

BESLENME ÇALIŞMALARINDA ELEMENTLERİN KULLANIMI

ÖZLEM TUNCER

SERÜVEN
YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Şubat 2025

ISBN • 978-625-5552-46-4

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruyenyayinevi.com

e-mail: seruyenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

**BESLENME
ÇALIŞMALARINDA
ELEMENTLERİN
KULLANIMI**

ÖZLEM TUNCER*

* Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antropoloji Anabilim Dalı, Doktora Öğrencisi

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
-------------	---

1. BÖLÜM

ANTROPOLOJİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN KİMYASAL ANALİZLER.....	3
1.1. Eser Element Analizi.....	4
1.2. Sabit İzotop Analizi	4
1.3. Raman Analizi.....	5

2. BÖLÜM

KEMİK, DİŞ VE TOPRAK YAPISI.....	7
2.1. Kemik Yapısı ve Yeniden Modellenmesi.....	7
2.2. Diş Yapısı	10
2.3. Toprak Yapısı	12
2.3.1. Diyajenez	13

3. BÖLÜM

ELEMENTLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	15
3.1. Beslenme İçin Gerekli Olan Elementler.....	16
3.1.1. Sodyum	17
3.1.2. Magnezyum	17
3.1.3. Silisyum.....	18
3.1.4. Fosfor.....	19
3.1.5. Potasyum.....	19
3.1.6. Kalsiyum	20
3.1.7. Vanadyum.....	21
3.1.8. Krom	22
3.1.9. Manganez	22
3.1.10. Demir	23
3.1.11. Bakır	24
3.1.12. Çinko	25
3.1.13. Selenyum.....	26
3.1.14. Molibden.....	27

3.1.15. İyot.....	27
3.1.16. Alüminyum.....	28
3.2. Beslenme İçin Gerekli Olmayan Elementler.....	29
3.2.1. Stronsiyum.....	29
3.2.2. Baryum.....	30
3.3. Toksik Elementler	31
3.3.1. Kurşun	31
3.3.2. Arsenik	32
3.3.3. Kadmiyum	33
3.4. Elementlerin Vücuda Alınımı ve Vücuttan Atılımı (Homeostaz)	34

4. BÖLÜM

ANADOLU'DA YÜRÜTÜLEN KİMYASAL ANALİZ ÇALIŞMALARI.....	37
KAYNAKÇA.....	43

GİRİŞ

İnsan kalıntılarının incelenmesi, insanlığın tarihi, insan evrimi ve bugün kim olduğumuz hakkında büyük bir olguyu açıklama potansiyeline sahiptir (Alfonso vd., 2007). “Kemikler, bir bireyin temel biyolojik özelliklerini (yaş, cinsiyet, boy), topluma nasıl uyum sağlayabileceği veya yaşadığı yaşam (sosyal statü, meslek, beslenme, hastalık vb.), coğrafi kökeni, toplumun demografik yapısı ve farklı toplumlar arasındaki ilişkileri (biyolojik uzaklık), yaşam sırasında veya sonrasında meydana gelebilecek travmalarla davranış ve aktiviteye bağlı gelişen adaptasyonları gösterir” (DiGangi ve Moore, 2013). Arkeolojik kazılardan elde edilen insan kemiklerinden yola çıkarak, bireylerin yaşamları, ölümleri, beslenme yapıları ve geldikleri topluma ilişkin bilgileri ortaya çıkarmak adına eser element ve izotop analizlerinden yararlanılmaktadır (Rasmussen vd., 2017). Element ve izotop analizleri, tüketilen gıdaları doğrudan değerlendirerek geçmişte yaşamış insanların beslenme yapısının nasıl olduğunu söyleyebilmektedir (Schrader, 2019).

Beslenme açısından bakıldığında, yiyeceklerin işlevi hem beslenme hem de sosyal önem açısından karmaşık ve çeşitlidir (Pedersen vd., 2002). İnsanlarda gıda, sindirimin biyolojik süreçlerinden çok daha fazlasını kapsar. İnsanlar belirli yiyecekleri erişim, tat, tıbbi tedaviler, tabular, sosyoekonomik durum, dini uygulamalar, sosyal kimlik vb. gibi birçok faktöre dayalı olarak seçerler. Geçmiş dönemlerde yaşamış insanların gıda, arkeolojik kayıtlardan yola çıkarak paleobotanik, fauna, çöp, koproliit, ikonografi ve kalıntı analizleri dahil olmak üzere birçok farklı şekillerde ele alınır. Bu çalışmada, elementler aracılığıyla toplumların beslenme yapısının oluşturulmaya çalışıldığı doktora tezinin bir kısmı yer almaktadır ve kimyasal yöntemler ile toplumların beslenme şekli hakkında bilgileri içermektedir.

1. BÖLÜM

ANTROPOLOJİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN KİMYASAL ANALİZLER

İnsan vücudunun dokuları çoğunlukla moleküler düzeyde su, karbon, azot, oksijen, hidrojen, kalsiyum ve fosfordan (P) oluşur. İnsan vücudunun kemik ve diş dokularında stronsiyum (Sr), çinko, bakır (Cu), flor (F), demir, kurşun (Pb) ve diğerleri gibi pek çok türde eser element ve mineral farklı miktarlarda bulunur. İnsan vücudundaki bu element ve minerallerin miktarı, düzenli olarak tüketilen besin kaynakları (örneğin, karada yaşayan hayvanlar ile deniz hayvanları ve çölde yetişen otlar ile çayır otları) arasında farklılaştığı için hangi besin kaynaklarını tercih ettiği ortaya çıkartılabılır (Martin vd., 2013).

İçme suyu ve yiyecek yoluyla vücuda giren mineraller ve organik moleküllerden kemik dokusu oluşturulur ve insan kemiğinin kimyası, ölen kişinin beslenme örüntüsü ve yaşam öyküsü hakkında bilgi içerir (Price ve Burton, 2011). Geçmiş dönemlerde yaşayan insanların ve diğer memeli türlerinin emzirme ve süttten kesme uygulamalarının yeniden yapılandırılması, antropoloji, arkeoloji, tarih ve evrimsel biyolojinin en önemli alanlarından biridir (Tsutaya, 2015). Bu nedenle, eski toplumlarda bebek-çocuk besleme uygulamalarını incelemeye yönelik ilgi giderek artmaktadır (Mays, 2003).

İnsan kemiklerinde eser element analizinin paleodiyet çalışmaları için uygulanabilirliği uzun zamandır kabul edilmektedir (Fabig ve Herrmann, 2002). Eser elementler ilk olarak yirminci yüzyılın başında farklı matrislerde çok düşük seviyelerde bulunan elementler olarak tanımlanmıştır (Chojnacka ve Saeid, 2018). Eser element analizleriyle geçmiş insanların beslenme yapılarını yeniden ortaya çıkarmak adına gerçekleştirilen çalışmalar 1930'lu yıllara kadar inmektedir (Godden, 1939). Zaman içerisinde paleodiyet çalışmalarına olan ilgi artmış ve kemiğin kimyasal yapısı, hangi elementlerin ne tür bilgiler içerdiği, besin kaynakları, toplum yapısı, coğrafi konum, göç ve hareketlilik gibi farklı konularda araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Buikstra, Cook, 1980; Burton, 1996; Goffer, 2007; Grupe, 1988; Grupe ve Hermann, 1988; Ezzo, 1994, 1994a; Ezzo vd., 1995; Katzenberg ve Saunders, 2001, 2008; Lambert vd., 1984; Price ve Burton, 2011; Pollard ve Heron, 2008; Schoeninger, 1992, 1993; Szpunar vd., 1978; Underwood, 1956, 1977).

1.1. Eser Element Analizi

Arkeolojik kazılardan elde edilen insan kemikleri kullanılarak, o toplumdaki bireylerin mortalite ve morbidite durumlarının yorumlanmasında ve geldikleri topluma ait bilgileri ortaya çıkarmak adına genellikle eser element ve izotop analizlerinden yararlanılır (Rasmussen vd., 2017). Geçmişte yaşamış toplumların beslenme alışkanlıklarını yeniden yapılandırarak iskeletlerinin jeokimyasal bileşimini incelemek 1960'larda ortaya çıkan bir yaklaşımdır (Toots ve Voorhies, 1965). Her ne kadar kemik minerali (biyoapatit), bireylerin beslenme alışkanlıklarını depolasa da, gömü sonrasında gerçekleşen diyajenezden ötürü, jeokimyasal bileşimini bir bütün olarak değerlendirmek zorlaşmaktadır (Sillen, 1986). Elementlerin paleobeslenme göstergeleri olarak değerlendirilmesi için kemiğin yapısı, yeniden şekillenmesi ve mineral bileşimi hakkında bilgilere ihtiyaç vardır. İnsan fizyolojisi ve mineral metabolizması açısından paleodiyet göstergesi olarak kabul edilen on bir element (alüminyum (Al), baryum (Ba), kalsiyum, demir, potasyum (K), magnezyum, manganez (Mn), sodyum (Na), fosfor, stronsiyum ve çinko) bulunmaktadır (Ezzo, 1994a).

Eser elementler, vücutta az miktarda bulunurlar ve elementlerin birçoğu (magnezyum, iyot (I), manganez, demir, çinko, bakır vb.) enzimlerin bir parçası olarak, enzim aktivasyonu için gerekli kabul edilir (Marieb ve Keller, 2018). Bir elementin gerekliliği için temel ölçüt, eksikliği veya yokluğu durumunda canlı organizmalarda farklı anormalliklerin ve işlev bozukluklarının ortaya çıkmasıdır (Vessileva ve Mandjukov, 2018). Biyolojik işlevler için gerekenden daha yüksek seviyede alınan elementler vücut sağlığı için toksik olabilmektedir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Toksik olarak değerlendirilen kadmiyum (Cd) elementi fazla miktarlarda alındığında kemik mineral yoğunluğunda azalmaya sebebiyet vermektedir. Bakır elementi, vücut için gerekli olsa da yüksek miktarlarda alındığında toksik özellik göstererek kemik yoğunluğunun kaybına ve raşitizme neden olur (Dermience, 2015). Ağır metallerin kemikleri ve diğer dokuları nasıl etkilediğini ortaya çıkarmak için, 1942'de atom bombasının geliştirildiği dönemde, kemiğe yönelen elementlerin (polonyum (Po), plütonyum (Pu), uranyum (U), toryum (Th), radyum (Ra), kadmiyum, kobalt, alüminyum (Al) ve kurşun), kemiği bir depo olarak gördüğü ortaya çıkartılmıştır (Puzas ve Boyce, 2020). Ayrıca, iskeleti etkileyen en yaygın metallerin kurşun ve alüminyum olduğu ve iskelet metabolizması için en tehlikeli elementin kurşun olarak kabul edildiği belirtilmiştir (Puzas ve Boyce, 2020).

1.2. Sabit İzotop Analizi

İzotoplar, aynı sayıda proton ve elektronu paylaşan, ancak nötron sayılarında farklılık gösteren kimyasal elementlerdir (Weiss, 2009). Örneğin,

12C, 13C ve 14C, karbon elementinin üç izotopudur. Radyoizotoplardan farklı olarak, sabit izotoplar kendiliğinden radyoaktif bozunmaya uğramazlar ve uzun bir süre boyunca sabittirler (Tsutaya ve Yoneda, 2015). Biyoarkeologların kullandığı en yaygın yöntemlerden biri karbon ve azot sabit izotop analizidir ve 1970'lerin ortalarından bu yana, eski insan toplulukları hakkındaki soruları ele almak için kullanılmıştır (Schrader, 2019). Kemikler ve gıda kalıntıları üzerinde gerçekleşen sabit izotop analizleri (karbon, azot, hidrojen, kükürt) kullanılarak, eski toplumların beslenme modelleri daha kesin bir şekilde tanımlanmaktadır. Ancak, bunun için, olası gıdaların element bileşimleri ve izotop oranı, diyet ve analiz içeriğinin (örn., kolajen) iyi bilinmesi ve analiz edilecek örneklerin korunma durumunun iyi olması gerekmektedir (Schwarcz, 1991).

Kemik kolajeninden elde edilen sabit karbon izotoplarının analizi, bireylerin ölümden önce tükettikleri farklı türdeki bitkisel gıdaların oranlarını ortaya çıkarabilir (Martin vd., 2013). Karbon ve azot sabit izotop analizleri arasındaki oran değerlendirilerek, bir bireyin tükettiği gıdalar, sütte kesme yaşı ve beslenme stresi hakkında yeni veriler elde edilmesinin yanı sıra, değerlendirme sonuçlarına göre bir gruba, topluluğa veya nüfusa bakılarak daha geniş kapsamda incelenebilir (Schrader, 2019). Karbon, azot ve oksijen izotopları sırasıyla, anne sütü lipid içeriğini, protein ve su alımını değerlendirmek için kullanılmıştır. Ek olarak, karbon ve kükürt izotopları aracılığıyla, sütte kesme sırasında gıdaların içeriği tahmin edilebilir (Tsutaya ve Yoneda, 2015).

Dişlerdeki mine ve dentin arasında, element ve izotop analizlerinde kullanımı en uygun görülen kısım mine tabakasıdır. Bunun iki temel nedeni vardır. Birincisi, minedeki çizgiler optik mikroskopla kolayca görülebilirken, dentindeki çizgileri görmek zordur (Smith, 2008). Ayrıca, dentin üzerindeki analiz edilen noktalar ve gerçek yaşlar arasındaki uyum belirsizdir (Tsutaya ve Yoneda, 2015). İkincisi ise, element ve izotop analizlerinde dişin dentin yerine mine kısmının kullanımı iki nedenden dolayı, minenin dayanıklı bir yapıya sahip olması nedeniyle fosil kayıtlarında en çok bulunan kalıntılardandır. Diş minesini, ölüm sonrasında organik kalıntılardaki kimyasal değişim ve çürüme süreci olan diyajenezden daha az etkilenir ve dişlerin mineralize kısımları kemiğe göre % 20 - 25 daha yüksek olduğundan, dişlerden elde edilen izotop oran değerleri kemikten elde edilenden daha güvenilir sonuçlar üretir (DiGangi ve Moore, 2013).

1.3. Raman Analizi

Raman spektrometresi, moleküller tarafından saçılan ışığı analiz etmek için kullanılır (Sablinskas, 2014). Bu saçılma, gelen radyasyon ile hedef malzemenin titreşim frekansları arasındaki etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. Raman spektrumu, Rayleigh (elastik) saçılma tepe noktası, sıfır

dalga sayısı kayması ile baskındır ve bunun altında ve üstünde simetrik olarak çok daha küçük tepe noktaları dizisi vardır. Dalga sayısı açısından Rayleigh pik noktasının altındakiler, gelen ışın tarafından kaybedilen enerjiyi temsil eder ve Stokes çizgileri olarak adlandırılır. Yukarıdakiler, gelen ışın tarafından kazanılan enerji miktarlarını temsil eder ve bunlara anti-Stokes hatları denir. Genel olarak, anti-Stokes çizgileri daha az yoğunudur ve Raman spektroskopisinde sadece Stokes çizgilerini dikkate almak gerekmektedir (Pollard vd., 2007).

Raman tekniği, az ya da çok fark etmeden örneklemin hızlı ve güvenilir bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır (Colomban, 2012). Çalışma ve tanımlama kolaylığı nedeniyle, biyoteknoloji, mineraloji, çevre izleme, gıda ve içecekler, adli bilim, tıbbi ve klinik kimya, eczacılık, malzeme bilimi, yüzey analizi vb. gibi farklı uygulama alanlarında Raman spektrometresi kullanılmaktadır (Das ve Agrawal, 2011). Raman analiziyle birlikte, biyolojik dokuların kimyasal bileşimini belirlemenin yanı sıra (Movasaghi vd., 2007), yumuşak dokularla sınırlı olmayıp, normal ya da hastalıklı kemikler veya diş dokuları gibi sert doku patolojileri tanımlanmaktadır (Ramakrishnaiah vd., 2015). Ayrıca, arkeolojik buluntularla birlikte kültürel miras malzemelerinin korunmasında, nem ve sıcaklıktan ötürü gerçekleşebilecek bozulmanın derecesini belirlemede (Edwards vd., 2023), tarih öncesinde kaya sığınakları ve mağaralardaki sanat eserlerinin mineral pigmentlerini ortaya çıkarmada ve sınıflandırmada Raman analizinden yardım alınmaktadır (Smith ve Clark, 2004). Ek olarak, arkeolojik alanlardan elde edilen kemik ve dişlerde protein/kolajen bileşiminin varlığını tespit etmek (Pestle vd., 2015), kemik ve dişlerin korunma durumlarıyla diyajenezin varlığını belirlemek (Sasso vd., 2018) ve iskelet materyalinin element kompozisyonunu kullanarak diğer örneklerden ayırımını sağlayabilmek için de Raman analizinden faydalanılmaktadır (Zimmerman vd., 2015).

2. BÖLÜM

KEMİK, DİŞ VE TOPRAK YAPISI

2.1. Kemik Yapısı ve Yeniden Modellenmesi

Element analiziyle toplumun beslenme yapısını ortaya çıkarmak için kullanılan materyallerden birisi kemiklerdir. Kemik, besin alımı ve beslenme durumundaki değişikliklere yanıt veren metabolik olarak aktif bir dokudur (Gaffney-Stomberg, 2019). Sürekli değişir ve kemik oluşumu ile yeniden şekillenme mekanizması yoluyla vücudun büyümesinden ve korunmasından sorumludur. Kemik oluşumu, büyüme süreci sona ermeden önce kemik dokusunun olduğu ve sürekli olarak yenilediği bir süreçtir (Perez-Castrillon ve Riancho del Moral, 2020). Kemiğin yeniden yapılanması, biyomekanik olarak doğru kemiğin oluşması ve vücudun ihtiyacını karşılamak adına gerekli minerallerin (kalsiyum, fosfor, magnezyum) sağlanması için iskeletin kalıcı olarak yenilenmesi olan fizyolojik bir süreçtir (Perez-Castrillon vd., 2020).

Kemiğin yapılanma süreci, aktivasyon, rezorpsiyon, ters çevirme, oluşum ve sonlandırma aşamalarından oluşmaktadır. Aktivasyon aşaması, kemikte yeniden şekillenme sinyalinin tespit edilmesini içerir. Bu sinyal, örneğin kemikte yapısal hasara yol açan doğrudan mekanik zorlanma veya değişen homeostaza yanıt olarak kemik hücreleri üzerindeki hormonların (örn., östrojen veya PTH) etkisi gibi çeşitli formlar alabilir (Raggat ve Partridge, 2010). Rezorpsiyon aşamasında, kemik yapısında meydana gelen hasarlı bölgede, osteoblastlar, aktivasyon sürecindeki sinyallere (örn., osteoklastları çoğaltan CSF-1 ve osteoklastları farklılaştıran RANKL) göre osteoklast hücrelerini yeniden şekillendirme bölgesine toplar (Li vd., 2007). Bu şekillendirme bölgesi kemik yüzeyindeki, Howship Lacunae olarak da bilinen, rezorpsiyon çukurlardır (Xiao vd., 2016). Burada toplanan osteoklastlar, kemiği parçalayarak mineralleri serbest bırakır ve bunun sonucunda kalsiyum kemik sıvısından kana aktarılır. Osteoklast, osteona (merkezi bir kanalı çevreleyen kompakt kemik dokusu katmanları) bağlanır ve kollajenaz ve diğer enzimleri salgılar. Osteoklastlar mineralize kemiğe tünel açarken kalsiyum, magnezyum, fosfat ve kolajen ürünleri hücre dışı sıvıya salınır (Burch vd., 2014).

Tersine çevirme fazında, Howship Lacunae sindirilmemiş demineralize kollajen matrisiyle kaplanır. Ardından mononükleer bir hücre bu kollajen kalıntılarını temizler ve kemik yüzeyini osteoblastların kemik oluşturması için hazırlar (Raggat ve Partridge, 2010). Sonrasında oluşum aşaması başlar ve osteoblastlar tarafından yeni kemiğin üretimi meydana gelir (Carter ve

Dennison, 2021). Osteoblastlar, dolaşımdaki kalsiyumu mineral formunda sabitleyerek kan dolaşımından uzaklaştırır ve kemikleşme oluşur (Burch vd., 2014). Sonlandırma aşamasında, kemikteki mineralizasyonun ardından, olgun osteoblastlar apoptoza uğrar, kemik astarlama fenotipine geri döner veya mineralize matrise gömülür. Dinlenme halindeki kemik yüzey ortamı yeniden oluşturulur ve bir sonraki yeniden şekillendirme dalgası başlatılana kadar korunur (Raggat ve Partridge, 2010). Yeniden yapılanmanın son aşamasında, sağlıklı bir bireyse, kemik oluşumu kemik yıkımıyla eşleşir ve toplam kemik kütlelerinde kayıp olmaz. Ancak, metabolik kemik hastalığı durumunda, kemik rezorpsiyonu ve oluşumu arasındaki denge bozulur (Medio ve Brani, 2021). Kemik yeniden yapılanması, değişen mekanik ihtiyaçları karşılamak için kemik mimarisini ayarlamaya yarar ve eski kemiğin birikmesini önleyerek kemik matrisindeki mikro hasarları onarmaya yardımcı olur (Hadjidakis ve Androulakis, 2007).

Yukarıda belirtildiği gibi, kemiğin yeniden şekillenmesinden sorumlu temel çok hücreli birimin, farklı aşamalara sahip hiyerarşik bir olay dizisiyle işlev gören osteoklastlar ve osteoblastlardan oluştuğu bilinmektedir. Ancak, tüm kemik hücrelerinin (öncül ve diğer hücreler) ve kemik matrisi bileşenleriyle hem aynı anda hem de değişen zamanlarda farklılaşma aşamalarında etkileşime girerek BMU oluşumuna katıldığını göstermiştir (Bolamperti vd., 2022). Böylelikle, yakın zamanda yapılan bir çalışmada tanımlanan hücresel olaylar, koordinasyon yolları ve anatomik yapılar, kemiğin yeniden şekillenmesinde yer alan tüm hücrelerin oluşumu, farklılaşması, aktivitesi, tersine dönmesi ve rezorpsiyonu hakkında daha iyi bir anlayışa olanak sağlanmıştır (Delaisse vd., 2020).

Kemiğin yeniden şekillendirme süreci, kemiğin normal durumuna geçişte birkaç aydan birkaç yıla kadar sürebilir (Heaney, 2014). Kemik dokusunun dönüşüm oranları kemik türüne bağlı olarak farklılık gösterir. Trabeküler kemik, kortikal kemikten daha hızlı bir dönüşüm oranına sahiptir (Heaney, 2001). Trabeküler kemik dönüşüm oranı, mekanik gücün korunması için gerekenden daha yüksektir ve bu da trabeküler kemik dönüşümünün mineral metabolizması için daha önemli olduğunu gösterir (Clarke, 2008). Yeniden şekillenme döngüsüyle biriken kemik miktarı (Szulc ve Seeman, 2009) ve osteoblast öncüllerinin farklılaşmasına yol açan sinyaller yaşla birlikte azalır. Bu da osteoblast sayısındaki kayba katkıda bulunur (Lee vd., 2005).

Elementler, kemiğin yeniden yapılanma süreçlerini etkiler. Örneğin, çinko osteoblastların aktivitesini artırır, kemik oluşumunu aktive eder ve kolajen sentezini destekler (Lowe vd., 2002). Çinko ve bakır elementi, osteoklastik kemik rezorpsiyonunu engeller (Lowe vd., 2002; Li ve Yu, 2007). Kadmiyum düşük miktarda olduğunda, kemik oluşumunu engeller ve kemik rezorpsiyonunu uyarır. Toksik olduğu durumda, kolajen matrisini par-

çalar ve mineralizasyonunu engeller (Kazantzis, 2007).

Kemik, kas-iskelet sisteminin temel mineralize dokusunu oluşturmakla birlikte, kalsiyum ve fosfor metabolizmasının ve homeostazın düzenlenmesi için de bir depo olarak işlev görür (Weaver vd., 2019). Kemik dokusu, büyüme faktörlerinin ve kemik gelişimi ile ilgili proteinlerin önemli bir deposudur. Büyüme faktörleri, osteoblast çoğalmasını ve farklılaşmasını uyararak kemik oluşumunu modüle etmek için bölgesel olarak hareket eder (Barrio ve Etcheverry, 2006). Kemik içeriği, ağırlıklı olarak tip I kolajen ve kolajen olmayan proteinlerden oluşmaktadır (Cashman ve Flynn, 1998). Kolajen olmayan proteinlerden en bol olanı, kemikteki organik matrisin yaklaşık % 2'sini oluşturan osteonektindir. Kemiğe özgü osteonektin, mineral ve kolajen fazlarını birbirine bağlama işlevi görür (Ezzo, 1994a). Tip I kolajen proteinleri, kemik ve diş minesi gibi sert dokularda bulunur (Forbes vd., 2017). İskelet kolajeni, bükülmüş ip benzeri bir düzende bağlanan lifler ve mikro liflerden oluşan karmaşık bir yapıya sahip proteinler topluluğudur (Martinez Cortizas ve Lopez-Costas, 2020). Bu proteinlerin yüzde 25'ini kapsayan kolajen, kemiğin organik kısmının % 90'ını oluşturur. Bu organik maddenin yaklaşık % 70'i ise minerallerle kaplıdır (Price ve Burton, 2011).

Organik bileşenler, osteojenik hücreler, osteoklastlar, osteoblastlar, osteositler, kemiği örten hücreler ve matriksin organik kısmı olan osteoidden oluşmaktadır (Marieb ve Hoehn, 2017). Osteoblastlar genellikle kemik yüzeylerinde (periosteumun altında) yoğunlaşır ve kemiği oluşturmak için mineralize edilen organik matris olan osteoidi üretmekten sorumludur. Osteoklastlar kemiği hem mineral bileşenin asidik çözünmesi hem de organik fazın enzimatik bozunması yoluyla emer (Mays, 2021). İyi bir osteoblast ve osteoklast aktivitesi dengesi, normal kemik oluşumunun korunmasına yardımcı olur. Osteositler, kemiği yaşam boyu koruyan olgun kemik hücreleridir (McGuinness, 2018). Osteositler, kemik dokusu içindeki boşluklarda bulunur. Besinleri, aynı veya komşu lamellerdeki osteosit boşluklarını birbirine bağlayan çok küçük kanallar yoluyla alırlar (Mays, 2021). Matriksin yaklaşık 1/3'ünü oluşturan osteoid, proteoglikanlar ve glikoproteinlerden oluşan ana maddeden ve kolajen liflerden meydana gelir (Marieb ve Hoehn, 2017).

İnorganik maddeler ise mineral tuzlardır ve mineral tuzların büyük bir kısmında kalsiyum fosfat kristalleri yer alır (Marieb ve Hoehn, 2017). Kalsiyum fosfat, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, kemik ağırlığının neredeyse üçte ikisinde bulunur (Martini ve Bartholomew, 2020). Kristaller kemiğin sertliğini oluşturur. İçerdikleri mineral tuzları nedeniyle kemik dokusu ölümden sonra uzun süre bozulmaz ve dayanıklılığı nedeniyle kalıcı halde kalır (Marieb ve Hoehn, 2017). İnsan kemiklerindeki inorganik faz esas olarak hidroksiapatittir ve kemik büyüme sürecinde kullanılan demir, magnezyum, çinko, krom,

bakır ve manganez gibi küçük ve eser miktarlarda elementler içerir. Kemikler yapısal düzeyde kortikal veya trabeküler kemikler olarak ayrılır. Kortikal kemikler, trabeküler kemiklerden daha yavaş yenilenir (yetişkinlerde % 2,5'e karşılık % 10), bu nedenle trabeküler kemiklerden elde edilen element bileşimi, kortikal kemiklere göre daha yakın tarihteki birikim hakkında bilgi sağlayabilir. Kortikal kemik, yoğun bir yapıya sahip olması ve çevresel değişikliklere karşı dayanıklılığı nedeniyle, element analizi çalışmalarında tercih edilir (Castro vd., 2010). Kemiklerin organik ve inorganik matriksi kimyasal ve fiziksel kuvvetler tarafından tahrip edildiğinden, toprak besinlerine indirgenirler. Atmosfere maruz kalan kemikler protein kolajenini kaybetmeye başlar ve bu da kırılma ve yıkıma yol açar (Martin vd., 2013).

İskelet sağlığına dahil olan başlıca besinler arasında kalsiyum, fosfor ve D vitamini, magnezyum ve potasyum bulunur, ancak diğer mikro besinler ile bor, selenyum, demir, çinko ve bakır gibi eser elementler de kemik metabolizmasını etkiler (Gaffney-Stomberg, 2019). Kemik döngüsü, yaşlanmanın, hormon eksikliğinin veya iskelet hormonlarının üretimini bir işlevi olarak ortaya çıkan enerji metabolizmasındaki değişikliklere duyarlıdır. Bu durum, uzun süreli kalsiyum, fosfat, demir ve magnezyum gibi minerallerin değişimini sağlar (Burr, 2019). İnsan kemiğinin esnekliği yaşla birlikte azalır ve yaklaşık 35 yaşından sonra kemik kırığı görülme oranı artar (Chatterji ve Jeffery, 1968). Kolajen hem kemiğin yapısını hem de esnekliğini destekler (Marieb ve Hoehn, 2017). Çok kararlı olması sayesinde suda çözünmez ve bakteri veya mantarların saldırılarına duyarlı hale gelmez (Hilson, 2005). Ancak, kolajen bozunma hızı zamana, sıcaklığa ve çevresel pH'a göre değişir (Forbes vd., 2017). Bu nedenle, diş ve kemiklerin gömülmesinden sonra, kolajen kademeli olarak değişir ve parçalanır (Hilson, 2005).

2.2. Diş Yapısı

Dişler, diş pulpasını pulpa boşluğunda ve kök kanalında çevreleyen mine, sement ve dentin olmak üzere üç sert dokudan oluşur. Mine, % 95 inorganik madde (hidroksiapatit), % 4 su ve ince çubuklar veya prizmalar halinde düzenlenmiş inorganik maddeden (% 1) oluşur (Mays, 2021; Nikita, 2017). Minedeki en küçük morfolojik yapılara apatit kristalleri denir ve çeşitli şekillerde (dikdörtgen, küp, eşkenar dörtgen, iğne benzeri ve çubuk kristaller) oluşum gösterirler (Kunin vd., 2015). Mine ve dentin tabakasında bulunan, hidroksiapatitin kemikteki kimyasal formülü $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ 'dir (Nikita, 2017). Diş minelemesinde farklı yöntemler kullanılarak yapılan analizler sonucunda birçok kimyasal bileşenin varlığı gözlenmektedir. Bu bileşenler arasında fosfor, kurşun, kobalt, çinko, flor, magnezyum, demir, alüminyum, kalsiyum ve selenyum bulunur (Doğan, 2018). Dentin, yaklaşık % 75 inorganik malzemeden (hidroksiapatit) oluşur; yaklaşık

% 20'si kolajen olan organik bileşendir ve geri kalanı sudur (Mays, 2021). Organik maddenin % 90'ı tip I kolajenden, kolajen olmayan proteinlerden (% 6,7), sitrik asitten (% 0,9), proteoglikanlardan ve lipitlerden (% 0,2) oluşur (Grawish vd., 2022). Dentinin inorganik maddesi esas olarak apatit (çoğunlukla dihidroksiapatit) olmakla birlikte, kalsiyum karbonat, amorf fosfat, magnezyum iyonları ve eser elementlerden de oluşur (Brown vd., 2004). Dentinin inorganik materyali, 1000 ppm - 100 ppb arasında değişen yaklaşık 40 element içerir (Doğan, 2018). Sement ise diş köklerini kaplar ve yaklaşık % 65 inorganik, % 23 organik ve kalanı sudur (Mays, 2021). Organik madde içerisinde, kolajen ve kolajen olmayan proteinler, proteoglikanlar, glikoproteinler ve fosfoproteinler bulunurken, inorganik madde içerisinde hidroksiapatit ve su bulunur (Ristova vd., 2022). Sementin temel mineral bileşeni amorf kalsiyum fosfatlı ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) hidroksiapatittir. Sementteki inorganik bileşenin kristallliği diğer kalsifiye dokulardan daha düşüktür. Yetişkin dişlerin sementi, diğer kalsifiye dokularla karşılaştırıldığında daha yüksek florür içeriğine sahiptir. Sementin Mg içeriği dentindeki yaklaşığın yarısı kadardır (Doğan, 2018).

Diş, farklı yoğunlukları temsil eden ve aynı zamanda eser element konsantrasyonlarında farklılık gösteren iki katı faza sahip heterojen bir matristir (Iyengar ve Tandon, 1999). Dişler aynı zamanda, eser element seviyelerine bakılarak çevre kirliliğinin bir ölçüsünü yansıtmaktadır (Oyebode vd., 2022). İnsan dişlerindeki eser elementlerin biyolojik olarak izlenmesi, beslenme ve çevresel durum için önemli bir araç haline gelmiştir. Çevrede eser elementlerin varlığı ve/veya yokluğu, bu tür elementlerin insan için kullanılabilirliğini etkilemektedir (Amr, 2011). Örneğin, dişlerdeki kurşun konsantrasyonunun çevre kirliliğinin bir göstergesi olarak kullanılabilceği bildirilmektedir (Gulson ve Wilson, 1994). Dişlerdeki kurşun konsantrasyonu 4 mg/kg'ın üzerine çıktığında kurşun toksisitesinin ortaya çıktığı öne sürülmektedir (Al-Mahroos ve Al-Saleh, 1997).

İnsan vücudunda dişlerin gelişimi bazı eser elementlerin varlığını gerektirir. Molibden, çürük görülme sıklığını azaltır (Underwood 1971). Selenyum, bakır, kadmiyum ve kurşun, dişlerde çürük tetikleyicisi olarak kabul edilmiştir ve içme suyundaki yüksek bakır konsantrasyonu, diş çürüklerinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir (Shaikh vd., 2021). İnsan dişlerindeki eser elementler dentin ve minede farklı şekilde dağılmıştır (Lappalaine ve Knuuttila, 1981). Demir, tıpkı kalay gibi minenin dış yüzeyinde birikir, magnezyum ise mine-dentin birleşimine doğru artış gösterir. Bakır ve selenyum ağırlıklı olarak proteinde bulunur. Bakır ve magnezyum konsantrasyonları yaşla birlikte değişmez (Molleson, 2018).

2.3. Toprak Yapısı

Toprak, biyolojik aktivitenin olduğu, dünya yüzeyinde ince ve gevşek olmayan madde tabakasıdır (Goffer, 2007). Arkeologlar, çoğu zaman toprağı kazarak yıllar öncesinde o bölgede yaşayan insanlar hakkında bilgiler elde etmeye çalışsa da, toprağın kendisiyle ilgili fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal analizlerle, o dönemin tarihlendirilmesine (toprağın rengi), tarım sistemlerinin neler olduğuna, besin döngüsü tespitine, mineral içeriğine, insan faaliyetlerinin belirlenmesine vb. ışık tutmaktadır (Vranova vd., 2015). İnsanlar yaşamları boyunca elementlere maruz kalırlar. Gümü sonrasında kemiklerin element bileşimi, toprağın yapısı, mezar özellikleri, toprak mikroorganizmaları vb., gibi nedenlerle değişime uğramaktadır. Asidik topraklarda kemiklerin korunma durumu zayıftır. Örneğin, asidik toprakta gömülü olan kemikler içerisindeki kaburga kemikleri, uzun kemikler ve kafatasına göre daha fazla gömü sonrası değişimlerden etkilenmektedir (Costas vd., 2016).

Toprak, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler arasında benzersiz bir dengeyi temsil eden heterojen ve karmaşık bir canlı ekosistemdir. Renk, nem içeriği ve geçirgenlik, toprakların başlıca fiziksel özellikleridir (Almeida vd., 2019). Organik madde bakımından zengin olan koyu topraklar, genellikle geçmişteki yoğun insan faaliyetlerinin olduğu alanlardır. Toprağın bileşimi ve dokusu insanlar tarafından değiştirilebilir ve bu durum toprağın yapısında kimyasal ve morfolojik izler bırakır (Goffer, 2007). Kimyasal izler, çeşitli faaliyetlerin geride bıraktığı görünmez element ve molekül birikintileridir. Örneğin, fosfat genellikle kemik, dışkı ve biriken diğer materyallerin yoğunluğundan ötürü insanların yaşadığı bölgeleri gösterir (Price ve Burton, 2011).

Toprağın % 98'inden fazlası sekiz ana elementten (oksijen, silikon, alüminyum, karbon, demir, kalsiyum, sodyum, magnezyum ve potasyum) oluşmaktadır, kalan % 2'si diğer elementleri (titanyum, hidrojen, fosfor, nitrojen, baryum ve stronsiyum ile toplamda 84 element) içermektedir (Goffer, 2007). Bu eser elementler, bitki büyümesi ve hayvan beslenmesinde yer almaları nedeniyle mikro besinler olarak kabul edilebilir (Almeida vd., 2019). Tarım topraklarındaki çinko, bakır ve manganez gibi esansiyel ağır metaller ve selenyum gibi metaloidlerin eksiklikleri birçok ülkede tarımsal verimliliği ve insan sağlığını etkilemektedir. Topraktaki seviyeler genellikle 1 ila 40 mg/kg arasında değişir, ancak pestisit uygulaması ve atıklar çok daha yüksek konsantrasyonlara neden olabilir (Matta ve Gjyl, 2016).

İz element varlığı çoğunlukla nötr veya alkali pH değerlerine sahip ağır topraklarda daha düşük, hafif topraklarda ise daha yüksektir (Wenzel vd., 1999). pH 6'dan düşükse asidik toprak, 6 - 8,5 arasındaki pH aralığı normal toprak ve 8,5'ten büyükse alkali toprak olarak adlandırılır. Fe, Mn, Zn ve Cu

gibi elementler alkali topraklara göre, asidik topraklarda daha fazla bulunur (Tale ve Ingole, 2015). Toprak pH'ı toprağa giren besinlerin biçimini ve çözünürlüğünü etkileyebilir (Forbes, 2017). Eser elementlerin çözünürlüğü genellikle toprak pH'ının düşmesiyle artar. Bu davranışı oluşturan faktörler arasında emilim hareketliliği, karmaşık emilim süreçlerinin toprak pH'ına bağlı negatif yükünün azaltılması ve toprak bileşenlerinin çözünmesi yer alır. Metallerin bağlı hareketliliği, pH 6'nın altına düştükçe metal hareketleri sırasıyla $Cd > Zn > Ni > Mn > Cu > Pb > Hg$ olarak azalır (Tack, 2010).

Toprağın sıcaklık ve nem miktarının sürekli değişmesinden ötürü kimyasal dengesi sabit kalmamaktadır (Tack, 2010). Eser elementin topraktaki hareketliliğini ve kimyasal birleşimini anlamak, bitkilerin veya toprak mikroorganizmalarının iz elementleri topraktan kolayca alıp alamadığını anlamak için önemlidir (Tlustos vd., 2007). Bitkiler çoğunlukla eser elementleri toprak çözeltisindeki konsantrasyondan alırlar. İz elementlerin topraktaki çözünürlüğünü etkileyen herhangi bir faktör (örn., düşük toprak pH'ı kadmiyumun pirince geçmesini kolaylaştırır) aynı zamanda elementlerin bitkiler tarafından alınımını da etkileyecektir. Bu nedenle, eser elementlerin topraklardaki çözünürlüğü, çevresel etkilerinin olasılığını ve kapsamını belirlemede önemli bir faktördür (Tack, 2010).

2.3.1. Diyajenez

İnsan kalıntılarında diyajenez, arkeoloji ve adli bilimlerde ölüm öncesi ve ölüm sonrası özellikleri yeniden yapılandırmak için gerçekleştirilen, kemik kimyası araştırmalarındaki artış nedeniyle incelenen bir konudur (Lopez-Costas vd., 2016). Diyajenezin nasıl işlediğini anlamak, gömü uygulamaları, eser element ve izotopik analize dayalı beslenme göstergeleri hakkında bilgi sağlayabilir (Hollund vd., 2012).

Genel anlamıyla diyajenez, bireyin gömüldükten sonra topraktaki mikrobiyal veya kimyasal faktörler yoluyla, kemik mineral matriksindeki element konsantrasyonunda değişikliklere neden olabilecek tüm süreçlerdir (Fabig ve Herrmann, 2002). Bu süreçler içerisinde, kemiğin ortaya çıkan kimyasal korozyonu, kemiğin boyutu ve gözenekliliği, toprakta kalma süresi, toprak asitlik seviyeleri, bakteriler, su ve ortam sıcaklığı yer almaktadır (Hollund vd., 2012).

Gömü sonrasında mikrobiyal erozyonu başlatanlar arasında mantarlar, bakteriler, deniz ve tatlı su ortamlarında suda yaşayan mikroorganizmalar yer alır. Mikrobiyal bozulma esnasında bu mantarlar, bakteriler vb., kemik üzerinde tüneller açar ve buradan topraktan kemiğe sızıntı ya da kemikten toprağa çözünme gerçekleşir (Kendall vd., 2017). Genellikle iki tür tünelleme (Wedl ve Wedl olmayan) tanımlanır; Wedl tünellemesinde, siyanobakteriler veya mantar saldırısı gibi suda yaşayan mikroorganizmalar

tarafından gerçekleşir, Wedl olmayan tünellemede ise bakteriler tarafından bozulma meydana gelir (Eriksen vd., 2020). Bu nedenle, toprak-su içeriğindeki mevsimsel değişimler, sadece tünelleme bakterilerinin çoğalması için değil aynı zamanda minerallerin dağılım veya kayıp örüntüsü için de etkili olmaktadır (Kendall vd., 2017).

Mikrobiyal tünelleme, birçok mikropta bulunan kolajenaz özellikleri nedeniyle mineralize kolajenin yıkımına yardımcı olur. Mikrobiyal saldırı sonrası kemiğin kolajen (ciddi kayıplarda en az % 80) kaybetmesi nedeniyle, kemiğin gözenekli yapısı azalır (5 μ m'den az) ve kalan inorganik matris yeniden yapılandırılır. Gömülme ortamının sıcaklığı arttığı takdirde de kemiğin gözenekli yapısı ne kadar değişirse, mineral kristallliği o kadar büyük olur (Hedges, 2002). Ayrıca, gözenekli kemiğin, taze kemikten daha fazla ve daha hızlı su emdiği ve dolayısıyla daha büyük bir desorpsiyon oranına sahip olacağı gösterilmiştir (Turner-Walker, 1993). Su, kemikteki element dağılımını da önemli ölçüde değiştirir; bu da çözünme ve yeniden kristalleşmeyle birleşerek kemik mineral bileşiminin, gömülme ortamıyla benzer olmasına neden olur (Kendall, vd., 2017).

Kemik diyajenezinde yer alan fiziksel, kimyasal, histolojik ve mekanik değişimler, ölüm zamanından başlayarak farklı zaman ölçeklerinde meydana gelebilir ve esas olarak mezar ortamının jeokimyasal koşullarına bağlıdır (Bayarı vd., 2020). Hidrolojik olarak diyajenez incelendiğinde durum karmaşık olsa da, çok ıslak (anoksik ortam) ve çok kuru ortamların mikrobiyolojik saldırıyı engeller, orta nemler zamana (örneğin mevsimsel olarak) veya mekana (yeraltı suyu hareketinde olduğu gibi) göre değişebilir (Hedges, 2002). Coğrafi çevreyle bağlantılı olarak, toprak ortamı, gömülü bir kemiğin arkeolojik kayıtlarda hayatta kalıp kalmayacağı veya hızla bozulup kaybolacağı konusunda etkilidir. Oksijene sınırlı erişimi olan ıslak topraklara gömülen kemikler daha yüksek bir kolajen içeriğine ve daha düşük gözenekliliğe sahip olma eğilimindedir (Turner-Walker ve Jans, 2008). Ancak, gözenek yapıları içindeki demir sülfürlerin birikmesi nedeniyle, ortam serbestçe bulunabilen oksijene sahip bir ortama dönüşürse hızlı bir şekilde bozulabilirler (Turner-Walker, 2009).

Kemik, hem organik (protein, kolajen) hem de inorganik (karbonat hidroksiapatit HAp, mineral) bileşenlerden oluşan kompozit bir dokudur. Diğer dokular içerisinde boynuz, dentin ve sement benzer kimyasal içeriğe (kolajen, Hap, çeşitli oranlarda su) sahiptir ve benzer diyajenetik süreçleri paylaşır. Ancak, oluşum biçimiyle (protein yapısının çıkartılarak mineral yapıyla yer değiştirmesi), diğer mineralize dokulardan farklı olan diş minesini, son derece düşük gözenekliliğe ve düşük organik içeriğe sahiptir (Kendall vd., 2017). Ayrıca, kemiklerin aksine, diş minesini yüksek derecede mineralizasyon ve daha büyük biyoapatit kristalitler içerir. Bu nedenle, genellikle diyajenetik değişikliklere karşı dirençlidir (Kamenov vd., 2018).

3. BÖLÜM

ELEMENTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Hücre sel ve bedensel fonksiyonları düzenleyen mineraller (temel mineraller ve eser elementler), organizmanın kendisi tarafından üretilemezler ve beslenme yoluyla sağlanmaları gerekir (Alt vd., 2022). Mineraller, temel mineral ve eser element olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Temel mineraller, ortalama günlük beslenme ihtiyacı 100 miligram veya daha fazla olan ve toplam insan kütle sinin % 0,01'inden fazlasını temsil eden grupta yer alır (Medeiros ve Wildman, 2019). Başlıca mineraller içerisinde yer alan kalsiyum, potasyum, magnezyum, sodyum ve klor vücutta yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Alt vd., 2022). İz elementler ise, insanlarda 100 mg/gün miktarlarının altında yeterli kabul edilen inorganik maddelerdir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Temel eser elementler içerisinde yer alan demir, krom, kobalt, florin, çinko, bakır, iyot, manganez, selenyum, silisyum, molibden ve vanadyum vücutta düşük konsantrasyonlarda bulunur. Mineral eksiklikleri veya aşırı dozları vücut fonksiyonlarının bozulmasına neden olur (Tablo 1) (Alt vd., 2022). İnsan sağlığını korumak için, dengeli bir beslenmede bu minerallerin yeterli seviyelerde alınması gerekmektedir (Whitney ve Rol-fes, 2019).

Tablo 1: Vücuttaki element ve minerallerin sınıflandırılması

Beslenme İçin Gerekli Olan Elementler				
Element	Kemikteki Miktarı (ppm)	Günlük Alım (mg)	Eksikliği	Fazlalığı
Mg	1,000 - 10,000	310 – 420	Büyüme geriliği, kırılğan iskelet	İshal
Ca	380,000	1000	Büyüme geriliği, osteoporoz	Diğer minerallerin emilimine müdahale
Na	15000	2300	Kas krampları, zihinsel ilgisizlik, iştahsızlık	Ödem, akut hipertansiyon
P	180,000	700	Kas zayıflığı, kemik ağrısı	İskelet dışı dokularda, böbreklerde kireçlenme
K	<1000	4700	Düzensiz kalp atışı	Kas zayıflığı
Fe	1000	18	Anemi, kemik sağlığında azalma, osteoporoz	Kanser, kusma, mide-bağırsak kanaması

Cu	Kül <10, kemik <30	2 - 5	Düzensiz metafiz, kemik korteksinde inceleme	Yorgunluk, iştahsızlık
Zn	<1000	15	Cücelik, deforme kemikler	İshal, baş dönmesi, uyuşukluk
Mn	<10	2 - 3	İskelet anormallikleri	Parkinsonizm
Se	Eser miktarda	55 mcg	Kemik mineral yoğunluğunda azalma	Kötü ağız kokusu, dermatit
V	Eser miktarda	10-25 mcg	Büyüme hızında azalma	Rinit, faranjit
Si	Eser miktarda	21 - 46	İskelet bağ dokusunda bozulma	-
Cr	<10	0,35 - 1,40	Diyabet benzeri bir durum	Kanser, alerji
Mo	<1	2	Büyüme geriliği	Bakır değerini düşürür
I	<1	0,2	Guatr, tiroid bezinin yetersizliği	Hipertiroidizm
Al	5 - 100	3 - 14	Büyüme geriliği, koordinasyon bozukluğu	Osteomalazi

Beslenme İçin Gerekli Olmayan Elementler

Element	Kemikteki Miktarı (ppm)	Günlük Alım (mg)	Eksikliği	Fazlalığı
Sr	<1000	<5	-	Kemik hasarı, anemi
Ba	<1000	0,51	-	Böbrek, kalp rahatsızlığı

Toksik Elementler

Element	Kemikteki Miktarı (ppm)	Günlük Alım (mg)	Eksikliği	Fazlalığı
Pb	1-100	0,015 - 0,1	-	Enfeksiyon direncini azaltır, anemi
As	<1	12 - 15	Büyüme geriliği	Osteomalazi Kemik mineral yoğunluğunda azalma
Cd	<1	50 - 150	-	Osteoporoz Itai-itai hastalığı

3.1. Beslenme İçin Gerekli Olan Elementler

İz elementler, organizmanın düzgün büyümesi, gelişmesi, korunması ve sağlığının iyileştirilmesi için faydalıdır. İnsan için, günlük alımı 50 ug ile 18 mg arasında değişen miktarlarda olan eser elementler sağlıklı beslenme açısından gereklidir. Krom, bakır, çinko, selenyum, molibden ve iyot (Aliasgharpour ve Farzami, 2013). Periyodik tabloda yer alan elementler

içerisinde sadece 21 tanesi insanlar için gerekli olduğu bilinen elementlerdir. Bunlar hidrojen, karbon, azot, oksijen, sodyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum, fosfor, kükürt, klor, krom, bakır, çinko, selenyum, molibden, flor, demir, manganez ve iyottur (Bodgen, 2000). Ayrıca, insan beslenmesinde gerekli olduğuna dair ikincil dereceden kanıt gösteren elementler içerisinde alüminyum, silisyum ve vanadyum yer almaktadır (Nielsen, 2000).

3.1.1. Sodyum

Sodyum, normal hücresel homeostazın korunmasında ve sıvı-elektrolit dengesi ile kan basıncının düzenlenmesinde yer alan temel bir besindir (Strazzullo ve Leclercq, 2014). Sodyum, potasyumun hücre dışı karşılığıdır ve potasyumla birlikte vücuttaki toplam su miktarını düzenler (Zoroddu vd., 2019). Sodyum asit-baz dengesinin korunmasına, sinir uyarım iletimine ve kas kasılmasına yardımcı olur (Whitney ve Rolfes, 2019).

Sodyumun, insan kemiğindeki miktarı yaklaşık 15,000 ppm'dir (Ezzo, 1994a). Normal olarak, yetişkin insan vücudu yaklaşık 100 g sodyum içerir. Günlük ortalama alım miktarı yaklaşık 3 g'dır ve böbrekler tarafından kan dolaşımından atıldığı için beslenmede düzenli olarak alınması gereklidir (Zoroddu vd., 2019). Besinler içerisinde işlenmiş gıdalar tuz içeriğinden kaynaklı en fazla sodyum oranına sahiptir. Bunlar içerisinde sandviçler, pizza ve çorbalar gibi karışık yiyecekler bulunur (Whitney ve Rolfes, 2019). Aşırı sodyum alımında kan basıncında artış meydana gelebilir ve akut toksisite oluşabilir. Belirli patolojik durumlarda (örn. kalp yetmezliği, karaciğer sirozu ve böbrek yetmezliği), diyetimizde rutin olarak bulunan düzeylerde (10 g/gün) sodyum alımı hücre dışı sıvıların hacminde tehlikeli bir artışa yol açabilir (Strazzullo ve Leclercq, 2014). Eksikliğinde ise kas krampları, zihinsel olarak ilgisizlik, iştahsızlık gibi sorunlar ortaya çıkar (Whitney ve Rolfes, 2019).

3.1.2. Magnezyum

Magnezyum, vücutta 300'den fazla enzimatik reaksiyonda gereklidir ve insan vücudunda yaklaşık 25 g magnezyum bulunmaktadır (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Magnezyum miktarının % 50'si kemiklerde ve geri kalanı vücut sıvılarında, yumuşak dokularda ve kaslarda depolanır (Zoroddu vd., 2019). Yetişkin insanlarda magnezyum, erkekler için günde 410 - 420 mg ve hamile olmayan kadınlar için günde 310-360 mg arasında değişmektedir (Medeiros ve Wildman, 2019). Hamilelik ve emzirme döneminde ise kadınlarda 355 mg magnezyum yeterli olmaktadır (Jahnen-Dechent ve Ketteler, 2012). İnsan kemiğindeki miktarı ise yaklaşık 1,000 - 10,000 ppm kadardır (Ezzo, 1994a) ve kemiğin magnezyum içeriği yaşla birlikte azalır (Jahnen-Dechent ve Ketteler, 2012).

Magnezyum öncelikle hücrede bulunur ve burada enerji açısından zengin ATP ve nükleer asitler için karşı iyon görevi görür. ATP metabolizmasının, kas kasılması ve gevşemesinin, normal nörolojik fonksiyonun ve nörotransmitter salınımının tamamının magnezyuma bağlı olduğu bilinmektedir (Jahnen-Dechent ve Ketteler, 2012). Bu nedenle, magnezyumun temel fonksiyonları arasında, kemik mineralizasyonu, protein oluşumu, enzim hareketi, dişlerin bakımı ve bağışıklık sisteminin işleyişi yer almaktadır (Whitney ve Rolfes, 2019). Magnezyum iskelet ve kas yapısında da önemlidir ve kemikler magnezyum deposu olarak işlev görür (Zoroddu vd., 2019). Magnezyum, kemikteki hem mineral hem de matris metabolizmasını doğrudan etkileyerek (Wallach, 1990), hücre zarları boyunca Ca ve K elementlerinin aktif taşınmasında rol oynar. Ayrıca, sinir sisteminin, kalp ritminin ve kas kasılmasının normal çalışması için önemli bir süreçtir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Magnezyum ile bakır, çinko, fosfor ve manganez konsantrasyonları birbirleriyle bağlantılıdır (Schroeder vd., 1972).

Magnezyum içeren besinler arasında kuruyemiş, kepekli tahıllar, koyu yeşil sebzeler, deniz ürünleri, çikolata ve kakao yer alır (Whitney ve Rolfes, 2019). İçme suyu günlük magnezyum alımının yaklaşık % 10'unu oluşturur. Orta düzeyde Mg konsantrasyonuna sahip besinler içerisinde meyveler, baklagil gurubu, et ve balık yer almaktadır. Az miktarda Mg konsantrasyonuna sahip olan besinler ise süt ürünleridir (Jahnen-Dechent ve Ketteler, 2012).

Eksikliğinde çocuklarda büyüme geriliği, zayıflık, istemsiz kas hareketleri gibi olumsuz durumlara yol açmaktadır (Whitney ve Rolfes, 2019). Genç yaşta hamile olan insanlarda ortaya çıkabilen magnezyum eksikliğinin, sadece anne ve fetus üzerinde beslenme eksikliğine yol açmakla kalmayıp aynı zamanda bebeği yaşam boyunca etkileyebilecek diğer sonuçlara da yol açtığı ileri sürülmüştür (Takaya ve Kaneko, 2011). Magnezyum fazlalığının kemik üzerinde olumsuz etkileri vardır. Kemik tuzunun kristalizasyonu ileri derecede bozulur ve osteoblastik aktivitenin azalması, büyüme plaklarının genişlemesi ve kısa, kalınlaşmış kemiklerle osteomalazi benzeri bir tablo oluşturur (Wallach, 1990).

3.1.3. Silisyum

Yerkabuğunda oksijenden sonra en bol bulunan elementtir. Silisyum insan beslenmesinde ve vücut fonksiyonlarının normal gelişimi için gerekli bir elementtir. Kemik ve bağ dokusunun gelişiminde etkilidir. Günde ortalama 21 - 46 mg alınan Si sağlık açısından mineral dengeyi sağlamaktadır (Atabey, 2018). Eksikliğinde iskelet bağ dokusunda bozulmalar meydana gelmektedir (Perez-Granados ve Vaquero, 2002). Silisyumun insan kemiğindeki miktarı eser düzeydedir (Ezzo, 1994a). Bitkisel kökenli gıdalar silisyum açısından hayvansal kökenli olanlardan çok daha zengindir. Bütün

otlar ve tahıllarda, toplam kül miktarının % 30 - 40'ında veya tüm kuru bitkilerin % 3 - 4'ünde silisyum dioksit bulunur. Yulaf gibi lif oranı yüksek tahıllar, buğday ve mısır gibi düşük lifli tahıllara göre silisyum açısından çok daha zengindir (Underwood, 1977). Tam tahıllı arpa, yulaf, pirinç kepeği, un, sebze ve meyve silisyum bakımından zengindir (Penninngton, 1991).

3.1.4. Fosfor

Fosfor vücutta en çok bulunan ikinci mineraldir ve enerji metabolizmasına yardımcı olur (Whitney ve Rolfes, 2019). İnsan vücudundaki fosforun yaklaşık % 85'i kemikte bulunur (Medeiros ve Wildman, 2019). Geriye kalan fosforun çoğu yumuşak dokularda dağılır ve fosfat ağırlıklı olarak hücre içi bir iyondur. Hücre dışı sıvıda % 1'den daha az inorganik fosfat (Pi) bulunur (Michigami ve Ozono, 2019). İnsan kemiğindeki miktarı ise yaklaşık 18 mg/g'dir (Ezzo, 1994a).

Fosfor, büyüme ve gelişmede kritik rollere sahiptir ve kemiğin önemli bir yapısal bileşenidir. Kemikteki mineral formu olan hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), kristal birimi başına altı fosfor atomu içerir (her biri iki molekülden oluşur) (Carpenter vd., 2020). Fosfat mineralizasyon süreci (özellikle ergenlikteki büyüme atılımı sırasında), epifizlerin kapanmasından sonra, kırık onarımı ve yeniden şekillenmesi sırasında kemik gücünü korumak için hayati öneme sahiptir (Serna ve Bergwitz, 2020). Büyüyen çocuklarda fosfat dengesinin, iskeletlerde ve yumuşak dokularda fosfat birikmesine izin verecek şekilde pozitif olması gerekir. Büyüyen iskelet ve yumuşak dokuların P ihtiyaçlarını karşılamak için serum P seviyeleri çocuklarda yetişkinlere göre daha yüksek tutulur (Michigami ve Ozono, 2019). Bu nedenle, bağırsakta fosfat emilimi bebeklik ve çocuklukta en yüksek düzeydedir ve yaşla birlikte azalır (Carpenter vd., 2020). Hücre dışı fosfor kaynağı kronik olarak yetersiz olduğunda, mineralizasyon bozulur ve bu da çocuklarda raşitizm ve yetişkinlerde osteomalazi durumlarına neden olur (Carpenter vd., 2020). Diyetle yüksek miktarda fosfor alımı kemik sağlığını olumsuz etkileyerek, kalsiyum emilimini ve serum kalsiyum konsantrasyonlarını azaltabilir. Sonucunda, sekonder hiperparatiroidizm gelişir ve bu da kemik emilimini uyarır (Serna ve Bergwitz, 2020). Fosfor yaygın olarak hemen hemen tüm yiyeceklerde bulunduğundan, diyet eksiklikleri olası değildir (Whitney ve Rolfes, 2019). Süt, süt ürünleri, et ve tahıllarda yeterli miktarda fosfor bulunur ve miktarı yaşla birlikte değişir (Nicholson ve Pesce, 1996).

3.1.5. Potasyum

Potasyum pozitif yüklü bir iyondur. Sodyumun aksine potasyum, vücut hücrelerinin içinde vücudun başlıca hücre içi katyonudur. Hücrelerin normal bütünlüğünü sağlamanın yanı sıra elektrolit ve sıvı dengesini

korur (Whitney ve Rolfes, 2019). Yetişkin insan vücudu yaklaşık 140 gr potasyum içerir. Günlük alım miktarı günde yaklaşık 3,5 g olmalıdır (Zoroddu vd., 2019). İnsan kemiğindeki miktarı yaklaşık <1000 ppm'dir (Ezzo, 1994a).

Potasyum bütün gıdalarda, et, süt, meyve, sebze, tahıl ve baklagillerde bol miktarda bulunur. Potasyum eksikliği, kan basıncında, böbrek taşlarında ve kemik döngüsünde artışa yol açmaktadır (Whitney ve Rolfes, 2019). Lityum, sezyum ve talyum gibi diğer bazı elementler, potasyum ile kimyasal benzerliklere sahiptir ve önemli hücre içi konumlarından potasyumun yerini alabilir (Zoroddu vd., 2019). Potasyum iskelet bütünlüğü için faydalı olmaktadır (Aspray, 2017).

3.1.6. Kalsiyum

İnsan vücudunda en çok bulunan minerallerden biri olan kalsiyumun yaklaşık % 99'u kemik ve dişlerde, kalan % 1'i hücre içi ve hücre dışı sıvılar içinde bulunur (Medeiros ve Wildman, 2019). Kalsiyum, kanın pıhtılaşmasına, kasların kasılmasına ve kalp atışının düzenlenmesine yardımcı olması nedeniyle insan vücudunda çok önemli bir role sahiptir (Pathak vd., 2020). Tüm vücuttaki kalsiyumun % 99'u kemiklerde amorf kalsiyum fosfat, kalsiyum karbonat ve hidroksiapatit kristalleri şeklindedir (Lynch, 1990). Hidroksiapatit, $Ca_5(PO_4)_3(OH)_2$ olarak kalsiyum, normal kemik ve dişlerin önemli bir bileşenidir. Hidroksiapatit, kemik mineralini ve dişlerin matrisini oluşturur ve bu kalsiyum bileşiği kemiklere ve dişlere sertlik verir (Zoroddu vd., 2019).

Kemikler vücuda mekanik destek sağlamanın yanı sıra kalsiyumu depolar (Lynch, 1990). Kalsiyumun insan kemiğindeki miktarı yaklaşık olarak 380,000 ppm'dir (Ezzo, 1994a). İdeal kalsiyum alımı ise günde 700 - 800 mg civarındadır (Zoroddu vd., 2019). Kalsiyumun ana besin kaynakları, süt ürünleri, kuruyemişler (badem, incir, tahin vb.), tam tahıllar ve yeşil sebzelerdir (Ayaz, 2018; Pathak vd., 2020). Beslenmede laktöz intoleransı dışında çok az yan etkiye sahip olmakla birlikte kalsiyumun takviyelerden çok diyet kaynaklarından emildiği bilinmektedir (Bauer, 2013). Eksikliğinde çocuklarda büyüme geriliği, yetişkinlerde osteoporoz meydana gelir (Whitney ve Rolfes, 2019). Beslenme içerisindeki uzun süreli kalsiyum eksikliği, raşitizm, osteomalazi ve osteoporozu yol açabilir (Dermience vd., 2015). Fazla kalsiyum alımında ise, kanda aşırı miktarda bulunan kalsiyum, hiperkalsemiye, böbrek yetmezliğine, damar ve yumuşak doku kireçlenmesine ve böbrek taşına neden olur (Pathak vd., 2020).

Kalsiyum homeostazı ile etkileşime giren en önemli mineral, muhtemelen inorganik fosfattır, çünkü işlenmesi, paratiroid hormonu ve $1,25(OH)_2D$ aracılığıyla kalsiyuma yakından bağlıdır. Magnezyum ikinci

en yaygın hücre içi katyondur ve kalsiyumla bazı fizyolojik etkileri paylaşır. Kalsiyuma benzer şekilde paratiroid hormonu ve kalsitonin tarafından düzenlenir; bu nedenle bu hormonal eksenlerin düzensizliği, magnezyum ve kalsiyum emilimi ve atılımı üzerinde benzer etkilere sahip olacaktır. Sodyumun bağırsakta kalsiyum emilimi üzerinde olumsuz bir etkisi vardır (Aspray, 2017). Kalsiyum ve stronsiyum arasındaki kimyasal ve metabolik benzerlikler mevcuttur (Jarvis vd., 1963).

3.1.7. Vanadyum

Bir geçiş metali olan vanadyum, normalde bitki ve hayvanlardaki hemen hemen tüm hücrelerde çok düşük konsantrasyonlarda (10 - 8 mol/L) bulunur (Barrio ve Etcheverry, 2006). Diş minesindeki miktarı 0,1 µg/g'nin altındadır (Underwood, 1977). İnsanlarda kan plazmasındaki vanadyum içeriği 200 nanometre civarındayken, dokularda 0,3 mg/kg civarındadır (Aliasgharpour, 2020). Vanadyumun özellikle kemik, böbrek, dalak ve karaciğerde birikmektedir. Ancak, yüksek oranda vanadyum birikimi (10 - 26 mg) kemik dokusunda toplanmaktadır (Barrio ve Etcheverry, 2006).

Vanadyum eser miktarda bulunmasına rağmen canlı sistemlerde ilginç etkiler gösteren bir mikro besindir. Farmakolojik dozlarda vanadyum bileşikleri, insülini taklit etme, büyüme faktörü benzeri aktivite ve antitümör özellikler gibi biyolojik etkiler gösterir (Barrio ve Etcheverry, 2006). Yaygın konsantrasyonlarda vanadyum toksik değildir. Vanadyumun neden olduğu toksik etkilerin ana kaynağı, vanadyum işleyen endüstriyel işletmelerden dolayı havadaki yüksek miktarda vanadyum oksitlerin solunmasıdır (Rehder, 2013). Vanadyumun solunması rinit, farenjit, balgamlı öksürük, trakeobronşit ve bronkopnömoniye (zatürrenin bir alt türü) neden olabilir (Ghosh vd., 2015). Vanadyum eksikliği, büyüme hızında ve bebeklik döneminde hayatta kalmada azalmalara neden olabilir (Medeiros ve Wildman, 2019).

İnsanlarda vanadyum emilimi % 5 - 40 arasında değişmektedir (Medeiros ve Wildman, 2019). Bağırsaklardan vanadyum atılımı erkeklerde ve emzirmeyen kadınlarda % 96'dır. Emziren kadınlar vanadyum alımının % 17'sini süte salgılar ve atılımın % 79'unu bağırsaklardan sağlar (Anke, 2004). İnsan beslenmesinde günlük 10 - 25 mikrogram yeterli olmaktadır (Medeiros ve Wildman, 2019). Vanadyum içeren besinler arasında kahvaltılık tahıllar, konserve meyve suları, balık çubukları, kabuklu deniz ürünleri, sebzeler (özellikle mantarlar, maydanoz ve ıspanak), tatlılar, şarap ve bira yer almaktadır (Medeiros ve Wildman, 2019). Vanadyum bezelye, pancar, havuç ve armutta düşük oranda bulunurken, dereotu ve turpta yüksek oranda bulunmaktadır (Underwood, 1977). Buğday ve çavdar yüksek oranda vanadyum içerirken, nişasta ve şeker bakımından zengin olan tüm gıda ürünleri ve hayvanlar vanadyum açısından fakirdir (Anke, 2004).

3.1.8. Krom

Krom bir geçiş elementidir ve çoklu iyonik hallerde bulunur. Diyet kromu üç değerlikli haldedir ve düşük toksisiteye sahiptir, bu tür kromun toksik etkileri kolayca oluşmaz (Aliasgharpour, 2020). Üç değerlikli krom özellikle et, yumurta, balık, tam tahıllı tahıllar, kabuklu yemişler, meyveler ve sebzeler bira mayası, kahve, fındık, yeşil fasulye ve brokoli gibi besin maddelerinde doğal olarak yer almaktadır (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017; Rodriguez ve Mandalunis, 2018; Whitney ve Rolfes, 2019). Gıdalardaki en yüksek krom konsantrasyonları mantarlarda, istiridyelerde, karaciğerde, bira mayasında ve karabiberde bulunur. Et, meyve, tahıl ve sebzelerde düşük içerik rapor edilmiştir (Gonzalez-Weller vd., 2013). Krom, insanların eser miktarda ihtiyaç duyduğu bir eser elementtir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Yetişkinler için yeterli krom alımı günde 20 - 35 µg'dır (Aliasgharpour, 2020). İnsan kemiğindeki miktarı yaklaşık <10 ppm'dir (Ezzo, 1994a).

Krom çevrede, kayalarda, toprakta, suda, tozda ve volkanik külde yaygın olarak bulunur (Rodriguez ve Mandalunis, 2018). Maruz kalma yoluna (örn. ağızdan, deri yoluyla veya nefes alarak) ve kromun önemli kimyasal formlarına bağlı olarak, ortaya çıkacak etkileri farklıdır (Aliasgharpour, 2020). Krom toksisitesi solunum, gastrointestinal, nörolojik ve üreme sorunlarına yol açmakla birlikte dermatit, alerji ve kanser gibi hastalıklar üzerinde etkili olmaktadır (Rodriguez ve Mandalunis, 2018). Krom, karbonhidrat ve lipid metabolizmasına katılan önemli bir mineraldir. Kromun temel fonksiyonları arasında insülin etkisini arttırmak ve glukoz intoleransını iyileştirmek yer almaktadır. Bu nedenle, krom eksikliğinde diyabet benzeri bir durum meydana gelebilir (Whitney ve Rolfes, 2019).

3.1.9. Manganez

Manganez (Mn), hem doğal olarak hem de toprağın, çökeltilerin ve suyun kirlenmesi sonucu oluşan bir metal elementtir (Rondanelli vd., 2021). İnsanın sağlıklı bir yaşam sürebilmesi için gerekli olan manganez, vücutta küçük miktarlarda bulunur. İnsan vücudunda 12 mg olarak bulunan manganezin % 43'ü iskelet sistemindedir. Geri kalanı yumuşak dokularda (karaciğer, böbrekler, pankreas, beyin) bulunur (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). İnsan kemiğindeki miktarı ise yaklaşık <10 ppm'dir (Ezzo, 1994a).

Manganez kısmen gastrointestinal sistem yoluyla emilir (% 3 - % 5) ve kemikler manganez birikimi için en temel organdır (Wang vd., 2022). Manganez kemik, karbonhidrat ve lipid metabolizması, üreme ve bağışıklık üzerinde etkilidir. Yetersiz manganez alımında çocuklarda büyüme geriliği meydana gelmektedir (Wada, 2004). Bunun yanı sıra, manganez eksikliğinde hiperkolesterolemi, glukoz toleransında bozulma, dermatit, saç

renginde değişiklikler, iskelet anormallikleri, kısırlık, sağrlık ve vitamin sentezinde bozulmalar ortaya çıkmaktadır (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017).

Manganez gereksinimleri düşüktür, ancak yüksek demir ve kalsiyum alımı manganez emilimini sınırlar (Whitney ve Rolfes, 2019). Manganez, insanların hayatta kalması için gerekli olmasına rağmen, alımı normal seviyeyi aştığında sağrlık sorunları da ortaya çıkmaktadır (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Polisitemi, distoni, hepatik siroz gibi çeşitli patolojiler, aşırı maruz kalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Özellikle, manganez fazlalığının ardından “manganizm” olarak adlandırılan Parkinsonizm gibi semptomlar ortaya çıkabilir (Zoroddu vd., 2019). İnsanların manganez takviyesi almasına gerek yoktur çünkü genellikle diyetimizden yeterince alırız. Manganez açısından zengin besinler badem, yaban mersini, zeytin, avokado, pirinç, yulaf ve çaydır (Zoroddu vd., 2019). Manganez ile bakır, çinko ve krom konsantrasyonları birbirleriyle ilişkilidir (Schroeder vd., 1972).

3.1.10. Demir

Demir yer kabuğunda sırasıyla oksijen, silikon ve alüminyumdan sonra en bol miktarda dördüncü elementtir. İnsan vücudunda diğer elementlere göre en bol miktarda bulunan demirin, vücuttaki içeriği yaklaşık 3 - 4 g'dır, bu da neredeyse vücut ağırlığında kilogramı başına 40 - 50 mg demir konsantrasyonuna karşılık gelir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Bebeklerin demire olan fizyolojik gereksinimi günde ortalama 0,6 mg kadardır ancak, yaşamının ilk bir yılında bu miktar günde 1 mg'a kadar çıkabilir (Underwood, 1977). Demirin insan kemiğindeki miktarı ise yaklaşık <1000 ppm'dir (Ezzo, 1994a).

Vücuttaki demirin çoğu, oksijeni akciğerlerden dokulara aktaran bir eritrosit proteini olan hemoglobin içinde bulunur (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Demir, vücuttaki çok sayıda biyolojik işlevler için gerekli bir elementtir, ancak demir fazlalığı toksik özellik göstermektedir (Dev ve Babbitt, 2017). Aşırı miktarda demir içeren besinlerin (örneğin et) tüketimi kanser riskini arttırmaktadır. Demir toksisitesinde kusma, ishal, mide-bağırsak kanaması, hipotansiyon ve gastrointestinal ülserasyonlar gibi hastalıklar meydana gelmektedir (Engwa vd., 2019). Demir eksikliğinde kemik sağlamlığında azalma, osteoporoz riskinde artış (Gaffney-Stomberg, 2019), anemi, bağışıklığın bozulması, enerji metabolizmasında bozukluk gibi durumlar meydana gelir (Whitney ve Rolfes, 2019).

Çoğu gıdanın demir içeriği, gıdaların yetiştirildiği veya üretildiği toprak ve iklim koşullarındaki farklılıklara göre değişmektedir. En zengin demir kaynakları, karaciğer ve böbrek, yumurta sarısı, kuru baklagiller, kakao, şeker kamışı pekmezi ve maydanozdur. Zayıf demir kaynakları içerisinde, işleme sırasında kontamine olmadıkça süt ve süt ürünleri, beyaz şeker, be-

yaz un ve ekmek (zenginleştirilmemiş), patates ve çoğu taze meyve yer alır (Underwood, 1977). Demir ile manganez, çinko, fosfor, magnezyum, krom ve bakır konsantrasyonları birbirleriyle bağlantılıdır (Schroeder vd., 1972).

3.1.11. Bakır

Bakır, insan vücudunda yalnızca 75 - 100 mg toplam miktarı ile en çok bulunan üçüncü eser elementtir. Bakır vücudun hemen hemen her dokusunda bulunur ve esas olarak beyin, kalp, böbrek ve kaslarla birlikte karaciğerde depolanır (Bhattacharya vd., 2016). Sağlıklı yetişkinlerin vücudundaki ortalama bakır miktarı 1,7 ppm ve yenidoğanların vücutlarındaki ortalama bakır miktarı ise 4,7 ppm'dir. Bu durum yaşa ve beslenme yapısına göre değişiklik gösterebilir (Underwood, 1977). İnsan kemiğindeki bakır miktarı ise yaklaşık <30 ppm'dir (Wilson vd., 2002).

Bakırın günlük olarak alımı 2 - 5 mg'dır ve bunun yaklaşık olarak yarısı gastrointestinal sistemden emilir (Prashanth vd., 2019). Daha sonra albümine bağlı olarak karaciğere taşınır. Bakır, karaciğerde işlendikten sonra ikinci bir aşamada diğer dokulara dağıtılır. Karaciğerde bakır taşınması, kanda bakırın çoğunu taşıyan seruloplazmin proteinini içerir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Bakır vücutta kemik ve bağ dokusu metabolizması üzerinde etkilidir. Eksikliğinde, çocuklarda kemik korteksinde incelleme, anemi (Wada, 2004), anormal kemik oluşumu (trabeküler oluşumun kaybı), iskelet kırılabilirliği ve osteoporoz, eklem ağrısı, bağışıklığın azalması ve damarsal anormallikler gibi olumsuz durumlar meydana gelebilir (Bhattacharya vd., 2016).

Bakırın insan vücudu için en iyi besin kaynakları arasında buğday, arpa, ay çekirdeği, badem, ceviz, yer fıstığı, kaju, kuru erik, kuru üzüm kayısı, çeşitli kuru fasulye, mantar, tavuk ve balık (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017; Whitney ve Rolfes, 2019), sakatat, istiridye ve bitter çikolata yer almaktadır (Kohlmeier, 2020). Gıdalarda doğal olarak bulunan çeşitli bileşenlerin, bakırın bağırsaktan emilimini etkilediği ve biyoyararlanımını artırdığı veya azalttığı bulunmuştur. Bakır emiliminin etkinliğini artırdığı görülen düşük diyet bakır alımı dışında, bakırın biyoyararlanımını artıran diğer ana diyet faktörü, yüksek düzeyde protein alımı gibi görünmektedir (Aliasgharpour, 2020).

Bakır ile magnezyum, fosfor, krom, demir ve manganez konsantrasyonları birbirleriyle bağlantılıdır (Schroeder vd., 1972). Bebeklerde bakırın konsantrasyonu, doğum ile yaklaşık iki yaş arasında dört kat azalmasına rağmen, Cu/Zn oranı yaşam boyunca sabit kalır. Bakır konsantrasyonları yaşa göre de değişir. Vücutta depolanan bakır, anne sütüne küçük miktarlarda eklenerek, normal bir emzirme dönemi boyunca yeterli olmaktadır. Yeni doğan bebeklerde depolanan bakırın emzirilme süresinin uzunluğuyla ilişkili olduğu bilinmektedir (Gilbert, 1975).

3.1.12. Çinko

Çinko, insan sağlığında çok geniş bir uygulama alanına sahip olan ve sağlıklı bir bağışıklık sistemi için gerekli olan minerallerden biridir (Aliasgharpour ve Rahnamaye-Farzami, 2013). Çinko, vücuttaki birçok enzim aktivitesi için önemli olan bir eser elementtir (Guan ve Mei, 2018). Protein sentezi, hücrelerin çoğalabilmesi, bebek ve çocukların büyüme ve gelişimi (Tarakçı ve Küçüköner, 2006), bağışıklık fonksiyonları, tat ve koku alma ve yaşlanmanın önlenmesi dahil olmak üzere çeşitli homeostatik fonksiyonlara katkıda bulunur (Yanagisawa ve Nodera, 2007). Çinko ile magnezyum, fosfor, manganez ve bakır konsantrasyonları birbirleriyle ilişkilidir (Schroeder vd., 1972).

Çinkonun, vücuttaki miktarı yaklaşık olarak 2 - 3 g'dır. Geri kalanı plazmada iken yaklaşık % 99'u hücre içindedir. Çinkonun ortalama günlük gereksinimi 15 - 20 mg/gündür (Prashanth vd., 2019). İnsan kemiğindeki miktarı ise yaklaşık <1000 ppm'dir (Ezzo, 1994a). Yetişkinlere göre yeni doğanların kemiklerinde daha fazla çinko bulunmaktadır (Medeiros ve Wildman, 2019). Çinko yetişkinler arasında yaşla birlikte dalgalanma göstermemektedir. Stronsiyumda olduğu gibi, diyajenezde çinko konsantrasyonlarının gömü sırasında sabit kaldığı bilinmektedir (Beck, 1985).

İnsanlar günde 100 mg'a kadar yüksek çinko alımlarına karşı çok toleranslıdır. Uzun süreli yüksek çinko alımına maruz kalmak, bakır emilimi gibi diğer eser elementlerin metabolizmasına zarar vermektedir (Aliasgharpour, 2020). Ayrıca, yüksek çinko alımlarında (4 - 8 g) bağışıklık sistemi zarar görebilir ve mide bulantısı, ishal, baş dönmesi, uyuşukluk ve halüsinasyonlara neden olabilir (Aliasgharpour ve Rahnamaye-Farzami, 2013). Çinko eksikliğinde ise, cücelik, kemiklerde deformasyon, tat kaybı (Medeiros ve Wildman, 2019), aşırı zayıflık, yorgunluk ve tırnak altlarında beyaz lekeler meydana gelmektedir (Deshpande vd., 2012).

Çeşitli beslenme faktörleri çinko emilimini etkileyebilir. Tahıllarda ve baklagillerde bulunan fitat, çinkoyu bağlayabilir ve emilimini azaltabilir. Ayrıca, yüksek oranda lifli gıdaları tüketmek de çinko emilimini olumsuz yönde etkileyebilir (Medeiros ve Wildman, 2019). Diyetteki aşırı bakır, kalsiyum, fosfat, oksalat ve kalay çinko emilimini azaltır. D vitamini ise hem çinko emilimini hem de çinkonun kemiklere geçişini artırır (Özdemir ve Tabanlı, 2016). Çinko emilimini kadmiyum azaltırken, proteinler ise artırır (Belgemen ve Akar, 2004). Çinko konsantrasyonu gösteren dokular arasında, kemik (yaklaşık % 30), karaciğer, kas (yaklaşık % 60), beyin, kalp, böbrekler ve deri bulunur (Medeiros ve Wildman, 2019). Bitkilerdeki çinko konsantrasyonu ise, topraktaki elementin seviyelerine göre değişir. Toprakta yeterli miktarda çinko bulunduğu, en fazla çinko içeren besin bitkileri buğday (tohum ve kepek) ve çeşitli tohumlardır (susam, haşhaş,

yonca, kereviz ve hardal) (Deshpande vd., 2012). Yüksek miktarda bitkisel asit içeren tahıl bazlı gıdaların üretildiği ülkelerde, çinko emiliminin düşük olmasından dolayı, temel gıda mahsullerinin (buğday, pirinç, fasulye, darı ve mısır) biyolojik olarak zenginleştirilmesi, çinko emiliminin ölçülmesine ve çinko eksikliğinin giderilmesine katkı sağlamaktadır (Brnic vd., 2016). Tüketilen besinler arasında kırmızı et, kümes hayvanları, balık, tahıllar, kabuklu yemişler, yumurta ve tohumlar önemli miktarda çinko içerir. Yeşil yapraklı sebzeler ve meyveler, yüksek su içerikleri nedeniyle az miktarda çinko kaynakları olarak bilinir (Aliasgharpour ve Rahnamaye-Farzami, 2013). Tahin, baklagiller, fındık ve yer fıstığında da çinko bulunmaktadır (Ayaz, 2018).

3.1.13. Selenyum

Selenyum, insan ve hayvanlarda yüksek metabolik aktiviteye sahip beslenmede gerekli bir eser elementtir (Aliasgharpour, 2020). Selenyum, serbest radikallere karşı savunmada etkilidir, tiroid hormonlarının ve insülinin sentezi için gereklidir, doğurganlığı ve hücre büyümesini destekler (Kohlmeier, 2020). İnsan kemiğindeki miktarı eser düzeydedir (Ezzo, 1994a). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre yetişkinler için günlük Se alımı 55 µg'dır ve toksik olarak sayılamayacak en yüksek alım miktarı ise günde 400 µg'dır (Genchi vd., 2023).

Beyaz un ve ekmekte, tam buğday unu ve tam buğday ekmeğine kıyasla daha az miktarda selenyum bulunur. Deniz ürünleri, böbrek, karaciğer, et ve tam tahıllar genellikle iyi kaynaklardır (> -0,2 ppm), meyve ve sebzeler çoğunlukla zayıf kaynaklardır (0,01 ppm veya daha az). Selenyum miktarı gıdaların kaynağına ve deniz balıklarının tüketim miktarına göre büyük oranda değişiklik gösterir (Underwood, 1977). Çiğ gıdaların pişmiş ve işlenmiş gıdalardan önemli ölçüde daha fazla selenyum içerdiği bulunmuştur (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017).

Diyetle alınan selenyumun yaklaşık % 80'i emilir, ancak miktar, diyetteki kimyasal formdan, protein alımı ve diyetle cıva, arsenik (Aliasgharpour, 2020), kükürt, kurşun, kalsiyum ve demir gibi elementlerin varlığı selenyum alımını azaltır. Yüksek konsantrasyonlarda enzimlerdeki kükürtün yerini aldığı için toksik hale gelir. Aşırı selenyum alımı, insanlarda dermatit, kötü ağız kokusu, akut solunum sıkıntısı, böbrek yetmezliği ile saç ve tırnak kaybına neden olabilir (Genchi vd., 2023). Selenyum eksikliğinde vücutta arsenik, kadmiyum ve cıva birikimi artar (Aliasgharpour, 2020). Kemik mineral yoğunluğunda azalma meydana gelebilir (Gaffney-Stomberg, 2019). Ayrıca, selenyum eksikliğinde yaygın bir kalp hastalığı olan Keshan hastalığı ortaya çıkabilir. Özellikle, Çin'in toprak ve gıdaların selenyum içermediği bölgelerinde yaşayan insanlarda Keshan hastalığı oldukça yaygın görülmektedir (Whitney ve Rolfes, 2019).

3.1.14. Molibden

Molibden, mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar için önemli olan bir eser elementtir (Aliasgharpour, 2020). Molibden, karbon, azot ve kükürt döngülerinde yer alan enzimler için bir kofaktördür. Dolayısıyla molibden hem insan sağlığı için, hem de ekosistemimizin sağlığı için de gereklidir (Ruiz-Medina ve Llorent-Martínez, 2012).

İnsanlar için günlük alım miktarı yaklaşık olarak 2 mg'dır (Whitney ve Rolfes, 2019). Ortalama yetişkin bir insanda yaklaşık 5 - 8 mg molibden bulunur, ancak bu miktar tek seferde alınan dozda tehlikeli olabilir (Zoroddu vd., 2019). En yüksek molibden konsantrasyonları böbreklerde, karaciğerde ve kemikte bulunur (Turnlund ve Friberg, 2007). Alınan doza bağlı olarak diyetteki molibdenin toplam % 59 - 94'ü gastrointestinal kanalda emilir. İnsanlarda molibden eksikliği oldukça nadirdir ve üreme işlevlerinde bozulma ve büyüme geriliğiyle ilişkilidir. Yüksek miktarda molibden zehirlidir (Aliasgharpour, 2020). Çünkü yüksek molibden seviyesi vücudun bakır alımına müdahale edebilir ve bu da bakır eksikliğine neden olabilir. Ayrıca plazma proteinlerinin bakıra bağlanmasını önler ve idrarda atılan bakır miktarını artırır (Aliasgharpour ve Rahnamaye-Farzami, 2013). Yapılan çalışmalar içerisinde, çiftlik hayvanlarında 'gözyaşı hastalığı' olarak bilinen kronik molibden zehirlenmesi, molibden açısından yüksek ve bakır açısından düşük bir beslenmeden kaynaklandığı bildirilmiştir (Turnlund ve Friberg, 2007).

Baklagiller, ekmekler ve diğer tahıl ürünleri, yapraklı yeşil sebzeler, süt ve karaciğer molibden açısından zengin gıdalardır (Whitney ve Rolfes, 2019). En fazla molibden içeren yiyecekler kuzu eti, dana karaciğeri, domuz eti, mercimek ve bezelyedir (Zoroddu vd., 2019). Molibden, diyet içeriğinin çoğundan ve elementin inorganik formlarından kolayca ve hızla emilir (Underwood, 1977).

3.1.15. İyot

Beslenmedeki iyot, gastrointestinal sistem boyunca emilir. Diyetle alınan iyot emilmeden önce iyodür iyonuna dönüştürülür. İyodür iyonu % 100 biyoyararlıdır ve tamamen yiyecek ve sudan emilir. Ancak bu, tedavi amaçlarla alınan tiroid hormonlarındaki iyot için geçerli değildir. Dolaşımında tiroid bezi tarafından alınır ve fazlası böbrekler tarafından süzülerek atılır. İyodürün tüm biyolojik etkileri tiroid hormonlarına atfedilir. Ek olarak, iyotun etkin kullanımının selenyum içeren bir enzime ve dolayısıyla yeterli selenyum durumuna bağlı olduğu ileri sürülmüştür. Selenyum, iyot moleküllerini T4'ten T3'e dönüştürerek uzaklaştıran deiodinaz enziminin gerekli bir bileşenidir. (Aliasgharpour, 2020).

Yaşam için vazgeçilmez olan iyot, vücut ısısını ve metabolik hızı düzenler. Üremeyi, büyüme ve gelişmeyi kontrol eder. Ayrıca, kan hücresi üretimi, sinir ve kas fonksiyonunu ve daha fazlasını düzenleyen tiroid hormonlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Eksikliğinde tiroid bezinin yetersizliği, guatr, sınırlı zihinsel ve fiziksel gelişim (kretinizm) meydana gelebilir (Whitney ve Rolfes, 2019). Anne sütündeki iyot içeriğini bebeklerin günlük alım miktarının ortalama olarak dört katı olabileceği görülmüştür (Gushurst vd., 1984). İyot eksikliği dünyanın birçok yerinde önemli bir sağlık sorunudur (Ruiz-Medina ve Llorent-Martínez, 2012).

3.1.16. Alüminyum

Alüminyum, yer kabuğunda en bol bulunan metaldir ve teneke kutular, dış cephe kaplaması, folyo, gıda katkı maddeleri, analjezikler, ter önleyiciler ve kozmetikler (Hasan vd., 2020), inşaat ekipmanları, taşımacılık, boyalar, yapay taşlar, cam, bira-kağıt, su ve şeker arıtma endüstrilerinde, gıda ve içme sularında bulunmaktadır. Ayrıca, tarım topluluklarındaki hava yolu ve yol tozu yoğun olduğunda alüminyum yaygın olarak bulunur. (Krewski vd., 2007). Alüminyumun günlük vücuda alımı 3 - 14 mg arasında iken sağlığı tehdit edici miktarda olmamaktadır (Aras ve Ataman, 2006). Alüminyumun insan kemiğindeki miktarı yaklaşık 1 - 100 ppm'dir (Ezzo, 1994a).

Bağırsaktan alüminyum emilimi, portakal ve limon gibi asitli meyveler ve portakal suyu ile arttırılabilir (Puzas ve Boyce, 2020). Alüminyum, kalsiyum, florin, demir, magnezyum, fosfor ve stronsiyum gibi bir dizi başka elementle etkileşime girer ve aşırı miktarda alındığında emilimlerini azaltabilir (Aras ve Ataman, 2006). Alüminyum miktarının kemiklerde birikmesi, Ca, Mg ve P miktarlarını düşürerek, kemik mineralizasyonunu bozduğu bilinmektedir (Rodriguez ve Mandalunis, 2018). Alüminyum vücut yükünün yaklaşık % 50'si kemiklerde depolanır (Hasan vd., 2020). Vücut tarafından emildikten sonra, alüminyum kemik matrisine dahil edilir ve rezorpsiyon işlemi sırasında osteoklastlar tarafından alınır. Trabeküler kemik yüzeylerinde ve kompakt kemiğe nüfuz eden vasküler kanalların yüzeylerinde, periosteal ve endosteal yüzeylerde birikir (Rodriguez ve Mandalunis, 2018). Alüminyumun kemiklerde birikmesi sonucunda, kemik yumuşaması ve kemik kütlesi kaybına neden olan osteomalazi meydana gelir. Alüminyum yüksekliğinde meydana gelen semptomlar arasında, unutkanlık, konsantre olamama, kişilik değişiklikleri, değişen ruh hali, depresyon, kırıklı osteomalazi ve demir eksikliği olmayan mikrositik anemi yer almaktadır (Crisponi vd., 2013). Alüminyum eksikliğinde hayvan çalışmalarında, büyümede gerilik, kısa yaşam süresi ve koordinasyon bozukluğu meydana gelmiştir (Perez-Granados ve Vaquero, 2002).

3.2. Beslenme İçin Gerekli Olmayan Elementler

Stronsiyum ve baryumun canlı organizmalar için gerekli olduğuna dair kesin bir kanıt yoktur (Underwood, 1977). Stronsiyum gibi baryum da bilinen herhangi bir metabolik sürece katılmaz, toksik değildir veya organizmanın homeostatik kontrolüne tabi değildir. Ancak her ikisi de paleo diyetin yapılandırılmasına yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır. Baryumun, tarihsel dönemlerde beslenme profillerinin değişebilirliğinin stronsiyumdan daha hassas bir göstergesi olduğu bilinmektedir (Ezzo, 1992, Ezzo, 1994; Burton ve Price, 1990; Safont vd., 1998).

3.2.1. Stronsiyum

Stronsiyum, yer kabuğunda en çok bulunan on element arasındadır ve kalsiyum ve baryuma çok benzer kimyasal özelliklere sahip olan alkali toprak elementlerinden biridir (Nedobukh ve Semenishchev, 2020). İnsan dokusunda en çok bulunan beşinci eser elementtir (Gilbert, 1975). İnsan vücudundaki toplam stronsiyum içeriği 323 mg olarak bildirilmiştir, bunun % 99'u kemiklerde mevcuttur. Stronsiyum seviyeleri çocukluk ve ergenlik döneminde artmasına rağmen, yetişkinlik döneminde yaşla birlikte büyük ölçüde azalır (Underwood, 1977). Stronsiyumun kadınlarda hamilelik ve emzirme döneminde azalabileceği öne sürülmüştür (Sillen ve Kavanagh, 1982). İnsan kemiğindeki miktarı yaklaşık <1000 ppm'dir (Ezzo, 1994a). Kaburgalardaki stronsiyum konsantrasyonları 38 - 360 ppm kül arasında değişmektedir (Schroeder vd., 1972). Bebeklerde stronsiyum kül miktarı 79,1±20 ppm iken, yetişkinlerde bu miktar 114±28 g/g'a yükselmektedir (Sowden ve Stitch, 1957).

Stronsiyum içeriği coğrafi bölgeye göre değişir ve topraktaki miktar bitkiler tarafından alınımı belirler. Buda, toplumların besin düzeyine bağlı olarak, insanlar tarafından alınan stronsiyum miktarını etkiler (Horwood, 1989). İçme suyunda veya toprakta stronsiyum konsantrasyonunun yüksek olduğu bölgelerde günlük alım önemli ölçüde daha yüksek olabilir (Nedobukh ve Semenishchev, 2020). Yüksek miktarda stronsiyum alımının kronik bir hastalığa neden olduğu bilinmemektedir (Schroeder vd., 1972). Ancak, stronsiyum iyonlarının su ile gereğinden fazla alımı yavaş yavaş insanlarda ve hayvanlarda kemik dokusunda kireçlenme bozukluklarına yol açarak kemiklerde ve eklemlerde deformasyona neden olmaktadır (Nedobukh ve Semenishchev, 2020). Günde 5,0 mg'dan daha yüksek bir stronsiyum alımı, kemiklerde ciddi hasara (çoğunlukla kalsiyuma benzemesi nedeniyle), anemiye, oksijen kıtlığına neden olabilir ve en sonunda hücrelerdeki hasarlı genetik materyaller nedeniyle kansere yol açabilir (Pathak vd., 2020).

Stronsiyum, antropolojik beslenme araştırmalarında kullanılan ilk elementtir (Beck, 1985). Kemik stronsiyum seviyesinin insan diyetindeki et

yüzdesinin bir göstergesi olarak kullanılabileceği belirtilmektedir (Schoeninger ve Peebles, 1981). Kemiklerdeki Sr analizleri, ağırlıklı olarak tarih öncesi beslenmede et ve sebze içeriğini, denizel-karasal beslenme yapısını ve kabuklu deniz ürünleri tüketimini ele almak için kullanılmıştır (Pete, 1994). Bir insan için stronsiyumun kaynakları mısır, portakal, lahana, soğan ve marul olarak gösterilebilir (Pathak vd., 2020). Balık ve deniz ürünleri iyi stronsiyum kaynakları gibi görünmektedir, bunu tahıllar, baklagiller, yapraklı ve kök sebzeler izlemektedir. Çeşniler de stronsiyum bakımından yüksektir, ancak kırmızı et nispeten daha az stronsiyum içerir (Horwood, 1989). Stronsiyum, Cu, Zn ve Ba'dan sonra okyanus biyotasında biriken dördüncü en yaygın elementtir (Nedobukh ve Semenishchev, 2020).

3.2.2. Baryum

Baryum, toprak alkali metal içerisinde beşinci sırada bulunur ve yer kabuğunun % 0,03'ünü oluşturarak barit ($BaSO_4$) şeklinde elde edilir. Ayrıca, hava ve suyla oldukça reaktif olduğundan yağda depolanır (Pathak vd., 2020). Vücuttaki baryum miktarının % 93'ü kemiklerde bulunur (Underwood, 1977). İnsan kemiğindeki miktarı yaklaşık <1000 ppm'dir (Ezzo, 1994a). Günlük gıda alımının üçte birini sağlayan öğle yemekleri baz alındığında, toplam Ba alımı 0,27 ile 1,29 mg/gün arasında değişir ve ortalama 0,51 mg (Ba/gün) olur (Underwood, 1977). Baryum, yaşla birlikte dokular da birikme eğilimi göstermektedir (Schroeder vd., 1972).

Baryum ve stronsiyum toprakta bol miktarda bulunur, ancak kalsiyum ve magnezyumla karşılaştırıldığında bir ila iki derece daha azdır (Pathak vd., 2020). Potasyumun yerini alabilen baryum, böbrek ve kalp rahatsızlıklarına neden olabilen oldukça hassas bir metaldir. Ağızda az miktarda suda çözünebilir baryum, nefes almada zorluk, yüksek tansiyon, kalp ritminde değişiklikler, mide tahrişi, kas zayıflığı, sinir reflekslerinde değişiklikler, beyin ve karaciğer bozukluklarına neden olabilir. Suda çözünebilir baryumun yüksek miktarda alınması da ölüme yol açabilir (Pathak vd., 2020).

Paleobeslenmenin bir göstergesi olarak stronsiyum ve baryum kullanılmaktadır. Stronsiyumdan daha büyük iyon yarıçapına sahip bir alkali toprak elementi olan baryum, benzer gerekçelerle paleobeslenme çalışmalarında kullanılmaktadır (Burton ve Price 1990a, b; Ezzo 1991, 1992). Baryum gömü sonrasında toprakta daha az iyonik değişim sergilemektedir. Ayrıca, stronsiyumun kalsiyuma yapısal benzerliğinden dolayı bitkiler bunları ayırt edemezler ve bu nedenle aralarında ayırım yapmazlar; ancak, topraktan baryum alımını biraz ayırt edebilirler (Ezzo, 1994a).

Yapılan çalışmalar içerisinde baryum oranlarının toplumların beslenme yapıları hakkında bilgi vereceğini de kanıtlamıştır (Burton ve Price, 1990). Baryum, stronsiyum ve magnezyumla birlikte incelenerek diyetteki

et/sebze ve deniz/karasal gıdaların yüzdelerini yansıtır (Pete, 1994). Ba/Ca ve Sr/Ca oranlarının bitki/et oranları değerlendirmesinde kullanıldığı bilinmektedir (Burton ve Price, 2001). Kalsiyuma göre ne kadar çok stronsiyum veya baryum alınırsa, kemikte Sr/Ca veya Ba/Ca oranı o kadar yüksek olur (Ezzo vd., 1995). Baryum miktarının yüksek olması, Ba/Ca değerinin yükseltilmesine ek olarak Fe değerini de düşürmektedir. Yüksek miktarlarda diyet proteinine sahip kemiklerde, stronsiyum değeri düşük ve çinko değeri yüksek olur (Lambert ve Weydert-Homeyer, 1993). Ayrıca, baryum ve stronsiyum konsantrasyon oranları (örneğin logaritmik formdaki $\log(\text{Ba}/\text{Sr})$), deniz ürünleri tüketiminin tanımlanması için kullanılan bir belirteçtir (Blanz vd., 2022).

3.3. Toksik Elementler

Doğada tüm canlı organizmalarda eser element toksisiteleri meydana gelir. Eser elementler aşırı miktarlarda olduğunda esas olarak kanda, karaciğerde ve böbreklerde birikir. İnsanlarda eser element/metal toksisiteleri normal koşullar altında yaygın değildir. Toksisitelerin çoğu, çevresel ve/veya genetik anormalliklerden, aşırı alımdan, kasıtlı veya kazara aşırı dozdan veya uyarılan eksikliklerden (örn. Fe eksikliğine neden olan aşırı Zn) kaynaklanır. Nispeten sık görülen toksisite vakalarına neden olan elementler arasında kurşun, kadmiyum, cıva, bakır, çinko ve demir yer alır (Gupta U., ve Gupta, S., 2008).

Toksisite, bir doz veya maruziyet meselesidir (Aliasgharpour, 2020). Kurşun, kadmiyum, manganez, arsenik gibi bazı ağır metaller gastrointestinal yoldan, diğerleri nefes yoluyla vücuda girebilir (Engwa vd., 2019). Kurşun ve kadmiyum beslenme açısından gerekli olmayan toksik metallerdir (Goyer, 1995). Bu elementlerin yüksek dozları vücut fonksiyonlarını bozarak sağlığı olumsuz yönde etkiler (Nielsen, 2000). Örneğin, böbrek fonksiyonunun azalmasında arsenik, kadmiyum, bakır ve kurşun elementleri rol oynamaktadır (Vanholder vd., 2002).

3.3.1. Kurşun

Kurşun, insanlar ve hayvanlar için toksik bir elementtir (Underwood 1977). Yetişkin insanlarda kurşunun neredeyse tamamı (% 94 - 97) iskelette bulunur, geri kalan bölgeler, kırmızı kan hücreleri, karaciğer, iskelet kası, deri, böbrek, akciğer ve beyindir (Puzas ve Boyce, 2020). Kanda kronik kurşun toksisitesi yaklaşık 40 - 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ seviyelerinde ortaya çıkar (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). İnsan kemiğindeki miktarı yaklaşık 1 - 100 ppm'dir (Ezzo, 1994a).

Kurşun, kalsiyum iyonlarının yerini alarak hidroksiapatitin kristal kafes yapısına dahil edilir. Bu nedenle, kurşunun iskelet yarı ömrü uzundur

(Puzas ve Boyce, 2020). Kurşun, demir, kalsiyum ve çinko (iki pozitif yüklü katyonlar) gibi besin minerallerine kimyasal olarak benzer ve bu minerallerin oluşturduğu metabolik aktiviteleri bozar. Kandaki fazla kurşun miktarı kırmızı kan hücresi zarlarının yapısını ve beyaz kan hücrelerinin yapısını bozarak enfeksiyona karşı direnci azaltır. Demir eksikliği olan çocuklar kurşun zehirlenmesine karşı hassastır (Whitney ve Rolfes, 2019).

Solunum, yutma veya cilt teması yoluyla insan vücudunun kan dolaşımında hızla emilir İnsan vücudundaki hemen hemen her organı ve sistemi etkileyebilir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Yüksek oranda kurşun miktarı en çok yetişkinler ile çocukların sinir sistemini etkilemektedir. Çocuklar ve yetişkinler arasında ise kurşun toksisitesinden en fazla etkilenen çocuklardır. Bu durum, davranış sorunlarına, öğrenme eksikliklerine ve düşük IQ'ya sebebiyet verebilir. Emilimden sonra kurşunun % 99'u eritrositlerin hemoglobin kısmına bağlanır ve vasküler sistem yoluyla yumuşak dokulara, karaciğere, böbreklere, kemiğe ve saça dolaşır. Zaman içerisinde vücutta biriken kurşun dişlerde ve kemiklerde depolanır. Kemikte depolanan kurşun, hamilelik sırasında yeniden kana karışarak fetüste ortaya çıkabilir. Yetersiz beslenen çocuklar kurşuna karşı daha hassastır çünkü kalsiyum veya demir gibi diğer besinler eksikse vücutları kurşunu daha fazla emer. Kurşun yetişkinlerde anemi, hipertansiyon, böbrek yetmezliği, immüno-toksosite ve üreme organlarında toksosite dahil olmak üzere uzun vadeli zararlara neden olur (Aliasgharpour, 2020).

3.3.2. Arsenik

Arsenik, doğal ortamda nadiren serbest bir element olarak bulunur ve doğal sularda oldukça geniş bir şekilde dağılmıştır (Matta ve Gjyli, 2016). Arsenik çoğu toprakta bulunabilir ve bitkiler tarafından alınır (Medeiros ve Wildman, 2019). İnsan beslenmesine dahil olan taze gıdalarda arsenik miktarı 0,5 ppm'den daha az bulunur ve nadiren 1 ppm'yi aşar (Underwood, 1977). En yoğun arsenik kaynakları arasında deniz hayvanları (balık, kabuklu deniz ürünleri) bulunur (Medeiros ve Wildman, 2019). Arsenik içeren balıklar arasında sardalya, istavrit, lüfer, sazan, kefal, ton balığı ve alabalık yer almaktadır (Matta ve Gjyli, 2016).

Su ve gıdalar dışında insanlar arseniğe farmakolojik, endüstriyel ya da çevresel etmenler yoluyla maruz kalmaktadır (Hall, 2002). Arsenik emilimi, tutulması ve atılım yolları, yutulduğu seviye ve kimyasal formdan etkilenir. Arsenik gıdalardan iyi oranda emilir ve idrar yoluyla atılır (Underwood, 1977). Arsenik vücut tarafından emildikten sonra karaciğer, dalak, böbrekler ve akciğerler gibi yumuşak doku organlarında bir miktar birikime uğrar, ancak arsenik için ana uzun süreli depolama bölgesi cilt, saç ve tırnaklar gibi keratinden zengin dokulardır (Matta ve Gjyli, 2016).

Arsenik hem gerekli hem de toksiktir. Kemik metabolizması üzerinde büyümeyi baskılar (Dermience vd., 2015). İçme suyu ve yiyecek yoluyla arseniğe uzun süreli maruz kalma, kronik arsenik zehirlenmesine, cilt lezyonlarına ve cilt kanserine yol açabilir, ayrıca bilişsel gelişim, zeka ve hafıza üzerinde olumsuz etkileri mevcuttur (Aliasgharpour, 2020). Arsenik eksikliği ayrıca hamile kalma oranını azaltabilir ve yeni doğanlarda ölüm olasılığını artırabilir (Medeiros ve Wildman, 2019).

Arsenik, vücuttaki doku ve sıvılar içerisinde düşük değerlerde ve oldukça değişken konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Sağlıklı yetişkin insan dokularında arsenik konsantrasyonları ortalama olarak 0,04 - 0,09 ppm arasında olmaktadır (Underwood, 1977). İnsan beslenmesinde arsenik alımının günlük 12 - 15 mikrogram arasında olması yeterlidir. Arsenik trioksit formundaki arsenik, 0,76 ila 1,95 miligramın üzerindeki dozlarda ölümcül olabilir. (Medeiros ve Wildman, 2019).

3.3.3. Kadmiyum

Kadmiyum canlılar için toksik bir elementtir. İnsan ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Çevrede doğal olarak bulunması, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucunda olmaktadır. İnsanlar, kadmiyum ile kontamine olmuş yiyecek ve suları tükettiklerinde, sigara içtiklerinde ya da kadmiyumla kirlenmiş havayı soluduklarında yüksek oranda kadmiyum elementine maruz kalmaktadırlar (Genchi vd., 2020). Yutulmasının ardından, kadmiyumun % 5 - 10'unun emildiği tahmin edilmektedir. Düşük demir, kalsiyum veya protein içeren diyetlerde daha fazla kadmiyum emilebilir (Aliasgharpour, 2020). İnsan beslenmesi içerisinde yer alan yapraklı sebzeler (marul, ıspanak), patates, çeşitli tahıllar, yer fıstığı, soya fasulyesi ve ayçiçeği tohumları yüksek düzeyde kadmiyum içerir (Aliasgharpour, 2020). Kadmiyum varlığı için plasenta etkili bir bariyerdir ve yeni doğan bebeğin kanındaki kadmiyum seviyeleri anne kanına göre % 50 daha azdır (Molleson, 2018). Kadmiyum emilimi, çocuklarda yetişkinlere göre daha yüksektir (Ezzo, 1994a).

Kadmiyum doğumda insan vücudunda neredeyse yoktur ve yaklaşık 50 yaşına kadar birikmektedir (Underwood, 1977). İnsan kemiğindeki miktarı eser düzeydedir (Ezzo, 1994a). Çünkü Pb, Zn ve Sr gibi kemikte belirgin bir şekilde birikmez. Ancak insan dış minesinde 0,03 - 6,70 (ortalama 0,99) µg Cd/g miktarında birikmektedir. İnsanların diyetle günlük kadmiyum alımı ülkeden ülkeye değişmesiyle birlikte ortalama miktarı 50 mg/gün veya daha az, en fazla miktarı ise 150 mg/gün olarak ifade edilmektedir (Underwood, 1977).

Kadmiyum vücuda alındığında böbreklerde birikmeye başlar ve hassas, kırılğan kemiklere, akciğer, karaciğer ve sinir sisteminde hasara ve bazı

kanser türlerine neden olur (ATSDR, 2012). Diyetle alınan kadmiyumun olumsuz fizyolojik etkiler oluşturabilmek için genellikle 5 mg Cd/kg miktarında olması yeterli kabul edilmektedir. Kadmiyumun vücut yükünün sadece yaklaşık % 0,01'i günlük olarak atılır, yani atılım çok yavaştır (Underwood, 1977). Kadmiyuma uzun süre maruz kalmak insan vücudunun kadmiyum salgılayamamasına neden olur ve sağlık üzerindeki olumsuz etkileri daha da artırır. Kadmiyuma bağlı osteoporoz meydana gelebilir (Engwa vd., 2019). Kadmiyum zehirlenmesine bağlı olarak kemik ve eklemlerde ağrı şeklinde meydana gelen itai-itai hastalığı ortaya çıkmaktadır. Kadmiyum, osteogenez ve kemik homeostazı sırasında kalsiyum metabolizmasını bozabilir. Buna göre, kalsiyum eksikliğinin kadmiyum toksisitesini arttırdığı bilinmektedir. Kadmiyum ayrıca kemik hücrelerine etki ederek kemik oluşumunu azaltır ve kemik erimesini destekler (Dermience vd., 2015).

3.4. Elementlerin Vücuda Alınımı ve Vücuttan Atılımı (Homeostaz)

Homeostaz kelimesi, dış koşullar sürekli değişse de vücudun iç dengesini sürdürme çabasına denir. Her organ sisteminin, iç ortamın sürekliliğini sağlamak için önemli rolleri vardır. Örneğin kemiklerin yeniden oluşum süreçlerinde kan kalsiyum iyonu homeostatik seviyesinin altına düştüğünde, paratiroid hormonu, kemik matrisini parçalamak ve kalsiyum iyonlarını kana bırakmak için kemiklerdeki osteoklastları aktive eder (Marieb ve Keller, 2018). Osteoklastlar, kemik minerallerinin çözünmesine ve emilmesine yol açarak, osteoblastlarla birlikte kemiği yeniden şekillendirir (Harkness ve Darrach, 2019).

Eser elementlerin homeostazının izlenmesi, kemik yoğunluğu ve kemik metabolizmasının biyokimyasal belirteçlerinin ölçümüne bakılarak elde edilir (Zofkova vd., 2013). Farklı eser elementler için homeostaz, beslenme durumundaki değişikliklere yanıt olarak emilim veya atılımı düzenleyen farklı mekanizmalarla sağlanır (Aliasgharpour, 2020). Pozitif yüklü katyonlar olarak var olan eser elementlerde (örneğin bakır, çinko) emilim, gastrointestinal sistemde gerçekleşir. Negatif yüklü anyonlar halinde bulunan eser elementlerde (örneğin boron, selenyum) ise emilim, serbestçe ve tamamen gastrointestinal sistemde oluşur (Aliasgharpour ve Farzami, 2013).

Magnezyum homeostazisi bağırsak, kemik ve böbrekler tarafından sağlanır. Magnezyum da tıpkı kalsiyum gibi bağırsakta emilir ve kemik mineralinde depolanır, fazla magnezyum ise böbrekler ve dışkıyla atılır (Jahnen-Dechent ve Ketteler, 2012). Beslenmedeki fosforun çoğunluğu ince bağırsakta emilir. Hücre dışı sıvıya girebilen ve kemik gibi dokular tarafından kullanılabilen fosfor 13 mg/kg/gün miktarında bağırsaklarda emilim gösterir (Serna ve Bergwitz, 2020).

Vücuttaki eser elementlerin homeostazı beslenmenin yanı sıra yaş ve cinsiyet tarafından belirlenir (Zofkova vd., 2017). Kalsiyum emilimi ve tutulması oranları, iskelet büyüme hızına bağlı olarak çocukluk ve ergenlik döneminde önemli ölçüde değişiklik gösterir. Kalsiyum emiliminin yüksek olduğu yaş 6 aylık bebeklerde ve emilim ortalama % 60 kadardır. Sonrasındaki en yüksek emilim gösterdiği yaş ergenlik dönemine denk gelmektedir (DiMeglio ve Imel, 2019).

4. BÖLÜM

ANADOLU'DA YÜRÜTÜLEN KİMYASAL ANALİZ ÇALIŞMALARI

Anadolu'da yaşamış eski insanların kemiklerinde gerçekleştirilen element analizleri çalışmalarında, ağır metal birikimi, diyajenez, süten kesme yaşı, denizel-karasal ya da hayvansal-bitkisel beslenme yapısı, sosyal statü, ekolojik ortam gibi konular araştırılmıştır (Çırak, 2010, 2013, 2017, 2017a; Çırak vd., 2013, 2014, 2015; Demirci ve Kayatürk, 1995; Erdem, 2023; Güner vd., 2011; Güner vd., 2012; Irvine vd., 2019; Irvin ve Erdal, 2020; İzci vd., 2013; Karaöz Arıhan vd., 2017; Özdemir, 2008, 2018a; Özdemir vd., 2010; Özdemir ve Erdal, 2012; Özdemir vd., 2015, 2018, 2019; Sevdin vd., 2018; Türkekül vd., 2020; Yılmaz Usta vd., 2019).

Gerçekleştirilen çalışmalar içerisinde element analizi yöntemiyle, Girnavaz, Yarımburgaz Mağarası ve Elmalı kazılarında 15 adet insan kemiğindeki Ca, P, K, Fe, F, C, N, Sr ve Zn elementleri incelenmiş ve Sr miktarının yüksekliği bitkisel, Zn miktarının yüksekliği ise hayvansal beslenmeye işaret ederken, kemiklerin diyajenezden etkilendiği bildirilmiştir (Demirci ve Kayatürk, 1995).

Özdemir, 2008'de, İkiztepe toplumunun (90 femur ve 10 hayvan kemiği) çoklu element analizi yöntemiyle beslenme yapısını belirlemeye çalışmıştır. Araştırma sonucunda, toplumun diyajenezden etkilendiği, geçim örüntüsünde avcılığın ve balıkçılığın önemli olduğu, diyetlerinde su ürünleri yer alsada karasal kökenli proteinlerin daha fazla ve tarımın etkisinin az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kadınların erkeklerden daha fazla bitkisel ve su ürünleriyle beslendiği, bebeklerin beslenmesine bir ile bir buçuk yaş arasında ek gıdaların girdiği ve süten kesme yaşının iki yaşında olduğu tespit edilmiştir.

Çırak 2010'da Minnetpınarı (Orta Çağ) toplumuna ait femur ve humerus kemiklerinde (n=60) çoklu element analiziyle beslenme örüntüsünü ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre toplumun, karasal beslenme yapısına sahip olduğu ancak bazı bireylerin denizel beslenmeyi de tercih ettiğine değinmiştir. Cinsiyetler arasında, çinko elementi verilerine göre, erkeklerin kadınlara oranla daha fazla et tükettiklerini, Ba ve Sr elementi verilerine göre ise toplumdaki kadınların erkeklere göre daha fazla bitkisel ürünleri beslenmesine eklediği belirtilmektedir. Ca/P oranıyla da, hem genel olarak toplumun hem de toplumda yer alan bebek ve çocukların yetişkinlere göre daha fazla gömü sonrası değişimlerden etkilendiğini tespit etmiştir.

Özdemir vd., 2010'da İkiztepe Erken Tunç Çağı'na ait kemikler (90 femur), toprak ve hayvan kemikleri (n=10) ile arsenik, bakır ve kurşun birikiminin nedenlerini araştırmış ve elde ettikleri sonuca göre İkiztepe toplumdaki arsenik birikiminin diyajenetik süreçlerden dolayı meydana geldiğini bildirmiştir. Ayrıca, kazı alanında arsenikli bakır alaşımlarından üretilen çok sayıda metalik eşya ortaya çıkarılmış olsa da, tüm metal nesnelerin yerel olarak yapılmadığı ve ürünleri ithal ettiği öne sürülmüştür.

Güner vd., 2011'de Resuloğlu Erken Tunç Çağı'na ait kaburgalar üzerinde ağır metal (Pb, Cd, Cu, Zn, As) konsantrasyonunu inceleyerek, toplumların yaşam biçimlerini ile çevreleri arasındaki ilişkiyi anlamaya çalışmıştır. Kemiklerdeki yüksek metal birikimlerinin, toplumun yaşam biçimiyle alakalı olmadığı ve kazı alanının çevresinde bulunan maden yataklarına yakınlık durumuna göre diyajenetik etkilerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Metal birikimiyle ilgili bir diğer çalışma, Adramytteion Erken Bizans dönemine ait kaburga kemiklerinin (n=17) incelenmesi Güner vd., 2012'ye aittir. Resuloğlu iskeletlerinde olduğu gibi aynı elementler ve aynı metal birikim nedeni araştırılmıştır. Resuloğlu iskeletlerinde olduğu gibi, kemik/toprak oranları ile maden yataklarına yakınlıktan ötürü birikimin kaynağının diyajenetik süreçlerden olduğu bildirilmiştir.

Özdemir ve Erdal, 2012'de Erken Tunç Çağı'na ait İkiztepe'de insan (femur) ve hayvan kemikleri ile toprak örneklerinden Zn, Sr, Ba ve Ca elementleri analiz edilerek toplumun yaşadığı ortam ve besin kaynakları hakkında bilgi elde edilmeye çalışılmıştır. Element verileri ışığında, İkiztepe toplumunun beslenme içeriğinde et ve bitkisel gıdaların eşit derecede dağıldığı ve göreceli olarak zengin bir ekonomik yapı ile ekolojik ortama sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu zengin ekonomik yapının arkeolojik buluntularla (ağaç işlemeciği, dokumacılık, maden üretimi) ve İkiztepe konumundan kaynaklı yoğun bitki örtüsüne sahip alanların ve ormanların (evcil ve yabani hayvanların kemikleri ile beslenildiği) varlığıyla desteklendiğini belirtmiştir.

Çırak, 2013'te Meresin Kelenderis toplumuna ait 17 bireyin kemiklerindeki Sr, Ba, Zn, Ca ve P elementleriyle toplumun beslenme yapısını tespit etmeye çalışmış ve sonucunda, Kelenderis toplumunun bitkisel besin içeriğini, et ürünlerine nazaran daha fazla tükettiği ve genellikle karasal beslenmeye sahip olduğu ortaya çıkartılmıştır. Erkeklerin kadınlara oranla daha fazla et tükettiği de belirtilmiştir. Ayrıca kadınların erkeklerden daha fazla diyajenezden etkilendiği de bildirilmiştir.

Çırak vd; 2013 ve 2014'te, Antik Tios toplumunda (n=50) femur kemiklerinin kurşun ve bakır değerleriyle, toplumun kullandığı seramik-toprak-su ürünlerinden elde edilen element (CaO, P₂O₅, Co, Ni, Zn, Se, Cd ve Pb) verileri karşılaştırılarak kurşun birikiminin nedenleri araştırılmıştır.

Elde edilen sonuca göre, günlük beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için pişirmede, saklamada ve yemede kullandıkları kap kacakların kurşun ve bakırla sırlandığı ve kemiklerdeki kurşun ve bakır birikiminin bu kaplardan geçtiğini belirtmiştir. Ayrıca, bakır ve kurşun birikimine toprak kaynaklı diyajenezin de etkili olduğunu bildirmiştir.

İzci vd., 2013'te, Camihöyük'teki Helenistik-Roma Mezarlığından ele geçirilen kaburga kemiklerinin (n=22) içeriğindeki Cu, Mg, Zn, Fe, Pb, Mo, Mn ve Ni elementlerinin analizleriyle paleobeslenme yapısını araştırmıştır. Camihöyük toplumunun yüksek protein içeriğine sahip bir beslenmeye ek olarak etten daha fazla sebze tükettiği sonucuna varılmıştır. Erkeklerin kadınlardan daha fazla ağır metale (hayattayken kurşun birikimi) maruz kaldığı bildirilmiştir.

Özdemir vd., 2015'te Oluz Höyük'teki kazılarda yaşlı bir kadının mezarında bulunan bir nesne üzerinde gerçekleştirilen araştırmada, nesnenin içeriğinin Ca ve P formunda az miktarda organik maddeden oluştuğu ve Raman sonuçlarına göre bileşiminin hidroksiapatit [$Ca_5(PO_4)_3(OH)$] olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal ve petrografik analizler, Oluz Höyük nesnesinin bir vücut parçası olduğunu ve mesane taşı olarak belirlendiğini bildirmiştir.

Çırak vd., 2015'te, Antik Tios toplumundaki femur kemiklerinden (n=36) Ba ve Sr elementleri analiz edilerek toplumun beslenme yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Elde ettikleri veriler doğrultusunda toplumun karasal beslenme sınırında olduğu, ancak bazı bireylerin denizel-karasal beslenme biçiminde olduğu ortaya çıkartılmıştır.

Çırak, 2017'de, Tiejion toplumunda 50 birey analiz edilmiş bu bireylerin içerisinde *cribra orbitalia* ve *porotic hyperostosis* görülen iki kadın bireyin kemiklerindeki Fe, Zn, Cu ve Pb elementlerinin miktarları araştırılmıştır. Çalışma sonucunda lezyon gösteren iki kadın bireye ait element miktarlarının toplum genelinden düşük olduğu ve özellikle demir elementinin diploe kalınlaşmasıyla birlikte *cribra orbitalia* ve *porotic hyperostosis* görülen bireylerde çok düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Yine Çırak, 2017'de aynı toplum üzerinde (30 yetişkin birey) Cd, As ve Hg düzeylerini inceleyerek, toprak, sırlı kaplar ve yer altı suyu analiziyle birlikte ağır metal birikimini değerlendirmeye çalışmıştır. Kadmiyum elementi açısından bakıldığında kemiklerdeki miktarın, toprak ve sırlı kaplardaki miktardan yüksek olmasıyla, kemiklerdeki birikimin bu alanlardan gelmediği ve beslenme kaynaklı (buğday ve pirinç) olabileceği belirtilmiştir. Arsenik birikiminin erkeklerde kadınlardan daha fazla olmasını kıyıya yakın yerleşimi olan toplumun erkeklerinin denizel kabuklularla beslenmiş olabileceğini öne sürmüştür. Ayrıca, kullanılan kaplarda arsenik bulunduğu ve topraktaki arsenik miktarının kemikten yüksek olmasıyla birlikte birikimin diya-

jenez kaynaklı olabileceğini de belirtmiştir. Civa elementi açısından elde ettiği sonuca göre de topraktaki miktarın kemikteki civa miktarından daha fazla olmasıyla birikimin topraktan kaynaklı olabileceğini dile getirmiştir.

Karaöz Arihan vd., 2017'de, Beybağ-Muğla Bizans toplumunda (n=52) element analiziyle (As, Ba, Ca, Cu, I, Pb, P, Sr ve Zn) beslenme durumunu tespit etmeye ve femur kemiğinin baş ve boyun kısımlarından örnekler alarak element miktarlarını karşılaştırmaya çalışmıştır. Toplumun toksik elementlerden etkilenmediği ancak Ca/P oranına göre diyajenezin yüksek olduğu bildirilmiştir. Femur boynu ve başı arasındaki element karşılaştırmasında, femur boynundan alına örneklerin diyajenezden daha az etkilenmediğini öne sürmektedir. Zn açısından erkek ve kadınların benzer miktarda olması, toplumdaki yetişkinlerin protein ağırlıklı beslendiklerini belirtmektedir.

Özdemir, 2018'de, Kovuklukaya Bizans topluluğunun kemik (21 bireye ait kaburga kemikleri) kolajenindeki izotop (karbon ve azot) analiziyle beslenme alışkanlıklarını tespit etmeye çalışmıştır. Elde ettikleri veriler ışığında, Kovuklukaya toplumundaki yetişkin bireylerin beslenmesinde karasal kaynaklara (C3 bitkileri veya bu bitkilerle beslenen hayvanlar ya da otçul hayvanlar) yer verdiği ortaya çıkartılmıştır. Bazı bireylerin az da olsa C4 bitkilerini tükettiğini bildirmekte, ancak denizel kaynaklı ürünlerin tüketilmediğini de eklemektedir. Hayvansal protein kaynağının keçi ve koyun olduğunu ve cinsiyete dayalı bir iş bölümünün olmadığını vurgulamaktadır.

Sevdin vd., 2018'de, Tepecik-Çiftlik toplumuna ait 25 bireyde toplamda 38 kemik (kaburgalar, metatarsaller, metakarpaller) üzerinde farklı kemiklerin farklı element birikimlerinin tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kirletici element olarak sınıflandırılan Fe/Mn oranı tüm kemiklerde gömü sonrası etkileri destekler, ancak incelenen kemikler içerisinde femur ve tarak kemiklerinin nispeten daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Gömü sonrası değişimlerden etkilenme oranı daha az olduğu düşünülen femur kemiklerine ek olarak tarak kemiklerinin kullanılabilirliği ve korunma durumuyla alakalı olarak kaburga kemiklerine göre de tarak kemiklerinin element analizinde tercih edilebileceği önerilmiştir.

Özdemir vd., 2018'de, Koru Tümülüsü iskeletlerinin (n=4) femur kemiklerinin içeriğindeki elementler (Ca, P, Sr, Ba, Mg, Cu, As, Fe, Y, Th, Cd, Zn, Mn, Pb ve U) analiz edilerek, iskeletlerin osteobiyoğrafisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Element analizi sonucunda, üç bireyin soylu sınıfına ait olduğu ve üç bireyin uzağında olan bir bireyin de soylu grupta yer almadığı ortaya çıkartılmıştır. Soylu grubun protein açısından zengin bir beslenmeye sahip olduğu ancak diğer bireyin düşük hayvansal protein içeren beslen-

mede yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, gömü sonrası değişimlerin, içeri-deki üç bireyden dışarıda bulunan bir bireyi ayırdığını ve farklı zamanlarda gömüldüğünü ortaya çıkartmıştır.

Özdemir vd., 2019'da, İkiztepe toplumunda element (Sr, Ca ve P (n=30)) ve izotop (karbon ve azot (n=15)) analizi sonuçlarını birleştirerek süttten kesme süreci tekrar araştırılmıştır. Eldeki veriler ışığında toplumun, bir yaşından önce anne sütüyle beslendiğini ve $\delta^{13}\text{C}$ 'nin fizyolojik değişikliklere dayanıklılığından ötürü süttten kesme çalışmalarında daha doğru sonuçlar verebileceğine dikkat çekmektedir. Ayrıca, Sr/Ca oranı ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, süttten kesme sürecinin başladığı yaş konusunda $\delta^{15}\text{N}$ değerinden daha yakın bir zaman verdiğini de eklemektedir.

Irvine vd., 2019'da, İkiztepe, Titriş Höyük, Bademağacı ve Bakla Tepe toplumlarında (toplam 94 birey), izotop (karbon ve azot) analiziyle beslenme alışkanlığını ortaya çıkartmaya çalışmışlardır. Bu toplumların ağırlıklı olarak karasa beslenme yapısında olduğu ve C_3 bitkilerini (buğday, arpa ve baklagil) ve C_3 bitkileriyle beslenen hayvanların (Ovis/Capra) eti ve sütüyle beslendikleri belirtilmiştir.

Türkecul vd., 2020'da, Van Kalesi kazısından 56 deney hayvanına ait femur kemiğinde (kortikal ve trabeküler kısımlar), dişlerinde ve kaburgalarında florozis varlığını tespit etmeye çalışmıştır. Florür maruziyetinin süresi ve miktarı arttıkça femur başı, femur boynu ve kaburga kemiklerinin florür içeriğinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Yüksek flora bağlı dişlerde renk değişimlerinin olduğu bilinse de, çalışma sonucunda, kronik florür maruziyetinde, dişlerde renk değişiminin meydana gelmediği belirtilmiştir.

Yılmaz Usta vd., 2019'da Iasos (Erken Bizans, n=36 bireyin kaburga kemikleri) ve Camihöyük (Helenistik-Roma, n=22 bireyin kaburga kemikleri) kazılarında ele geçirilen iskeletlerin element (Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Ni, Mo ve Zn) analizleri karşılaştırılarak besin içeriği ve diyajenez durumu araştırılmıştır. Iasos toplumunda Camihöyük toplumuna göre protein içeriği yüksek besinleri daha fazla tükettiğini ve daha fazla denizel ürünleri tercih ettiklerini bildirmişlerdir. Camihöyük toplumunun ise tahıl ürünlerini Iasos toplumuna göre daha fazla tükettiği belirtilmiştir. Iasos toplumunda, bakır ve demirden yapılmış kapların kullanılmasıyla ve mezar hediyeleri içerisinde metal eşyaların bulunmasıyla kemiklerdeki birikimin kullanılan eşyalar ve çevresel koşullardan kaynaklandığını dile getirmiştir. Camihöyük toplumunda ise kurşun elementi birikiminin, Camihöyükte bulunan hamam kalıntılarına istinaden yer altı sularından geçebileceğini öne sürmüştür.

Irvin ve Erdal, 2020'de, İkiztepe toplumu üzerinde karbon, azot ve kürtün sabit izotoplarını kullanarak toplumun beslenme alışkanlıklarının analizi gerçekleştirilmiştir. Karbon ve azot analizi için 38 birey, bu birey

içerisinden de 20 birey kükürt analizi için seçilmiştir. Bireylerin ağırlıklı olarak, C₃ kaynaklarına dayalı karasal, $\delta^{15}\text{N}$ 'a göre protein açısından zengin ve az da olsa denizel bir beslenme yapısına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Erkeklerin kadınlara oranla daha fazla protein içerikli besinleri tükettiği bildirilmiştir. Ayrıca, hem $\delta^{13}\text{C}$ hem de $\delta^{15}\text{N}$ için 'seçkin' ve 'sıradan' gömüler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur; bu, nüfus içinde bir tür sosyal tabakalaşmanın varlığının bir göstergesi olduğuna dikkat çekmiştir.

Erdem, 2023'te Uzuncaburç antik kenti kazılarında ele geçirilen 11 insan kemiği ve o bölgeye ait 2 salyangoz örneğinde stronsiyum izotopu analiz edilerek beslenme yapısı ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Elde ettikleri verilerin sonuçlarına göre kemiklerdeki stronsiyum miktarının yüksek olması bitkisel kaynaklı beslenildiğini, salyangoz ve kemik örneklerindeki stronsiyum miktarının birbirine yakın olmakla birlikte, iki alt çene kemiğinin Sr miktarının salyangozlardaki miktardan uzaklaştığı bildirilmiştir. Ayrıca, salyangoz ve kemik örneklerindeki 88Sr/86Sr oranı birbirine yakın iken, bir bireyin diğerlerinden farklı olduğu belirlenmiş ve bu bireyin diya-jeneze maruz kaldığı bildirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Al-Fartusie, F. S., Mohssan, S. N., 2017, "Essential Trace Elements and Their Vital Roles in Human Body". *Indian Journal of Advances in Chemical Science* 5(3) 127-136.
- Alfonso, M.P., Powell, J., 2007, "Ethics of Flesh and Bone, or Ethics in the Practice of Paleopathology, Osteology, and Bioarchaeology". In: Cassman, V., Odegaard, N., Powell, J., (Eds). *Human Remains, Guide for Museums and Academic Institutions*. Chapter 2, p:5, AltaMira Press.
- Aliasgharpour, M., 2020, "Trace Elements in Human Nutrition (II) – An Update". *International Journal of Preventive Medicine*. 2-10.
- Aliasgharpour, M., Rahnamaye-Farzami, M., 2013, "Trace Elements in Human Nutrition: A Review". *Int j med invest*. 2(3):115-128.
- Al-Mahroos, F., Al-Saleh, F.S., 1997, "Lead levels in deciduous teeth of children in Bahrain". *Annals of Tropical Paediatrics*, 17(2): 147–154.
- Almeida, M.C.R., Dror, I., Garuti, M., Grabarczyk M., Guillon, E., Hullebusch, E.D., Laera, A., Mikac, N., Munoz, J., Panagiotaras, D., Paulauskas, V., Rodriguez-Perez, S., Simon, S., Sinko, J., Stres, B., Ustak, S., Wardak, C., Mucha, A.P., 2019. "Assessing fate and bioavailability of trace elements in soils after digestate application". In: Feroso, F.G., E., van Hullebusch., Collins, G., Roussel, J., Mucha, A.P., Esposito, G. (Eds). *Trace Elements in Anaerobic Biotechnologies*. Chapter 6. p: 161. IWA Publishing.
- Alt K.W., 1994, "Prosthetics, Periodontal Therapy and Conservative Dentistry in the Eighteenth Century: Archeological Findings from Grand Saconnex, Geneva, Switzerland". *Bull. Hist. Dent*, 42:67–70.
- Alt, K.W., Al-Ahmad, A., Woelber, J.P, 2022, "Nutrition and Health in Human Evolution–Past to Present". *Nutrients*, 14(17): 3594.
- Amr, M.A., 2011, "Trace elements in Egyptian teeth". *International Journal of the Physical Sciences*. Cilt. 6(27), S. 6241-6245.
- Anke, M., 2004, " Vanadium - An element both essential and toxic to plants, animals and humans?". *Anal. Real Acad. Nac. Farm.*, 70: 961-999.
- Aras, N.K., Ataman. O.Y., 2006, "Trace Element Analysis of Food and Diet". *The Royal Society of Chemistry*. 233-304.
- Aspray, T.J., 2017, "Calcium: Basic Nutritional Aspects". *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*. Bölüm 5. S:45-55.
- Atabey, E., 2018. "Suyun Hikayesi". Asi Kitap. 284.

- ATSDR, 2012, "Cadmium". *Division of Toxicology and Human Health Sciences*. CAS: 7440-43-9.
- Ayaz, Z., 2018, "Beslenmede farklı yaklaşımlar". *Jour Turk Fam Phy*, 09 (3): 85-92.
- Barrio, D.A., Etcheverry, S.B., 2006, "Vanadium and bone development: putative signaling pathways". *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 84: 677-686.
- Bayarı, S.H., Özdemir, K., Sen, E.H., Andrade, C.A., Erdal, Y.S., 2020, "Application of ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics for the discrimination of human bone remains from different archaeological sites in Turkey". *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Volume 237, 118311.
- Belgemen, T., Akar, H., 2004, "Çinkonun Yaşamsal Fonksiyonları Ve Çinko Metabolizması İle İlişkili Genler". *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*. Cilt 57, Sayı 3. 161-166.
- Bhattacharya, P.T., Misra, S.R., Hussain, M., 2016, *Nutritional Aspects of Essential Trace Elements in Oral Health and Disease: An Extensive Review*. Hindawi Publishing Corporation Scientifica. S:12.
- Bauer, D.C., 2013, "Clinical practice. Calcium supplements and fracture prevention". *N. Engl. J. Med.* 369, 1537-1543.
- Beck, L.A., 1985, "Bivariate Analysis of Trace Elements in Bone". *Journal of Human Evolution* 14, 493-502. Academic Press Inc.
- Blanz, M., Stewart, S., Mainland, I., Ascough, P., Raab, A., Feldmann, J., Taggart, M.A., 2022, "Trace element ratios in tooth enamel as palaeodietary indicators of seaweed consumption and coastal grazing, and their broader applicability". *Journal of Archaeological Science*. 139. 105551.
- Bodgen, J.D., 2000, "The Essential Trace Elements and Minerals: Basic Concepts". In: Bodgen, J.D., Klevay, L.M., Rosenberg, I. (Eds). *Clinical Nutrition Of The Essential Trace Elements And Minerals The Guide For Health Professionals*. Bölüm 1. P: 3-11. Springer Science+Business Media New York.
- Bolamperti, S., Villa, I., Rubinacci, A., 2022, "Bone remodeling: an operational process ensuring survival and bone mechanical competence". *Bone Research*. 10.
- Brnic, M., Wegmüller, R., Melse, B.A., Stomph, T., Zeder, C., Tay, F.M., Hurrell, R.F., 2016, "Zinc Absorption by Adults Is Similar from Intrinsically Labeled Zinc-Biofortified Rice and from Rice Fortified with Labeled Zinc Sulfate". *The Journal of Nutrition*. Volume 146, Issue 1, Pages 76-80.
- Brown, A.B., 1974, "Bone Strontium as a Dietary Indicator in Human Skeletal Populations." *Contributions to Geology* XIII. 2: 47-48.

- Brown, C.J., Chenery, S.R.N., Smith, B., Mason, C., Tomkins, A., Roberts, G.J., Sserunjogi, L., Tiberindwa, J.V., 2004, "Environmental influences on the trace element content of teeth--implications for disease and nutritional status". *Arch. Oral. Biol*, 49 (9). S:705-717.
- Buikstra, J.E., Cook, D.C., 1980, *Palaeopathology. Annual Review of Anthropology*, Vol. 9, PP:433-470 Published by: Annual Reviews Stable.
- Burch, R. E., Hahn, H. K. J., 1979, *Trace Elements in Human Nutrition*. Medical Clinics of North America - Vol. 63, No. 5.
- Burch, J., Rice, S., Yang, H., Neilson, A., Stirk, L., Francis, R., Holloway, P., Selby, P., Craig, D., 2014, "Systematic review of the use of bone turnover markers for monitoring the response to osteoporosis treatment: the secondary prevention of fractures, and primary prevention of fractures in high-risk groups". *Health Technology Assessment*, No. 18.11. *NIHR Journals Library*.
- Burr, D.B., 2019. "Bone Morphology and Organization". In: Burr, D.B., and Allen, M.R. (Edc). *Basic and Applied Bone Biology*. Second Education. Chapter 1. p:3-18.
- Burton, J.H., Price, T.D., 1990a, "The Ratio of Barium to Strontium as a Paleodietary Indicator of Consumption of Marine Resources". *Journal of Archaeological Science*, 17, 547-557.
- Burton, J. H., Price, T.D., 1990b, "Paleodietary Applications of Barium Values in Bone." *Archaeometry* '90. Basel: Birkhauser Verlag. 787-795.
- Burton, J.H., 1996, "Trace Elements in Bone as Paleodietary Indicators". In: Orna, M.V. (edt.), *Archaeological Chemistry. Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis*. Chapter 23. p:327-331 American Chemical Society.
- Burton, J., 2008, "Bone chemistry and trace element analysis". In: Katzenberg, M.A., Saunders, S.R. (Eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. John Wiley & Sons, New Jersey, pp. 443-460.
- Carter, S., Dennison, E., 2021, "The Bone Turnover Cycle". In: *Osteoporosis Treatment*. Edt. Dennison, E. Chapter 4. Page 54. Springer.
- Cashman, K., Flynn, A., 1998, "Trace Elements and Bone Metabolism". In: Sandström B, Walter P (Eds). *Role of Trace Elements for Health Promotion and Disease Prevention*. Bibl Nutr Dieta. Basel, Karger, 1998, No 54, pp 150-164.
- Castro, W., Hoogewerff, J., Latkoczy, C., Almirall, J.R., 2010, "Application of laser ablation (LA-ICP-SF-MS) for the elemental analysis of bone and teeth samples for discrimination purposes". *Forensic Science International* 195. 17-27. Elsevier.

- Crisponi, G., Fanni, D., Gerosa, C., Nemolato, S., Nurchi, V.M., Crespo-Alonso, M., Lachowicz, J.I., Faa, G., 2013, "The meaning of aluminium exposure on human health and aluminium-related diseases". *BioMol Concepts*. 4(1): 77-87.
- Chatterji, S., Jeffery, J.W., 1968, "Changes in Structure of Human Bone with Age". *Nature*. 219. 482-484.
- Clarke, B., 2008, "Normal Bone Anatomy and Physiology". *Clin J Am Soc Nephrol*. 3 - P: 131-139.
- Chojnacka, K., Saeid, A., 2018, "*Recent Advances in Trace Elements*". Wiley, Blackwell. John Wiley & Sons Ltd.
- Colomban, P., 2012, "The on-site/remote Raman analysis with mobile instruments: a review of drawbacks and success in cultural heritage studies and other associated fields". *Journal of Raman Spectroscopy*. John Wiley & Sons, Ltd
- Çırak, M.T., 2010, "Minnetpınarı Orta Çağ Toplumunda Eser Element Analiziyle Paleodiyetin Belirlenmesi". Doktora Tezi. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Antropoloji (Paleoantropoloji) Anabilim Dalı*. Ankara.
- Çırak, M.T., 2013, "Kelenderis Toplumunda Element Analiziyle Paleodiyet'in Ortaya Çıkarılması ve Diagenesis". *K. Levent Zoroğlu'na Armağan*. 161-175.
- Çırak, M.T., Çırak, A., Akyol, A.A., 2013, "Antik Tios Toplumunda İskeletlerinde Kurşun Düzeyleri". 29. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*. 56-63.
- Çırak, M.T., Çırak, A., Akyol, A.A., 2014, "Bizans Tios Toplumunda İskeletlerinde Bakır (Cu) Birikimi". 30. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*. 157-166.
- Çırak, M.T., Çırak, A., Akyol, A.A., 2015, "Antik Tios Toplumunda Denizel-Karasal Beslenmenin Belirlenmesi". *Zonguldak'ta Bir Antik Kent Tios 2006-2012 Arkeolojik Çalışmaları ve Genel Değerlendirilme*. 226-237
- Çırak, M.T., 2017, "Antik Tieion Kenti Toplumunda Görülen Ağır Metaller". *Current Debates in Sociology & Anthropology*. 279-297.
- Çırak, M.T., 2017a, "Anemi Görülen Bireylerdeki Element Seviyelerinin Antropolojik Açından Değerlendirilmesi". *International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*. Volume 12/29, p. 169-178
- Das, R.S., Agrawal, Y.K., 2011, "Raman spectroscopy: Recent advancements, techniques and applications". *Vibrational Spectroscopy*. Volume 57, Issue 2. Pages 163-176. Elsevier.

- Delaisse, J. M., Andersen, T.L., Kristensen, H.B., Jensen, P.J., Andreasen, C.M., Sae, K., 2020, "Re-thinking the bone remodeling cycle mechanism and the origin of bone loss". *Bone*. 141.
- Demirci, Ş, Kayatürk, N., 1995, "Chemical Analysis of Some Fossil Bones." I. Liritzis Ve G. Tsokas (Eds.) *Archaeometry in South-Eastern Europe*. 111-118.
- Dev, S., Babitt, J.L., 2017, "Overview of Iron Metabolism in Health and Disease". *Hemodial Int*. Jun; 21(Suppl 1): S6–S20.
- 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 (2015) 86–106.
- Deshpande, J.D., Joshi, M.M., Giri, P.A., 2012, "Zinc: The Trace Element Of Major Importance In Human Nutrition And Health". *Jayant Deshpande et al. Zinc in Human Nutrition And Health*. Vol 2, Issue 1, 1-5.
- DiGangi, E.A., Moore, M.K., 2013, "Introduction to Research in Skeletal Biology". In: *Research methods in human skeletal Biology*. Chapter 1. P:3-24.
- DiMeglio, L.A., Imel, E.A., 2019, "Calcium and Phosphate: Hormonal Regulation and Metabolism". *Basic and Applied Bone Biology*. (Second Edition), Chapter 13. Pages 257-282.
- Doğan, M.S, 2018, "Relation of Trace Elements on Dental Health". Edited by Hosam El-Din M. Saleh and Eithar El-Adham. *Trace Elements - Human Health and Environment*.
- Edwards, H.G.M., Vandenabeele, P., Colomban, P., 2023, "Raman Spectroscopy in Cultural Heritage Preservation". P:1-5.
- Engwa, G.A., Ferdinand, P.U., Nwalo, F.N., Unachukwu, M.N., 2019, "Mechanism and Health Effects of Heavy Metal Toxicity in Humans". Edt: Karcioğlu, O., Arslan, B. *Poisoning in the Modern World*. Chapter 5.
- Erdem, R., 2023, "Diocaesarea (Uzuncaburç) antik kenti kazısında çıkarılan kemik örneklerinin stronsiyum izotopları yönünden incelenmesi". *Yüksek Lisans Tezi*. 824327
- Eriksen, A.M.H., Nielsen, T.K., Matthiesen, H., Caroe, C., Hansen, L.H., Gregory, D.J., Turner-Walker, G., Collins, M.J., Gilbert, M.T.P., 2020, "Bone biodeterioration—The effect of marine and terrestrial depositional environments on early diagenesis and bone bacterial community". *PLoS ONE*. 15(10).
- Ezzo, J.A., 1994, "Zinc as a Paleodietary Indicator: An Issue of Theoretical Validity in Bone-Chemistry Analysis". *American Antiquity*, 59(4), pp. 606-621.

- Ezzo, J.A., 1994a, "Putting the "Chemistry" Back into Archaeological Bone Chemistry Analysis". *Journal of Anthropological Archaeology*, 13, 1-34.
- Ezzo, J.A., Larsen, C.S., Burton, J.H., 1995, "Elemental Signatures of Human Diets From the Georgia Bight". *American Journal of Physical Anthropology*. 98:471-481.
- Fabig, A., Herrmann, B., 2002, "Trace elements in buried human bones: intra-population variability of Sr/Ca and Ba/Ca ratios – diet or diagenesis?". *Naturwissenschaften*. 89:115–119.
- Forbes, S. L., Perrault, K. A., Comstok, J. L., 2017, "Microscopic Post-Mortem Changes: the Chemistry of Decomposition". (Edt. Schotsmans, E. M. J., Márquez-Grant, N., Forbes, S. L. *Taphonomy of Human Remains, Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. Chapter 2. p:26.
- Gaffney-Stomberg, E., 2019, "The Impact of Trace Minerals on Bone Metabolism". *Biological Trace Element Research*. 188:26–34.
- Genchi, G., Sinicropi, M.S., Lauria, G., Carocci, A., Catalano, A., 2020, "The Effects of Cadmium Toxicity". *Int J Environ Res Public Health*. Jun; 17(11): 3782.
- Genchi, J., Lauria, G., Catalano, A., Sinicropi, M.S., Carocci, A., 2023, "Biological Activity of Selenium and Its Impact on Human Health". *Int. J. Mol. Sci*. 24(3), 2633.
- Ghosh, S.K., Saha, R., Saha, B., 2015, "Toxicity of inorganic vanadium compounds". *Research on Chemical Intermediates*. volume 41, pages 4873–4897.
- Gilbert, R.I., 1975, "Trace Element Analyses Of Three Skeletal Amerindian Populations At Dickson Mounds". *University of Massachusetts*, Ph.D. Anthropology.
- Godden, W., 1939, "Trace Elements in Human and Animal Nutrition". Rowett Araştırma Enstitüsü, Aberdeen. *Chemistry and Industry*. P: 791-796.
- Goffer, Z., 2007, "Archaeological Chemistry". Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. p:218.
- Gonzalez-Weller, D., Rubio, C., Gutierrez, A.J., Gonzalez, G.L., Mesa, J.M.C., Girones, C.R., Ojeda, A.B., Hardisson, A., 2013, "Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain)". *Food and Chemical Toxicology*. Volume 62, Pages 856-868.
- Goyer, R.A., 1995, "Nutrition and metal toxicity". *The American Journal of Clinical Nutrition*. Volume 61, Issue 3, Pages 646S-650S.

- Grawish, M.E., Grawish, L.M., Grawish, H.M., Grawish, M.M., Holiel, A.A., Sultan, N., El-Negoly, S.A., 2022, "Demineralized dentin matrix for dental and alveolar bone tissues regeneration: an innovative scope review". *Tissue Eng. Regen. Med*, 19 (4).
- Grupe, G., Hermann, H., 1988, "Trace Elements in Environmental History". Springer -Verlag Berlin Heidelberg.
- Grupe, G., 1988, "Impact of the Choice of Bone Samples on Trace Element Data in Excavated Human Skeletons". *Journal of Archaeological Science*. 15,123-129.
- Guan, G.S., Mei, L.P., 2018, "A Case Series: Zinc Deficiency as a Potential Contributor to Oral Dysgeusia". *Modern Approaches in Dentistry and Oral Health Care*. 200-203.
- Gulson, B., Wilson, D., 1994, "History of lead exposure in children revealed from isotopic analyses of teeth". *Arch. Environ. Health*, 49: 279.
- Gupta, U.C., Gupta, S.C., 2008, "Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Volume 29, Issue 11-14.
- Gushurst, C.A., Mueller, J.A., Green, J.A., Sedor, F., 1984, "Breast Milk Iodide: Reassessment in the 1980s". *Peidartrics*. Volume 73, Issue 3. 354-357.
- Güner, C., Türksoy, V.A., Atamtürk, D., Duyar, İ., 2012, "Adramytteion (Örentepe, Balıkesir) Erken Bizans dönemi insan iskeletlerinin kimyasal analizi". *İnsanbilim Dergisi*. (2):81-93.
- Güner, C., Duyar, İ., Atamtürk, D., Aliyev, V., 2011, "Resuloğlu İnsan İskeletlerinin Kimyasal Analizi". *27. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*. 347-363.
- Hadjidakis, D.J., Androulakis, I.I., 2007, "Bone Remodeling". *Annals of The New York Academy of Sciences. Women's Health and Disease: Gynecologic, Endocrine, and Reproductive Issues*. Volume1092, Issue1. Pages 385-396.
- Hale, A.R., Ross, A.H., 2023, "Investigating the Timing and Extent of Juvenile and Fetal Bone Diagenesis in a Temperate Environment". *Biology*, 12(3), 403.
- Harkness, J.S., Darrah, T.H., 2019, "From the crust to the cortical: The geochemistry of trace elements in human bone". *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 249: 76-94.
- Hasan, Z., Rolle-McFarland, D., Liu, Y., Zhou, J., Mostafaei, F., Li, Y., Fan, Q., Zhou, Y., Zheng, W., Nie, L.H., Wells, E.M., 2020, "Characterization of bone aluminum, a potential biomarker of cumulative exposure, within an occupational population from Zunyi, China". *J Trace Elem Med Biol*. 59.

- Heaney, R.P., 2014, "Bone biology in health and disease". In: Ross, A.C., Caballero, B., Cousins, R.J., Tucker, K.L., Ziegler, T.R., eds. *Modern Nutrition in Health and Disease*. 11th ed: Lippincott Williams & Wilkins:1214-1226.
- Heaney, R.P., 2001, "Constructive interactions among nutrients and bone-active pharmacologic agents with principal emphasis on calcium, phosphorus, vitamin D and protein". *J Am Coll Nutr*. P:403-409.
- Hedges, R.E.M., 2002, "Bone Diagenesis: An Overview Of Processes". *Archaeometry* 44, 3. 319-328. Printed in Great Britain. University of Oxford,
- Hilson, S., 2005, "*Teeth*". Second Edition. Cambridge University Press. P:146-198.
- Hollund, H. I., Jans, M. M. E., Collins, M. J., Kars, H., Joosten, I., & Kars, S. M., 2012, "What happened here? Bone histology as a tool in decoding the postmortem histories of archaeological bone from Castricum, The Netherlands". *International Journal of Osteoarchaeology*, 22, 537-548.
- Horwood, M., 1989, "Trace element analysis of human bone from the prehistoric Moriori of the Chatham Islands, with special reference to diet". *Journal of the Royal Society of New Zealand*. 19:1, 59-71,
- Irvine, B., Erdal, Y.S., Richards, M.P., 2019, "Dietary habits in the Early Bronze Age (3rd millennium BC) of Anatolia: A multi-isotopic approach". *Journal of Archaeological Science: Reports*. Reports 24. Pages 253-263
- Irvine, B., Erdal, Y.S., 2020, "Analysis of dietary habits in a prehistoric coastal population from İkiztepe, North Turkey, using stable isotopes of Carbon, Nitrogen, and sulphur". *Journal of Archaeological Science: Reports*. Vol 29. 102067.
- Işıklı, M., 2014, "Yükseklerde Arkeoloji Yapmak. Doğu Anadolu Arkeolojisinin Dünü-Bugünü". *Arkeolojiyle Geçen Bir Yaşam İçin Yazılar Veli Sevin'e Armağan*. S:2. Ege Yayınları.
- Işıklı, M., Aras, O., Akın Aras, A., 2017, "Van Ayanis Kalesi 2016 Yılı Kazı ve Onarım Çalışmaları". 39. *Kazı Sonuçları Toplantısı*. 3. Cilt. 22-26 Mayıs Bursa. 263-281.
- Iyengar, G.V., Tandon, L., 1999, "Minor and Trace Elements in Human Bones and Teeth". *International Atomic Energy Agency*. Nahres-39. Vienna.
- İzci, Y., Kaya, S., Erdem, O., Akay, C., Kural, C., Soykut, B., Başoğlu, O., Şenyurt, Y., Kılıç, S., Temiz, Ç., 2013, "Paleodietary Analysis of Human Remains from a Hellenistic-Roman Cemetery at Camihöyük, Turkey". *Journal of Anthropology*. Vol 2013. pp.1-7,

- Jarvis, A.A., Brown, J.R., Tiefenbach, B., 1963, "Strontium-89 and Strontium-90 Levels in Breast Milk and in Mineral-Supplement Preparations". *Canad. Med. Ass. J. Jan.* 19. Vol. 88.
- Jahnen-Dechent, W., Ketteler, M., 2012, "Magnesium basics". *Clinical Kidney Journal*, Volume 5, Issue 1, Pages 3–14.
- Karaöz Arihan, S., 2013, "Beybağ Mevkii (Muğla) Bizans Dönemi Toplumunda Beslenmeye Bağlı Gelişen Paleopatolojik Rahatsızlıklar". *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Antropoloji (Paleoantropoloji) Anabilim Dalı*. Doktora Tezi. Ankara.
- Karaöz, Arihan, S., Akyol, A.A., Özer, İ., Arihan, O., 2017, "Elemental Analysis Of Beybağ-Muğla (Turkey) Byzantine Skeletons". TÜBA-AR 21/2017. 147-158
- Katzenberg, M.A., Herring, D.A., Saunders, S.R., 1996, "Weaning and infant mortality: Evaluating the skeletal evidence". *Yearbook of Physical Anthropology*. Volume101, Issue 23. Pages 177-199.
- Katzenberg, M.A., Saunders, S.R., Abonyi, S., 2000, "Bone Chemistry, Food and History: A Case Study from 19th Century Upper Canada". Chapter 1. *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*, edited by Ambrose and Katzenberg. Kluwer Academic/Plenum Publishers. P:1-19.
- Katzenberg, M.A., Saunders, S.R., 2008, "*Biological Anthropology of The Human Skeleton*". Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Kamenov, G.D., Lofaro, E.M., Goad, G., Krigbaum, J., 2018, "Trace elements in modern and archaeological human teeth: Implications for human metal exposure and enamel diagenetic changes". *Journal of Archaeological Science*. Volume 99, Pages 27-34.
- Kazantzis, G., 2007, "Cadmium, osteoporosis and calcium metabolism. Biometals mechanical, biochemical, and histopathological evaluation". *Ecotoxicol Environ Saf.* 66:267 – 71.
- Kendall, C., Eriksen, A.M.H., Kontopoulos, I., Collins, M.J., Turner-Walker, G., 2017, "Diagenesis of archaeological bone and tooth". *Palaeo* 8543. 3. 1-42
- Kohlmeier, M., 2020, "Trace Elements". (Edt.) Caterina, R.D., Martinez, J.A., Kohlmeier, M. *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics Fundamentals of Individualized Nutrition*. Chapter 43. Academic Press. p:321-325.
- Krewski, D., Yokel, R.A. Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., Kacew, S., Lindsay, J., Mahfouz, A.M., Rondeau, V., 2007, "Human Health Risk Assessment For Aluminium, Aluminium Oxide, And Aluminium Hydroxide". *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 10:1–269.

- Kunin, A.A., Evdokimova, A.Y., Moiseeva, N.S., 2015, "Age-related differences of tooth enamel morphochemistry in health and dental caries". *EPMA J.* 6(1),3, 1–11.
- Lambert, J.B., Simpson, S.V., Szpunar, C.B., Buikstra, J.E., 1984, "Ancient Human Diet from Inorganic Analysis of Bone". *Acc. Chem. Res.* 17, 298-305.
- Lambert, J.B., Simpson, S.V., Szpunar, C.B., Buikstra, J.E., 1985, "Bone Diagenesis and Dietary Analysis". *Journal of Human Evolution.* 14, 477-482.
- Lambert, J.B., Weydert-Homeyer, J.M., 1993, "Dietary Inferences from Element Analyses of bone". In: *Prehistoric Human Bone-Archaeology at the Molecular Level* (Eds. Lambert, J.B., Grupe, G.). 226-227.
- Lee, C.C., Fletcher, M.D., Tarantal, A.F., 2005, "Effect of age on the frequency, cell cycle, and lineage maturation of rhesus monkey (*Macaca mulatta*) CD34+ and hematopoietic progenitor cells". *Pediatr Res.* 58:315-322.
- Li, P.Y., Li, L., Wang, Y.Z., 2023, "Traditional uses, chemical compositions and pharmacological activities of *Dendrobium*: A review". *Journal of Ethnopharmacology.* Volume 310.
- Li, X., Qin, L., Bergenstock, M., Bevelock, L. M., Novack, D. V., Partridge, N. C., 2007, "Parathyroid hormone stimulates osteoblastic expression of MCP-1 to recruit and increase the fusion of pre/osteoclasts" *J. Biol. Chem.* 282, 33098–33106
- Lopez-Costas, O., Lantes-Suarez, O., Martinez Cortizas, A., 2016, "Chemical compositional changes in archaeological human bones due to diagenesis: Type of bone vs soil environment". *J. Archaeol. Sci.* 67, 43–51.
- Lowe, N.M., Fraser, W.D., Jackson, M.J., 2002, "Micronutrient Group Symposium on Micronutrient Supplementation: is there a case? Is there a potential therapeutic value of copper and zinc for osteoporosis?". *Proc Nutr Soc.* 61:181 – 5.
- Lynch, R.E., 1990, "Ionized Calcium: Pediatric Perspective" *Pediatric Clinics of North America.* Volume 37, Issue 2, Pages 373-389.
- Martin, D.L., Harrod, R.P., Perez, V.R., 2013, "*Bioarchaeology An Integrated Approach to Working with Human Remains*". Springer.
- Martinez Cortizas, A., Lopez-Costas, O., 2020, "Linking structural and compositional changes in archaeological human bone collagen: an FTIR-ATR approach". *Nature Research. Scientific Reports.* 10:17888.
- Martini, F. Bartholomew, E.F., 2020, "The Skeletal System". Eighth Edition. *Essential of Anatomy and Physiology.* Pearson Education, Inc. Chapter 6.. p:142-152.

- Marieb, E.N., Keller, S.M., 2018, "Essentials of Human Anatomy & Physiology". Twelfth Edition. Pearson Education Limited.
- Marieb, E.N., Hoehn, K., 2017, "Anatomi ve Fizyoloji". Beşinci Basımdan Çeviri. Nobel Kitap.
- Matta, G., Gjyli, L., 2016, "Mercury, lead and arsenic: impact on environment and human health". *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. Vol. 9 Issue 2.
- Mays, S., 2003, "Bone strontium: calcium ratios and duration of breastfeeding in a Mediaeval skeletal population". *Journal of Archaeological Science* 30. 731-741.
- Mays, S., 2010, "Bone Disease. The Archaeology of Human Bones". Second Edition. Chapter 7. 210-213.
- Mays, S., 2021, "The Archaeology of Human Bones". Third Edition. Routledge. 181-218.
- McGuinness, H., 2018, "Anatomy and Physiology". 5th Edition. Hodder Education an Hachette UK Company. p:96-99.
- Medeiros, D.M., Wildman, R.E.C., 2019, "Major Minerals". *Advanced Human Nutrition*. Jones & Bartlett Learning. Chapter 12. S: 345-373.
- Medio, L.D., Brandi, M.L., 2021, "Advances in bone turnover markers", *Advances in Clinical Chemistry*. Volume 105. Pages 101-140
- Michigami, T., Ozono, K., 2019, "Roles of Phosphate in Skeleton". *Front Endocrinol (Lausanne)*. 10: 180.
- Molleson, T., 2018, "Trace Elements In Human Teeth". *Trace Elements in Environmental History*. Conference paper 67-82.
- Movasaghi, Z., Rehman, S., Rehman, I., U., 2007, "Raman Spectroscopy of Biological Tissues". *Applied Spectroscopy Reviews*. Volume 42, Issue 5.
- Nedobukh, T.A., Semenishchev, V.S., 2020, "Strontium: Source, Occurrence, Properties, and Detection". Edt: Pathak, P., Gupta, D.K. *Strontium Contamination in the Environment*. Chapter 1. P:1-25. Springer.
- Nielsen, F.H., 2000, "Possibly Essential Trace Elements". Edt. Bodgen, J.D., Klevay, L.M., Rosenberg, I. *Clinical Nutrition Of The Essential Trace Elements And Minerals The Guide For Health Professionals*. Chapter 1. P:11-37.
- Nikita, E., 2017, "Osteoarchaeology A Guide to the Macroscopic Study of Human Skeletal Remains". Elsevier.
- Oyebode, B.A., Ogunfowokan, A.O., Esan, T.A., Aregbesola, S.B., Oyekunle, J.A.O., Adekunle, A.S., Oziegbe, E.O., 2022, "Evaluation of Trace

Element Concentrations in Human Teeth as Indicator of Environmental Contamination”. *Ife Journal of Science*. Vol. 24, no. 3.

Özdemir, K., 2008, “İkiztepe Tunç Çağı Toplumunda Element Analiziyle Beslenme Yapısının Belirlenmesi”. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Antropoloji Anabilim Dalı*. Doktora Tezi. Ankara.

Özdemir, K., Erdal, Y.S., Demirci, Ş., 2010, “Arsenic accumulation on the bones in the Early Bronze Age İkiztepe Population, Turkey”. *Journal of Archaeological Science*. 37: 1033–1041.

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: *Türkiye’de Arkeometrinin Ulu Çınarları, Prof. Dr. Ay Melek Özer ve Prof. Dr. Şahinde Demirci’ye Armağan*, İstanbul: Arkeoloji ve Sanat, pp.281-293.

Özdemir, K., Akyol, A.A., Erdal, Y.S., 2015, “A Case of Ancient Bladder Stones from Oluz Höyük, Amasya, Turkey”. *International Journal of Osteoarchaeology*. 25: 827–837.

Özdemir, K., 2018, “Arkeolojik Toplumlarda Sütten Kesme Sürecinin Kemik Kolajeninden Elde Edilen Sabit Karbon Ve Azot İzotopları İle İncelenmesi”. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. Sayı 2. 1138-1149.

Özdemir, K., 2018a, ”Bizans Dönemi Kovuklukaya Toplumunun (Boyabat, Sinop) Beslenme Alışkanlıklarının Yeniden Yapılandırılması: Sabit İzotop Oranı Analizlerinin Öncül Sonuçları”. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 1155 – 1176

Özdemir, K., Akyol, A.A., İren, K., Erdal, Y.S., 2018, “Koru Tümülüsü İskeletlerinin Osteobiyografilerinin Element Analizi ile İncelenmesi”. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 17 (3), 740-760. Araştırma Makalesi.

Özdemir, K., Erdal, Y.S., Itahashi, Y., Irvine, B., 2019, “A multi-faceted approach to weaning practices in a prehistoric population from İkiztepe, Samsun, Turkey”. *Journal of Archaeological Science: Reports*. Volume 27. 101982

Özdemir, Ö., Tabanlı, G., 2016, “Çinko Eksikliğinin Alerjik Hastalıklardaki Rolü”. *Sakarya Tıp Dergisi*, 6(4):267-274.

Pathak, P., Srivastaya, R.R., Keçeli, G., Mishra, S., 2020, “Assessment of the Alkaline Earth Metals (Ca, Sr, Ba) and Their Associated Health Impacts”. Edt: Pathak, P., Gupta, D.K. *Strontium Contamination in the Environment*. Chapter 12. P:227-245. Springer.

Pedersen, A. M., Bardow, A., Jenson, S.B., Nauntofte, B., 2002, “Saliva and gastrointestinal functions of taste, mastication, swallowing and digestion”. *Oral Diseases*, 8(3), 117–129.

- Penninngton, J.A.T., 1991, "Silicon in foods and diets". *Food Additives And Contaminants*, Vol. 8, No. 1, 97-118.
- Perez-Castrillon, J.L., Ruiz-Mambrilla, M., Riancho, J.A., 2020, "Nutrigenetics of Bone Health". (Edt.) Caterina, R.D., Martinez, J.A., Kohlmeier, M. *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics Fundamentals of Individualized Nutrition*. Chapter 51. Academic Press. p:377-381.
- Perez-Castrillon, J.L., Riancho del Moral, J.A., 2020, "Nutrients and Gene Expression Affecting Bone Metabolism". (Edt.) Caterina, R.D., Martinez, J.A., Kohlmeier, M. *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics Fundamentals of Individualized Nutrition*. Chapter 64. Academic Press. p:489-494.
- Perez-Granados, A.M., Vaquero, M.P., 2002, " Silicon, aluminium, arsenic and lithium: essentiality and human health implications". *J Nutr Health Aging*. 6(2):154-62.
- Pestle, W.J., Brennan, V., Sierra, R.L., Smith, E.K., Vesper, B.J., Cordell, G.A., Colvard, M.D., 2015, "Hand-held Raman spectroscopy as a pre-screening tool for archaeological bone". *Journal of Archaeological Science*. 58. P: 113-120
- Pete, F.D., 1994, "Bone Chemistry and Paleodiet". *Journal of Archaeological Method and Theory*, Vol. 1, No. 2, pp. 161-209. Springer
- Pollard, A.M., Heron, C., 2008, "The Chemistry of Human Bone: Diet, Nutrition, Status and Mobility". *Archaeological Chemistry*. Second Edition. Chapter 10. RSC Publishing. p: 346-373.
- Pollard, A.M., Batt, C.M., Stern, B., Young, S.M.M., 2007, "Analytical Chemistry in Archaeology". Chapter 4. P:83. Cambridge University Press.
- Prashanth, L., Kattapagari, K.K., Chitturi, R.T., Baddam, V.R.R., Prasad, L.K., 2019, "A review on role of essential trace elements in Health and Disease". *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences*. 4(2) 75-85.
- Prashanth, L., Kattapagari, K.K., Chitturi, R.T., Baddam, V.R.R., Prasad, L.K., 2015, "A review on role of essential trace elements in health and disease". *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences* 4(2):p 75-85,
- Price, T.D., Burton, J. H., 2011, "An Introduction to Archaeological Chemistry". Springer. Chapter 3. Bone p:49-51.
- Puzas, J.E., Boyce, B.F., 2020, "Metal ion toxicity in the skeleton: lead and aluminum". Edt; Bilezikian, J.P., Martin, T.J., Clemens, T.L., Rosen, C.J., *Principles of Bone Biology*. Fourth Edition. Chapter 22. P:526-557. Academic Press is an imprint of Elsevier.

- Raggat, L.J., Partridge, N.C., 2010, "Cellular and Molecular Mechanisms of Bone Remodeling". *The Journal Of Biological Chemistry*. Vol. 285, No. 33, pp. 25103–25108.
- Rasmussen, K. L., Skytte, L., D'imporzano, P., Thomsen, P. O., Søvsø, M., Boldsen, J. L., 2017, "On the distribution of trace element concentrations in multiple bone elements in 10 Danish medieval and post-medieval individuals". *Am. J. Phys. Anthropol.* 162: 90–102.
- Rasmussen, K.L., Milner, G.R., Delbey, T., Skytte, L., Lynnerup, N., Thomsen, J.L., Schiavone, S., Torino, M., Larsen, L.A., Boldsen, J.L., 2020, "Trace element distribution in human cortical bone microstructure: the potential for unravelling diet and social status in archaeological bones". *Heritage Science*. Volume 8. Number 111. 1-23
- Rehder, D., 2013, "Vanadium. Its Role for Humans". *Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases*. 13: 139–169.
- Ristova, M., Josheva, D., Brozek-Mucha, Z., 2022, "Dental cementum examination with SEM/EDX for unraveling details along the lifeline to assist identification of a female individual". *Forensic Sci. Int.*, 330.
- Rondanelli, M., Faliva, M.A., Peroni, G., Infantino, V., Gasparri, C., Iannello, G., Perna, S., Riva, A., Petrangolini, G., Tartara, A., 2021, "Essentiality of Manganese for Bone Health: An Overview and Update". *Natural Product Communications*. Volume 16(5): 1–8.
- Rodriguez, J., Mandalunis, P.R., 2018, "A Review of Metal Exposure and Its Effects on Bone Health. Review Article". *Journal of Toxicology*.
- Ruiz-Medina, A., Llorent-Martínez, E.J., 2012, "Flow Optosensing Applied To The Analysis of Trace Elements". Edt; Leon, D. A., Aragon, P. R., *Trace Elements Environmental Sources, Geochemistry and Human Health*. Published by Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Sablinskas, V., 2014, "Instrumentation". In: *Handbook of Spectroscopy*. (Eds): Gauglitz, G., Moore, D.S. Second Edition. Chapter 4. 49-52.
- Safont, S., Malgosa, A., Subirà, M.E., Gibert, J., 1998, "Can trace elements in fossils provide information about palaeodiet?". *International Journal of Osteoarchaeology*. 8: 23-37.
- Sasso, G.D., Angelini, I., Maritan, L., Artioli, G., 2018, "Raman hyperspectral imaging as an effective and highly informative tool to study the diagenetic alteration of fossil bones". *Talanta*. Volume 179, Pages 167-176.
- Sevdim, E.E., Akyol, A.A., Büyükkarakaya, Ali.M., Özdemir, K., 2018, "Different Bone Types Different Element Accumulations: Diagenetic Element Accumulation On The Neolithic Period Human Bones From Tepecik-

Çiftlik". *Hitit University Journal of Social Sciences Institute*, Issue, Year 11
Volume 2. Ss:1553-1581

- Schoeninger, M.J., 1993, "Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods".
Edt., Shelley R. Saunders, M. Katzenberg. 265 pp. New York: Wiley-Liss.
- Schoeninger, M.J., Moore, K., 1992, "Bone Stable Isotope Studies in Archaeology".
Journal of World Prehistory, Vol. 6, No. 2, pp. 247-296. Springer.
- Schoeninger, M.J., Peebles, C.S., 1981, "Effect of Mollusc Eating on Human
Bone Strontium Levels". *Journal of Archaeological Science*, 8, 391-397.
Academic Press.
- Schrader, S., 2019, "Activity, Diet and Social Practice. Addressing Everyday Life in
Human Skeletal Remains". 19-27. Springer.
- Schroeder, H.A., Tipton, I.H., Nason, A.P., 1972, "Trace Metals In Man: Strontium
And Barium". *J Chron Dis*, Vol. 25, pp. 491-517. Pergamon Press.
- Schwarcz, H.P., 1991, "Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies".
Journal of Archaeological Science. Volume 18, Issue 3. Pages 261-275
- Serna, J., Bergwitz, C., 2020, "Importance of Dietary Phosphorus for Bone
Metabolism and Healthy Aging". *Nutrients*. 12(10): 3001.
- Shaikh, I., Dasari, B., Shaik, A., Doos, M., Kolli, H., Rana, D. Tiwari, R.V.,
2021, "Functional role of inorganic trace elements on enamel and dentin
formation: A review". *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13(2),
S:952.
- Sillen, A., Smith, P., 1984, "Weaning Patterns are Reflected in Strontium-
Calcium Ratios of Juvenile Skeletons". *Journal of Archaeological Science*,
11, 231-245.
- Sillen, A., Kavanagh, M., 1982, "Strontium and Paleodietary Research: A
Review". *Yearbook of Physical Anthropology*. 25:67-90.
- Sillen, A., 1986, "Biogenic and Diagenetic Sr/Ca in Plio-Pleistocene fossils in the
Omo Shungura Formation". *Paleobiology*. 12, 311-323.
- Smith, G.D., Clark, R.J.H., 2004, "Journal of Archaeological Science". 31. P:
1137-1160
- Smith, O.M., 2013, "Paleopathology". In: DiGangi, E.A., Moore, M.K., (Eds),
Research Methods in Human Skeletal Biology. Chapter 7. Elsevier. 181-217.
- Sowden, E.M., Stich, S.R., 1957, "Trace Elements In Human Tissue. 2. Estimation
Of The Concentrations Of Stable Strontium and Barium In Human Bone.
Biochemistry Journal. 67: 104-109.
- Strazzullo, P; Leclercq, C., 2014, "Sodium. American Society for Nutrition". *Adv.
Nutr*. 5: 188-190.

- Szpunar C.B., Lambert J.B., Buikstra J.E., 1978, "Analysis of Excavated Bone by Atomic Absorption". *American Journal of Physical Anthropology* 48, 199-202.
- Szulc, P., Seeman, E., 2009, "Thinking inside and outside the envelopes of bone: dedicated to PDD". *Osteoporos Int.* 20:1281-1288.
- Tack, F.M.G., 2010, "Trace Elements: General Soil Chemistry, Principles and Processes". Edt: Hooda, P.S. *Trace Elements in Soils*. Chapter 2. P:9-32. Blackwell Publishing Ltd.
- Takaya J., Kaneko K., 2011, "Small for gestational age and magnesium in cord blood platelets: intrauterine magnesium deficiency may induce metabolic syndrome in later life": *J Pregnancy*, vol. 2011 pg. 270-474.
- Tale, K.S., Ingole, S., 2015, "A Review on Role of Physico-Chemical Properties in Soil Quality". *Chemical Science Review and Letters*. 4(13), 57 – 66.
- Tarakçı, Z., Küçüköner, E., 2006, "Esansiyel bir Mineral olan Çinkonun Fonksiyonel Özellikleri". *Türkiye 9. Gıda Kongresi*; 24-26 Mayıs 2006, Bolu.
- Tlustos P., Szakova J., Sichorova K., Pavlíková D. and Balík J., 2007, "Rizika kovův půdév argoekosystémech". *Risks of Metals in Soil in Argoecosystems of the Czech Republic*. Vědecký výbor fyto-sanitární a životního prostředí, Praha. (In Czech).
- Toots, H., Voorhies, M.R., 1965, "Strontium in Fossil Bones and the Reconstruction of Food Chains". *Science*. 149, 854-855.
- Tsutaya, T., Yoneda, M., 2015, "Reconstruction of Breastfeeding and Weaning Practices Using Stable Isotope and Trace Element Analyses: A Review". *Yearbook of Physical Anthropology*, 156:2-21.
- Tsutaya, T., 2017, "Post-weaning diet in archaeological human populations: A meta-analysis of carbon and nitrogen stable isotope ratios of child skeletons". *American Journal of Biological Anthropology*. Vol 164, Issue 3. Pages 546-557.
- Turnlund, J.R., Friberg, L., 2007, "Molybdenum". 3rd Ed., Eds., Nordberg, G.F., Fowler, B.A., Nordberg, M., Friberg, L.T., *Handbook on the Toxicology of Metals*. Chapter 34. P: 731-741. Elsevier.
- Turner-Walker, G.H., 1993, "The characterisation of fossil bone". (Doctoral). Durham University.
- Turner-Walker, G., 2009, "Degradation pathways and conservation strategies for ancient bone from wet, anoxic sites". in: *Proceedings of the 10th Triennial Meeting of the ICOM-CC*.

- Turner-Walker, G., Jans, M.M.E., 2008, "Reconstructing taphonomic histories using histological analysis". *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 266, 227-235.
- Türkekel, R., Karaöz Arıhan, S., Yıldırım, S., Arıhan, O., Oto, G., Ekin, S., Yıldız, D., 2020, "Effect Of Acute And Chronic Fluoride Administration On Bone Histopathology, Bone Fluoride Accumulation, And Locomotor Activity In An Animal Model Of Paleopathological Fluorosis". *Fluoride*, vol.53, 77-89.
- Underwood, U.J., 1956, "*Trace Elements in Human and Animal Nutrition*". Academic Press Inc. Chapter 1. p:1-11.
- Underwood, E.J., 1977, "*Trace Elements in Human and Animal Nutrition*". Academic Press Inc. New York San Francisco London.
- Xiao, W., Li, S., Pacios, S., Wang, Y., Graves, D., 2016, "Bone Remodeling Under Pathological Conditions". Kantarci A, Will L, Yen S (eds): *Tooth Movement. Front Oral Biol.* Basel, Karger, vol 18, pp 17-27
- Wada, O., 2004, "What are Trace Elements? Their deficiency and excess" *States. JMA Journal* 47(8), 351-358.
- Walker, P.L., Bathurst, R.R., Richman, R., Gjerdum, T., Andrushko, V.A., 2009, "The Causes of *Porotic Hyperostosis* and *Cribra Orbitalia*: A Reappraisal of the Iron-Deficiency-Anemia Hypothesis". *American Journal Of Physical Anthropology* 139:109-125.
- Wallach, S., 1990, "Effects of magnesium on skeletal metabolism". *Magnesium and Trace Elements*, 9(1):1-14.
- Wang, C., Zhu, Y., Long, H., Ou, M., Zhao, S., 2022, "Relationship between blood manganese and bone mineral density and bone mineral content in adults: A population-based cross-sectional study". *Journals Plos One.* 17(10).
- Weaver, C.M., Peacock, M., 2019, "Skeletal Changes Across the Life Span". Burr, D.B., and Allen, M.R. (edc.). *Basic and Applied Bone Biology.* Second Education. Chapter 10. p:189.
- Weiss, E., 2009, "Bioarchaeological Science: What We Have Learned From Human Skeletal Remains". *Nova Science Publishers, Inc.* P: 87-101 chapter 7.
- Wenzel W. W., Lombi E., Adriano D.C., 1999, "Biogeochemical processes in the rhizosphere". In: *Heavy Metal Stress in Plants, Role in Phytoremediation of Metal-Polluted Soils*, M. N. V. Prasad, J. Hagemeyer (eds), Springer-Verlag, Berlin, pp. 273-303.
- Whitney, E., Rolfes, S.R., 2019, "*Understanding Nutrition*". Fifteenth Edition. Cengage. Chapter 13. p:392-417.

- Wilson, J. A., Pulford, I.D., Thomas, S., 2002, "Sorption Of Cu And Zn By Bone Charcoal". *Environ Geochem Health*. 25(1):51-6.
- Vanholder, R., Corneils, R., Dhondt, A., Lameire, N., 2002, "The role of trace elements in uraemic toxicity". *Nephrology Dialysis Transplantation*, Volume 17, Issue 2, Pages 2–8.
- Vranova, V., Marfo, T.D., Rejsek, K., 2015, "Soil Scientific Research Methods Used In Archaeology – Promising Soil Biochemistry: A Mini-Review". *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelhanae Brunensis*. Volume 63. Number 4. 155.
- Yanagisawa, H., Nodera, M., 2007, "Zinc Physiology and Clinical Practice". *Biomed Res Trace Elements*. 18(1) : 3-9.
- Yılmaz Usta, N.D., Başoğlu, O., Erdem, O., Kural, C., İzci, Y., 2019, "İasos (Erken Bizans) ve Camihöyük (Helenistik-Roma) Kazıları İskelet Toplulukları Üzerinde Karşılaştırmalı Element Analizi". *Antropoloji* 37, 7-14.
- Zimmerman, H.A., Meizel-Lambert, C.J., Schultz, Sigman, M.E., 2014, "Chemical Differentiation of Osseous, Dental, and Non-skeletal Materials in Forensic Anthropology using Elemental Analysis". *Science and Justice*. Pages 8.
- Zofkova, I., Nemcikova, P., Matucha, P., 2013, "Trace elements and bone Health". *Clin Chem Lab Med*; 51(8): 1555–1561.
- Zofkova, I., Davis, M., Blahos, J., 2017, "Trace Elements Have Beneficial, as Well as Detrimental Effects on Bone Homeostasis". *Physiol. Res*. 66: 391-402.
- Zoroddu, M., Aaseth, J., Crisponi, G., Medici, S., Peana, M., Nurchi, V.M., 2019, "The essential metals for humans: a brief Overview". *Journal of Inorganic Biochemistry*. Volume 195, Pages 120-129.