelenen kemik örneklerinin ait olduğu bireyler bitkisel beslenme oranlarına göre en fazladan en düşüğe göre aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

Alman kasa 8 (dirsek kemiği) > Alman kasa 2 (dirsek kemiği) > Alman kasa 4 (parmak kemiği/el) > Alman kasa 5 (uzun kol kemiği) > DNM-56 (uyluk kemiği) > DNM-44 (sağ alt çene kemiği) > DNM-70 (sağ alt çene kemiği) > DNM-42 (sağ alt çene kemiği) > DNM-55 (sağ alt çene kemiği) > DNM-43 (sağ alt çene kemiği) > DNM-66 (sağ alt çene kemiği).

Beslenme tahminleri için kalsiyum ve baryum elementlerinin de incelenmesi daha detaylı sonuçların elde etmesini sağlayacaktır.

Salyangoz numunelerinin $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları 0.759 ± 0.003 ve 0.761 ± 0.001 olarak bulunmuştur. Kemik örneklerinde tespit edilen $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları ise 0.758 ± 0.003 ile 0.767 ± 0.002 arasında saptanmıştır. Ortalama değerin ise 0.761 olduğu görülmektedir. Bu da salyangoz örnekleri için elde edilen değerler ile kemik örnekleri için elde edilen değerlerin yakın olduğunu göstermektedir. Ancak tek tek incelendiğinde 6 nolu (DNM-43 sağ alt çene kemiği) ve 7 nolu (DNM-44 sağ alt çene kemiği) örneklerin salyangoz örneklerinden uzakta kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu iki örneğin salyangoz ve diğer kemik örnekleriyle aynı bölgeye ait olmadığı söylenebilir. Hareketliliğin daha detaylı kıyaslanması için bölgeden alınacak toprak ve bitki numunelerinin de incelenmesi gerekmektedir.

Salyangoz numunelerinin $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranları 10.78 ± 0.06 ve 10.82 ± 0.04 olarak bulunmuştur. Kemik örneklerinde tespit edilen $^{88}Sr/^{86}Sr$ oranları ise 9.63 ± 0.01 ile 10.80 ± 0.01 arasında saptanmıştır. Salyangoz ve kemik örneklerinin $^{88}Sr/^{86}Sr$

oranlarının dağılımı incelendiğinde genellikle dağılımın birbirlerine yakın olduğu, sadece 10 nolu DNM-66 (sağ alt çene kemiği) örneğinin diğer örneklerden uzakta kaldığı görülmektedir. Bunun da diyageneze daha fazla uğramış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Numunelerin $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının salyangozların $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarına göre ‰ yakınlıkları incelendiğinde salyangoz ortalamalarına en uzak olan örneğin 6 nolu (DNM-43 sağ alt çene kemiği) olduğu, en yakın örneğin ise 10 nolu DNM-66 (sağ alt çene kemiği) olduğu görülmektedir. Bu durumda 10 nolu örneğin ait olduğu bireyin göç etmiş olma ihtimalinin bulunmadığı ama 6 nolu örneğin ait olduğu bireyin ise göç etmiş olma olasılığının bulunduğu söylenebilir. DNM-66 örneğinin diyageneze daha fazla uğraması nedeniyle $^{87}Sr/^{86}Sr$ izotop oranlarının değiştiğini bu nedenle böyle bir sonuca ulaşmış olabilceğimizi göz ardı etmemek gereklidir.

Sonuç olarak Diocaesarea antik kentinde sosyoekonomik ve beslenme özelliklerinin farklı olduğu gürülmektedir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2023. Mersin İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/mersin/gezilecekyer/diokaesareia-uzuncaburc (Erişim tarihi: 06.05.2023).

Aydın, A., 2004. ‘‘Ortaçağ Tarihinde Mersin. Özdem (Ed.), **Sırtı Dağ, Yüzü Deniz: Mersin** (ss. 53-68).’’ İstanbul: YKY.].

Aydınoğlu, Ü., 1998. ‘‘Olba Bölgesi Yol Ağı. Olba I, 1’’, 139-146.

Baykut, R., Aydın, A., Baykut, S., 1987. Çevre Sorunları ve Korunma, **İ.Ü. Yayınlan sayı:3449**, no:73, Güryay Yayıncılık.29–137, 2014.

Bentley, R.A., 2006. Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. J. Archaeol. **Method Theor 13**, 135–187.

Beşer, E., Uzun, A., Demirci, Ş., Akyol, A.A. ve Kadıoğlu, Y.K., 2010. "Archaeometry of the Glass from Alanya", Late Antique/Early Byzantine Glass in the Eastern Mediterranean, (Ed. Ergün Laflı**), TÜBİTAK Yayını**, s. 213-233.

Bethard, J.D., 2013. “Isotopes”. Research Methods in Human Skeletal Biology. E.A. DiGangi ve M.K. Moore Edt. **Academic Press**. Chapter 15; 425-447.

Bigi, A., Boanini, E., Capuccini, C., Gazzano, M., 2007. Strontium-substituted hydroxyapatite nanocrystals. **Inorganica Chim. Acta**, 360(3), 1009–1016,.

Britton, K., Grimes, V., Niven, L., Steele, T. E., McPherron, S., Soressi, M., Richards, M. P., 2011. Strontium isotope evidence for migration in late Pleistocene Rangifer: Implications for Neanderthal hunting strategies at the Middle Palaeolithic site of Jonzac, France. **Journal of Human Evolution**, 61(2), 176–185.

Blakely, R.L., 1989. “Bone Strontium in Pregnant and Lactating Females From Archaeological Samples”. **American Journal of Physical Anthropology** 80; 173- 185.

Boysal, Y., 1963. ‘‘Uzuncaburç ve Ura Kılavuzu. İstanbul: Milli Eğitim Basımevi’’

Burton J.H., Weıght L.E., 1995. “Nonlinearity in the Relationship Between Bone Sr/Ca and Diet Paleodietary Implications”. **American Journal of Physical Anthropology**. 96; 273-282.

Burton, J.H., Prıce, T. D., 2002. “The Use and Abuse of Trace Elements for Paleodietary Research.” Biochemical Approaches to Paleodietary Analysis; Eds. Stanley H. Ambrose, M.Anne Katzenberg; Chapter 8. **Kluwer Academic Publishers**; 159-172.

Burton, J.H., Prıce, T.D., 1990a. “The Ratio of Barium to Strontium as a Paleodietary Indicator of Consumptıon of Marine Resources”. **Journal of Archaeological Science**. 17; 547-551. Academic Press Limited.

Burton, J.H., Prıce, T.D., 1990b. “Paleodietary Application of Barium Values In Bone”. **Archeaometry**; 787-795. Birkhauser Verlag Basel.

Burton, J.H., Prıce, T.D., Cahue, L., Wrıght, L.E., 2003. “The Use of Barium and Strontium Abundance in Human Skeletal Tissues to Determine Their Geographic Origins.” **International Journal of Osteoarchaeology** 13; 88–95.

Busetto, M., Gıordanı, L., Brandone, A., Cattenei, C., Mazucchi, A., 2008. “Dietary Investigation by Trace Element Content in Bones of Ancient Inhabitants of Northern Italy.” **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Vol. 275, No.2; 355–363.

Capuccini, C., Torricelli, P., Boanini, E., Gazzano, M., Giardino, R., Bigi, A., 2009. Interaction of Sr-doped hydroxyapatite nanocrystals with osteoclast and osteoblast-like cells. J. **Biomed. Mater. Res. A**, 89A(3), 594–600,

Çırak, M.T., 2003. ‘’Kelenderes iskelet populasyonunun paleodiyeti üzerine bir araştırma’’ Yüksek Lisans Tezi **Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü**.

Çırak, M.T., 2010. “Minnetpınarı Ortaçağ toplumunda Eser – Element Analiziyle Paleodiyetin Belirlenmesi” , (Basılmamış Doktora Tezi), **Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.**

Çırak, M.T., Çırak, A., Akyol, A.A., 2014. “ Bizans Tios Toplumu İskeletlerinde Bakır (Cu) Birikimi”, 30. **Arkeometri Sonuçları Toplantısı**, Gaziantep, SS: 157 – 166.

Durugönül, S., 2004. ‘‘Krallar, Rahipler ve Korsanlar-Başlangıcından Roma Dönemi Sonuna Kadar Eskiçağ’da Mersin Bölgesi. Özdem (Ed.), **Sırtı Dağ, Yüzü Deniz: Mersin** (ss. 27-52)’’. İstanbul: YKY.

Duxfield, T., King, C., Buckley, H., Petchey, P., Nowell, G. M., & Kinaston, R. L., 2020. Establishing a strontium isotope baseline in New Zealand for future archaeological migration studies: A case study. **Journal of Archaeological**

Evans, J. A., Montgomery, J., Wildman, G., & Boulton, N., 2010. Spatial variations in biosphere 87Sr/86Sr in Britain. **Journal of the Geological Society**, 167(1), 1–4.

Giblin, J. I., Knudson, K. J., Bereczki, Z., Pálfi, G., & Pap, I., 2013. Strontium isotope analysis and human mobility during the Neolithic and Copper Age: a case study from the Great Hungarian Plain. **Journal of Archaeological Science**, 40(1), 227–239.

Goldschmidt, W.M., 1958. **Geochemistry Oxford**, Clorendon Press.

Gosman, J.H., Stout, S.D., 2010. “Current Consept in Bone Biology” **A Companion to Biological Anthropology**. Chapter 11. Blackwell Publishing Ltd. ISBN 978-1-4051-89002.

Guo, D., Xu, K., Zhao, X., Han, Y., 2005. Development of a strontium-containing hydroxyapatite bone cement. Biomaterials, 26(19), 4073–4083.

Gürtürk, S., 1987. ‘‘**Silifke Tarihi. İstanbul**:’’ Can Matbaa

Grupe, G., Price, T.D., Schröter, P., Söllner,F., Johnson,C.M., Beard, B. L.,1997 Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains. **Applied Geochemistry** 12, 1997, 517–525.

Grupe, G., 2007. “Taphonomic and Diagenetic Processes.” **Handbook of Paleoantropology**. Eds. Winfried Henke ve Ian Tattersall. Chapter 7; 241-259.

Haak, W., Brandt, G., Jong, H. N. d., Meyer, C., Ganslmeier, R., Heyd, V., Alt, K. W., 2008. Ancient DNA, Strontium isotopes, and osteological analyses shed light on social and kinship organization of the Later Stone Age**. Proceedings of the National Academy of Sciences**, 105(47), 18226–18231.

Katzenberg, M.A., Herrıng, D.A., Saunders, S.R., 1996. "Weaning and Infant Mortality: Evaluating the Skeletal Evidence." **Yearbook of Physical Anthropology** 39; 177-199.

Kavanagh, M., 1979. Strontium in bone as a dietary indicator. M.A. thesis, Department of Anthropology, **University of Wisconsin, Madison**

Klepinger, L., 1984. “Nutritional Assessment From Bone”. **Annual Review Anthropology**. 13; 75-96.

Knudson, K.J., Prıce, T.D., Buıkstra, J.E., Blom, D.E., 2004. The Use of Strontium Isotope Analysis to Investigate Tiwanaku Migration and Mortuary Ritual In Bolivia and Peru. **Archaeometry** 46; 1: 5- 18.

Knudson, K. J., Williams, H. M., Buikstra, J. E., Tomczak, P. D., Gordon, G. W., & Anbar, A. D., 2010. Introducing δ88/86Sr analysis in archaeology: a demonstration of the utility of strontium isotope fractionation in paleodietary studies. **Journal of Archaeological Science**, 37(9), 2352–2364.

Knudson, K. J., O'Donnabhain, B., Carver, C., Cleland, R., & Price, T. D. 2012. Migration and Viking Dublin: paleomobility and paleodiet through isotopic analyses**. Journal of Archaeological Science**, 39(2), 308–320.

Knudson, K.J., Torres-Rouff, C., 2014. Cultural diversity and paleomobility in the andean middle Horizon: radiogenic strontium isotope analyses in the san Pedro de Atacama oases of northern Chile**. Lat. Am. Antiq**. 25, 170–188.

Lambert, J. B., Szpunar, C. B., Buıkstra, J. E., 1979. "Chemical Analysis of Excavated Human Bone From Middle and Late Woodland Sites." **Archaeometry** 21, 2; 115-129. Printed in Great Britain.

Lambert, S. F. X., 2019. Identifying strontium baselines and large game animal trade at Fremont sites through strontium isotope (87Sr/86Sr) analysis. **Journal of Archaeological Science**: Reports, 27

Landi, E., Tampieri, A., Celotti, G., Sprio, S., Sandri, M., Logroscino, G., Srsubstituted hydroxyapatites for osteoporotic bone replacement. **Acta Biomater**., 3(6), 961–969, 2007.

Li, Z.Y., Lam, W.M., Yang, C., Xu, B., Ni, G.X., Abbah, S.A., Cheung, K.M.C., Luk, K.D.K., Lu, W.W., 2007. Chemical composition, crystal size and lattice structural changes after incorporation of strontium into biomimetic apatite. **Biomaterials**, 28(7), 1452–1460.

Lin, K., Liu, P., Wei, L., Zou, Z., Zhang, W., Qian, Y., Shen, Y., Chang, J., 2013. Strontium substituted hydroxyapatite porous microspheres: Surfactant-free hydrothermal synthesis, enhanced biological response and sustained drug release. **Chem. Eng. J**., 222, 49–59,.

Magill, J., Pfenning, G., Dreher, R., Soti, Z., 2012. **Chart of the nuclides** (Karlsruher Nuclidkarte)8th edn. Nucleonica GmbH, Karlsruhe)

Mahan, H.B., 1983. **Üniversite Kimyası** (Türkçe Çeviri: Şenvar C., Edgüer,E.)4. Baskı, Ankara

Marie, P.J., Ammann, P., Boivin, G., Rey, C., 2001. Mechanisms of Action and Therapeutic Potential of Strontium in Bone. **Calcif. Tissue Int**., 69(3), 121– 129,.

Maurer, A.-F., Galer, S.J., Knipper, C., Beierlein, L., Nunn, E.V., Peters, D., Tütken, T., Alt, K.W., Sch€one, B.R., 2012. Bioavailable 87Sr/86Sr in different environmental samples—effects of anthropogenic contamination and implications for isoscapes in past migration studies. **Sci. Total Environ**. 433, 216–229.

Nelson, D.A., Sauer, N. J., 1984. "An Evaluation of Postdepositional Changes in the Trace Element Content of Human Bone." **American Antiquity** 49(1); 141-147.

Nieto-Espinet, A., Valenzuela-Lamas, S., Bosch, D., & Gardeisen, A., 2020. Livestock production, politics and trade: A glimpse from Iron Age and Roman Languedoc. **Journal of Archaeological Science: Reports**, 30, 102077.

Greenwood, N. N., Earnshaw, A., 1997. **Chemistry of The Elements Elsevier** Chapter 5 ISBN 0750633654

Odum, H. T., 1957. Strontium in natural waters. **Texas University Institute of Marine Science Publications** 4, 22-37

Özdemir, K., Erdal Y.S., 2012. "Element Analizleri ile Erken Tunç Çağı İkiztepe Toplumunun Yaşadığı Ekolojik Ortam ve Besin Kaynaklarının Belirlenmesi Üzerine Bir Deneme", in: Akyol, A.A., Özdemir, K. (Eds.), Aymelek Özer ve Şahinde Demirci'ye Armağan. **Bilgin Kültür ve Sanat Yayınları**, Ankara; 281–293.

Pate, F. D., 1994. "Bone Chemistry and Paleodiet". **Journal of Archaeological Method and Theory**, Vol 1, No. 2; 161-209.

Pfeiffer, S., Williamson, R. F., Newton, J., le Roux, P., Forrest, C., & Lesage, L., 2020. Population movements of the Huron-Wendat viewed through strontium isotope analysis. **Journal of Archaeological Science: Reports**, 33, 102466.

Price, T.D., Schoenınger, M.J., Armagelos, G.J., 1985. "Bone Chemistry and the Past Behavior: an Interview". **Journal of Human Evolution** 14; 419-447. Academic Press Inc. London.

Price, T.D., Burton, J.H., Bentley, R.A., 2002. The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. T.

Price, D.,Knipper, C., Grupe, G., Smrcka,V. 2004. Strontium isotopes and prehistoric migration: The bell beaker period in central Europe. European Journal of Archaeology 7/1, 2004, 9–40. **Archaeometry** 44, 117–135.

Rosenthal, H. L., 1963. Uptake, turnover and transport of bone seeking elements in fishes. **Annals of the New York Academy of Science** 109, 278-293.

Samuel, S., Baran, G., Wei, Y., Davıs, B., 2009. "Biomechanics - Part II." In: Khurana, J. (eds) **Bone Pathology**, New York, Humana Press.

Sandford, M.K., 1992. "A Reconsideration of Trace Element Analysis In Prehistoric Bone." **Skeletal Biology of Past People: Research Methods.** 79-103.

Sanyal, V., Raja, C.R., 2017. Influence of sol–gel derived strontium–cerium co substitution in fluorohydroxyapatite and its in-vitro bioactivity. **J. Sol-Gel Sci**. Technol., 83(3), 596–608.

Sayar, M. H., 2004. ''Mersin'de Kayıp Kentler. Özdem (Ed.), **Sırtı Dağ, Yüzü Deniz**: Mersin (ss. 11-26)'' İstanbul: YKY

Schweissing, M.M., Grupe,G., 2000. Local or nonlocal? A research of strontium isotope ratios of teeth and bones on skeletal remains with artificial deformed skulls. **Anthropologischer Anzeiger** 58/1, 2000, 99–103.

Sevdin, E.E., 2017. " Farklı Arkeolojik Kemik Türlerinde Element Birikiminin Belirlenmesi: Tepecik – Çiftlik Örneği " (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), **Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü**, Ankara

Slovak, N.M., Paytan, A., 2011. Applications of Sr isotopes in archaeology. In:

Snoeck, C., Pouncett, J., Claeys, P., Goderis, S., Mattielli, N., Parker Pearson, M., … Schulting, R. J., 2018. Strontium isotope analysis on cremated human remains from Stonehenge support links with west Wales. **Scientific Reports,** 8(1).

Sillen, A., 1981. "Strontium and Diet at Hayonim Cave." **American Journal Of Physical Anthropology**. 56;131-137.

Turner-Walker, G., 2008. "**The Chemical and Microbial Degradation of Bones and Teeth. "Advances in Human Palaeopathology**" Editor(s): Ron Pinhasi, Simon Mays. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-03602-0.

Verberckmoes, S.C., Behets, G.J., Oste, L., Bervoets, A.R., Lamberts, L.V., Drakopoulos, M., Somogyi, A., Cool, P., Dorriné, W., Broe, M.E.D., D'Haese,

P.C., 2004. Effects of Strontium on the Physicochemical Characteristics of Hydroxyapatite. **Calcif. Tissue Int**., 75(5), 405–415.

Whelton, H. L., Lewis, J., Halstead, P., Isaakidou, V., Triantaphyllou, S., Tzevelekidi, V., Evershed, R. P., 2018. Strontium isotope evidence for human mobility in the Neolithic of northern Greece. **Journal of Archaeological Science: Reports**, 20, 768–774.

Stos-Gale, Z. A., 1989. In 'Old World Archaeometallurgy', Der Anschnitt, Beiheft 7. Deutschen Bergbau Museum, Bochum, pp. 279-2

Yüksel, İ., 2019. ''Arkeolojik alanlarda kırsal alan yönetimi: Uzuncaburç (Silifke) üzerine bir model önerisi'' **Mersin Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü** / Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Ana Bilim Dalı

Zimmerman, H.H., Caylı, J., Meizel-Lambert, C.J., Schultz, J.J., Michael, E., Sigman, M.E., 2015. "Chemical Differentiation of Osseous, Dental, and Non-skeletal Materials in Forensic Anthropology Using Elemental Analysis." **Science and Justice** 55; 131–138.