

Karbon ve azotun sabit izotoplarının geçmiş beslenme alışkanlıkları ve geçim uygulamalarını yeniden yapılandırmak için kullanımı

Benjamin Irvine^{1,2*}, Kameray Özdemir³

¹ Dr. | ANAMED (Koç Üniversitesi Anadolu Medeniyetleri Araştırma Merkezi), İstanbul-Türkiye

² BIAA (British Institute at Ankara), Ankara-Türkiye

³ Doç. Dr. | Hacettepe Üniversitesi, Antropoloji Bölümü, Ankara-Türkiye

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author:

Kameray Özdemir

Hacettepe Üniversitesi,

Edebiyat Fakültesi

Antropoloji Bölümü

Beytepe Kampüsü

06800 Beytepe/Türkiye

E-posta: kameray.ozdemir@hacettepe.edu.tr

Alındı/Received: 19 Ekim / October 2021

Düzeltildi/Revised: 23 Aralık / December 2021

Kabul/Accepted: 23 Aralık / December 2021

Yayımlandı/Published: 28 Aralık / December 2021

Öz

Tarihî ve arkeolojik topluluklarda beslenme geleneksel olarak etnografik, yazılı kayıtlar, arkeozoolojik ve arkeobotanik kalıntılar ve benzeri kaynaklar kullanılarak yeniden oluşturulmakla birlikte, bu veri kaynakları bize yalnızca hangi kaynakların mevcut olduğunu söyleyebilir. Bununla birlikte, sabit izotop analizleri, tüketilen gıdaların geniş kategorilerinin doğrudan bir ölçümünü sağlar. İnsan ve hayvan kemiğinden özütlenen kolajenin sabit karbon ve azot izotop bileşimi, geçmiş insan topluluklarının beslenme alışkanlıklarını, geçim stratejilerindeki değişimi, göçü, ürün yetiştirme ve hayvancılık uygulamalarındaki değişiklikleri, topluluk içinde zamana, yaşa, cinsiyete veya gömü geleneğine göre beslenme varyasyonunu gözlemlemek ve süttan kesme süreci belirleyebilmek için kullanılır. Türkiye’de sabit izotopların arkeolojik ve tarihi materyallere uygulanması nispeten geç başlamış ve ilk çalışma 2003 yılında yapılmıştır. Gelecekte, farklı bölgelerden ve zaman periyotlarından daha fazla sayıda ve daha büyük örnek setlerini analiz ederek bilginizi ve anlayışınızı geliştirebilir ve iletebilir, böylelikle de meta veri analizi için daha büyük bir izotop veri seti oluşturulabilir ve bireyler, yerleşimler, dönemler ve bölgeler arasında karşılaştırmalı çalışmalar yapabiliriz.

Anahtar Sözcükler: Kemik kimyası, arkeoloji, paleodiyet, tarım, hayvancılık uygulamaları

Giriş

Sabit izotoplar ilk olarak 1913’te keşfedildi ve 1930’ların ortalarına gelindiğinde çoğu tanımlandı (Katzenberg, 2008). Karbon (C) sabit izotoplarının nispi oranlarındaki varyasyon, ilk olarak Nier ve Gulbransen (1939) tarafından ölçülmüştür. Karbon izotoplarının doğadaki genel dağılımı ise Harmon Craig (1953) tarafından çalışılmıştır. Biyosfer ve jeosferde gözlenen mevcut çeşitliliği anlamada kaydedilen büyük ilerlemeler, botanikçi ve jeokimyacıların, 1950 ve 60’larda, bitkilerin sahip olduğu sabit karbon izotop varyasyonunu keşfini

Using stable isotopes of carbon and nitrogen to reconstruct palaeodietary habits and subsistence practices

Abstract

Diet in historic and archaeological populations has traditionally been reconstructed using ethnographic, textual records, archaeozoological and archaeobotanical remains etc., but these data sources can tell us only what resources were available. However, stable isotope analyses provide a direct measure of the broad categories of foods that were actually exploited and consumed. Thus, stable carbon and nitrogen isotopes composition of collagen extracted from human and animal bone can be used in dietary studies of past human populations to observe changes in subsistence strategies, migration, crop and animal managements, intra-population variation in diet over time or by age, sex, burial type, and weaning process. The application of stable isotopes to archaeological and historic materials was a relatively late bloomer in Turkey, with the first study not conducted until 2003. For future perspectives, by analysing a greater number, and larger sample sets from different regions and time periods we can improve and advance our knowledge and understanding, creating a larger dataset of isotopic values for metadata analysis and cross comparisons between individuals, sites, time periods, and across regions.

Key Words: Bone chemistry, archaeology, palaeodiet, agriculture, animal management

takeip eden süreçte gerçekleşmiştir (Katzenberg, 2008). Aynı çevrede bulunan bitki ve hayvanların izotop değerlerindeki benzerlikler ise 1950’lerin başlarında fark edilmiştir (Hoefs, 2009). Bu gelişme, radyokarbon tarihleme ve metodolojilerine zaten aşına olan radyokarbon tarihleme laboratuvarlarında çalışan araştırmacılar tarafından ilgiyle takip edilmiş ve böylelikle arkeolojide sabit izotopu ilk kullanılan element karbon olmuştur (Katzenberg, 2008). Mısırın (bir C₄ bitkisi) anormal derecede genç radyokarbon tarihlerine sahip olduğu ve aynı arkeolojik bağlamdaki

Atf için / Cite as:

Irvine, B., ve Özdemir, K. (2021). Karbon ve azotun sabit izotoplarının geçmiş beslenme alışkanlıkları ve geçim uygulamalarını yeniden yapılandırmak için kullanımı.

Antropoloji, (42), 36-48.

<https://doi.org/10.33613/antropolojidergisi.1010131>

(konteksteki) diğer (C₃) bitkilere kıyasla $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin yüksek olduğu fark edildiğinde, diyeti incelemek için ilk olarak karbonun sabit izotopları önerildi (Ambrose ve Krigbaum, 2003; Tykot, 2004, 2010; Katzenberg, 2008; Makarewicz ve Sealy, 2015). Daha sonra mısırın farklı bağıl ^{14}C ve ^{13}C miktarları ile farklı bir fotosentetik yola sahip olduğu anlaşıldı (Tykot, 2004, 2010; Katzenberg, 2008). Bunu takiben, Robert Hall (1967), tüketici dokularında (örneğin kemik) bulunan karbon izotop oranlarının da süreçten etkileneneğinin ve dolayısıyla karbon izotop oranlarının ölçümünün yapılabileceğinin anlaşılmasından sonra mısır tüketimini tahmin etmek için kemikten sabit karbon izotop analizinin yapılmasını önerdi (Hall, 1967; Ambrose, 1993; Ambrose ve Krigbaum, 2003; Tykot, 2004). ^{13}C ve ^{12}C 'nin izlediği yollar ve kesir etkisi (fraksiyon etkisi), günümüzde en iyi şekilde anlaşılmış izotop sistemdir (Lee-Thorp vd., 2003). Daha sonraki süreçte, azot (N) izotop değerlerinin farklı besin kaynakları arasında, özellikle deniz ve karasal olanlar arasında değişiklik gösterdiği ve beslenme zinciri (trofik) seviye etkilerinden kaynaklanan azot oranlarında farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir (Walker ve DeNiro, 1986; Tykot, 2004, 2010;). Bu gözlem, erken kontrollü hayvan besleme deneyleriyle desteklenmiştir (DeNiro ve Epstein, 1978; Ambrose, 1993; Hoefs, 2009; Schwarcz ve Schoeninger, 2011). 1970'lerin sonlarında ve 1980'lerin başlarında çeşitli türler üzerinde yapılan kontrollü beslenme çalışmaları, diyet ve hayvan dokularındaki sabit karbon ve azot izotop oranları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve teorik arka plan oluşturulmuştur. Yaşanan bu gelişmeyi, trofik seviyenin sabit azot izotoplarını nasıl etkilediği ve bölgesel varyasyonların incelenmesi izlemiştir (Schoeninger ve DeNiro, 1984; Ambrose, 1993; Katzenberg, 2008; Lee-Thorp, 2008; Makarewicz ve Sealy, 2015).

Günümüzde, sabit izotop analizleri, hem birey hem de topluluk seviyesinde beslenme alışkanlıklarını, geçim uygulamalarını, yerel (paleo)çevresel ve iklimsel koşulları, tarımsal stratejileri, göçü, ticareti, yaş, cinsiyet ve statü farklılıklarını, hayvancılık uygulamalarını ve tarih öncesi hayvan ve insan toplumlarının sağlık durumunu yeniden yapılandırmak için kullanılan yerleşik ve önemli bir yöntemdir (Ambrose, 1993; Ambrose ve Krigbaum, 2003; Tykot, 2004; Schwarcz ve Schoeninger, 2011; Reitsema, 2013; Fiorentino vd., 2015; Makarewicz ve Sealy, 2015; Makarewicz, 2016; Richards, 2020; Richards ve Britton, 2020). Özellikle, arkeolojik toplumlarda paleodiyetin sabit izotop rekonstrüksiyonu, gıda türlerinin bireysel diyetler için göreceli önemini ölçen ve gıdaların hem bireysel hem de toplumsal ölçekte, cinsiyete, yaşa veya sosyal statüye bağlı olarak farklı erişimlerini araştırmak için kullanılabilir önemli bir biyoarkeolojik araştırma alanıdır (Quinn ve Beck, 2016; Richards, 2020). Daha yakın zamanlarda çalışılmaya

başlanmış kükürt (S), hidrojen (H), çinko (Zn), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), bakır (Cu) ve demir (Fe) izotopları olmasına rağmen, beslenme alışkanlıklarını ve ilgili geçim stratejilerini incelemek için hâlâ en yaygın olarak kullanılan sabit izotop oranları karbon ve azota ait olan izotop oranlarıdır (Jaouen ve Pons, 2017).

İlk uygulamalarından bu yana, karbon ve azotun sabit izotoplarını kullanan arkeolojik araştırmalarda (özellikle son 20-30 yılda) küresel bir artış yaşanmıştır. Sabit izotopların arkeolojik materyallere uygulanmasına dair Türkiye'deki ilk çalışma 2003 tarihinde nispeten geç gerçekleşmiş olmakla birlikte, son yıllarda sabit izotop analizini kullanan çalışmalarda artış gözlenmektedir (Irvine ve Özdemir, 2020). Bu çalışmada, karbon ve azot elementleri ile sabit izotoplarının bir özetini ve arka planını sunduktan sonra, insanın geçmişi hakkında önemli araştırma sorularını cevaplamak için kullanılan söz konusu sabit izotopların (biyo)arkeolojik malzemeler üzerinde uygulanmasının faydası, teorisi ve metodolojisi hakkında bilgiler vermek amaçlanmaktadır. Aynı zamanda bu çalışma, konuya, söz konusu izotopların, paleodiyet alışkanlıklarının ve ilişkili geçim pratiklerinin, hayvancılık uygulamaları ve tarımsal stratejilerinin yeniden yapılandırılmasında kullanımlarına ve özellikle de Anadolu ve Anadolu arkeolojisinde uygulamalarına odaklanarak yaklaşmaktadır.

Karbon ve izotopları

Karbon doğada beş ana formda bulunur. Bunlardan ilki, organik bileşiklerde ve kömürde yer alan indirgenmiş hali, ikincisi oksitlenmiş gaz hali (esas olarak CO₂), bir diğeri sucul ortamlarda gözlenen karbonat iyonları iken dördüncü ve beşinci ise karbonat mineralleri olan grafit ve elmas formlarıdır (Hoefs, 2009). ^{12}C ve ^{13}C karbonun iki sabit izotopudur (Faure ve Mensing, 2005; Hoefs, 2009). Bu sabit izotopların göreceli doğal bolluk miktarları sırasıyla %98,89 ve %1,11 olarak tespit edilmiştir (O'Leary, 1981). Karbonun izotop bileşimi $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranı ile ifade edilir. $\delta^{13}\text{C}$ olarak gösterilen karasal kökenli C değeri, örneğin izotop oranının bir dizi C standardının izotop oranına oranıdır ve binde olarak tanımlanır (McKinney vd., 1950; O'Leary, 1981; Ambrose, 1993; Faure ve Mensing, 2005):

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ örnek}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ standart}} \right) - 1 \right] \times 1000 \quad (1)$$

Başka bir anlatımla, kemiklerdeki (ve dişlerdeki) C izotop değerleri $\delta^{13}\text{C}$ (‰) olarak ifade edilir ve diyetin $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ bolluğunu yansıtır. C durumunda, oranlar ($\delta^{13}\text{C}$), Güney Carolina'daki Pee Dee formasyonundan bir Belemnite fosili olan Peedee Belemnite (PDB)

standartıyla karşılaştırılarak ifade edilir (Ambrose, 1993; Craig, 1957). PDB için izotop oranı ($\delta^{13}\text{C}$) 0,01124'tür (O'Leary, 1981). Çoğu biyolojik sistemdeki $\delta^{13}\text{C}$ değerleri negatiftir; yani, PDB'ye kıyasla ^{13}C değeri düşüktür (O'Leary, 1981, 1988). Sonuç olarak, daha az negatif bir değer, çalışılan örneğin ^{13}C bakımından daha zengin olduğu anlamına gelir (O'Leary, 1981).

Azot ve izotopları

Dünyada var olan azotun %99'undan fazlası ya atmosferde gaz (N_2) formunda ya da okyanusta çözünmüş N_2 halindedir (Hoefs, 2009). Azot, toprakta ve sucul ortamda, nitrat (NO_3), amonyum (NH_4), amonyak (NH_3) ve oksitler (NO_2 , NO , N_2) olarak gaz, çözünmüş gaz ve katı hallerde yer alır (Hoefs, 2009). Azotun en reaktif formu olan N_2 , biyolojik sistemlerde kullanılmak üzere mikroorganizmalar tarafından nitrat ve amonyum gibi kullanılabilir formlara sabitlenir (Hoefs, 2009). Azot, amino asitler ve proteinler dahil olmak üzere biyojenik organik moleküllerin yapısında yer alır (Faure ve Mensing, 2005). İki sabit izotop formuna sahiptir. Bunlar, ^{14}N ve ^{15}N olup doğal bolluk oranları sırasıyla %99,63 ve %0,37 olarak ölçülmüştür (Faure ve Mensing, 2005; Hoefs, 2009). Karbonun olduğu gibi, N izotop değeri de iki sabit izotopu olan ^{15}N ve ^{14}N arasındaki oran binde partikül olarak ölçülür ve $\delta^{15}\text{N}$ şeklinde ifade edilir. Ayrıca uluslararası kabul görmüş ve ‰0 (teknik olarak ‰0,003675) değerinde bir standart olan AIR'e (*Ambient Inbalable Rezervuar*) göre ifade edilir (Mariotti, 1983; Ambrose, 1993). Karbondan farklı olarak, çoğu biyolojik sistemdeki $\delta^{15}\text{N}$ değerleri pozitifdir.

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\left(\frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ örnek}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ standart}} \right) - 1 \right] \times 1000 \quad (2)$$

Karbon ve azot izotop analizinin prensipleri

Önceden gösterildiği gibi, sabit izotop oranı delta işareti (δ) kullanılarak ifade edilir ve miktarı bin başına partikül (‰) olarak ölçülür (Tykot, 2004; Pollard vd., 2007). Pozitif bir δ değeri, çalışılan örneğin standarttan daha yüksek bir ağır:hafif izotop oranına sahip olduğunu gösterir ve doğal olarak bu durumun tersi de geçerlidir (Pollard vd., 2007). Örneğin, bir numunenin $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰-20 ise bu, $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ oranının standarttan %20 daha düşük olduğu anlamına gelir.

Karbon ve azot kullanılarak tahmini diyet alışkanlıklarının yeniden yapılandırılması, diyete giren karbon ve azotun farklı kaynakları ve bolluk oranları tarafından sağlanan farklı izotop değerleri/sinyalleri prensibine dayanır. Bu farklı sinyaller, emzirme ve süttan kesme süreci (Fogel vd., 1989) ile karasal kaynaklara karşı deniz kaynakları (Schoeninger ve DeNiro, 1984;

Ambrose, 1993) gibi diyet alım faktörlerinin bir sonucu olarak oluşur. Karbon ve azot izotop oranları gıda kategorisine göre değişir ve bu farklılıklar insan vücut dokularında kaydedilir (Ambrose, 1993). Bir bireyin yaşamı boyunca uyguladığı diyetinin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağlayan bu farklı aralıklardır. Özünde, arkeolojik iskelet kalıntılarının C ve N izotop analizi, iyi test edilmiş bir önermeye, yani insan ve hayvan kemikleri ve dişlerindeki izotop oranlarının bir bireyin diyetinin izotop bileşimini yansıtacağı anlayışına ve ayrıca bir tüketicinin dokularının izotop bileşimi ile diyeti arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabulüne dayanmaktadır (Ambrose, 1993; Tykot vd., 2009). Kontrollü koşullar altında yürütülen beslenme deneyleri, karasal bir memelinin dokularındaki C ve N izotop içeriği ile ortalama diyeti arasında nicel bir ilişki olduğunu göstermiştir (DeNiro ve Epstein, 1978; Drucker ve Bocherens, 2004).

Bunula birlikte, yığın (*bulk*) halindeki kemik kolajeni kullanılarak yürütülen sabit izotop analizinin ana kısıtlılıklarından birinin, kemik kolajenin devir hızı (*turnover rate*) nedeniyle bir bireyin diyetine (yaklaşık 10-30 yıl) ilişkin ortalama bir genel bakış sağladığı, ancak diyetin spesifik bileşimini (yani, bireysel yemekler/belirli gıda maddeleri) doğru bir şekilde ortaya çıkarmaması olduğu belirtilmelidir (Ambrose, 1993; Lee-Thorp, 2008). Yığın kemik kolajenin sabit izotop analizi, bütünsel ve karşılaştırmalı bir temelde kullanıldığında etkili sonuçlar vermektedir. Bu, izotop verilerinin diğer veri formlarıyla (örneğin, arkeobotanik, arkeozooloji ve osteoarkeoloji) birlikte kullanılmasını içerir. Ayrıca, sabit izotop analizi, büyük veri kümelerinde karşılaştırmalı olarak kullanıldığında en etkili sonuçları ortaya çıkarabilmektedir. Tek bir bireyden elde edilen sabit izotop verileri ilginç olabilir, ancak gerçekte, merak edilen, topluluk içi, topluluklar arası ve art zamanlı değişimlerin belirlenmesine yardımcı olacak çok az bilgi sağlar.

Son olarak, C ve N oranları insanın biyolojik ve fizyolojik özelliklerine bağlı olarak değişebilir. İnsan kemiğini oluşturan iki ana bileşen vardır; kolajen, organik bileşenin %90'ı (canlı kemik ağırlığının %30-40) ve inorganik kısım olan hidroksiapatit (ağırlıkça %70) olarak bilinir (Schwarcz ve Schoeninger, 2011). Kolajen, elzem olmayan üç amino asitten oluşur: glisin, prolin ve hidroksiprolin (Eastoe, 1955, 1957, 1967). Elzem olmayan amino asitler diğer biyokimyasal öncülerinden sentezlenirken, elzem olan amino asitler organizma tarafından sentezlenemez ve diyet aracılığıyla elde edilir (Eastoe, 1967). Apatit ve kolajenden elde edilen karbon izotopları, tüketicilerin diyeti hakkında farklı bilgiler sağlar. ^{13}C miktarının aralarında değiştiği üç ana makro besin vardır; karbonhidratlar, lipitler (karbonhidratlara göre %2 oranında daha az ^{13}C) ve proteinler (genellikle

karbonhidratlara göre %4 oranında zenginleşen ^{13}C (Hoefs, 2009). Kolajen, sindirilen gıdalardan türetilen amino asitlerden oluşur ve proteinden alınan C ve N yeterli protein mevcut olduğunda, tercihen kemik kolajenine yönlendirildiği için insan diyetinin protein bileşenini yansıtır (Ambrose, 1993; Ambrose ve Norr, 1993; Jim vd., 2004; Lee-Thorp, 2008). Bununla birlikte, hidroksiapatite bulunan karbon izotop değerleri, tüm diyetin karbon enerji kaynaklarını yansıtır (Ambrose ve Norr, 1993; Jim vd., 2004; Lee-Thorp, 2008).

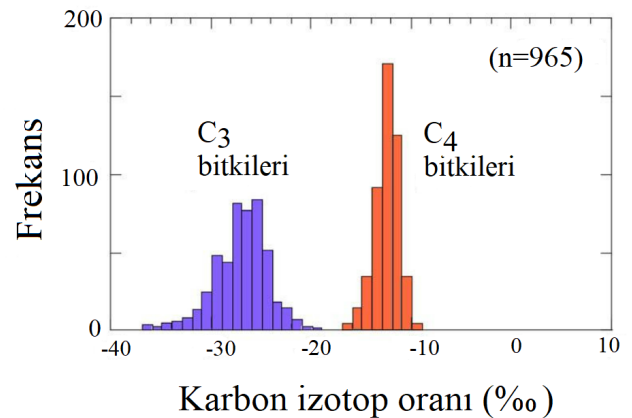
Karbon izotop oranı ($\delta^{13}\text{C}$)

Karbonun sabit izotop oranının kullanılması, öncelikle, fotosentez sırasında farklı kesirlenme süreçlerine dayanır (Vogel, 1980). Bitkiler tercihen fotosentez sırasında atmosferden $^{12}\text{CO}_2$ 'yi absorbe ederken daha ağır olan $^{13}\text{CO}_2$ 'yi ayırt eder (O'Leary, 1981, 1988; Ambrose, 1993; Lee-Thorp vd., 2003; Faure ve Mensing, 2005; Szpak vd., 2013). Ayrıca, fotosentez sırasında farklı bitki türlerinin CO_2 'yi metabolize ettiği farklı yollar, hangi türlerin beslenmeye dahil edildiğini ve beslenmedeki bitkisel kaynakların ağırlığının hangi boyutta olduğunu tespit etmemizi sağlayan, farklı $\delta^{13}\text{C}$ değerleri üretir (Vogel, 1980; O'Leary, 1981; Hoefs, 2009; Szpak vd., 2013). Bütün tüketicilerin C izotop izleri bitkilerden kaynaklandığından ve aynı zamanda tüm karasal besin ağlarının temeli olduğundan, $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, ya doğrudan tüketimin bir sonucu olarak ya da bir hayvan gibi bir vektör yoluyla oluşur; otçullar, beslenmeyle birlikte bitki kaynaklı karbonu dokularına dahil eder, bu da yenen C_3 ve C_4 bitkilerinin oranını yansıtır (Lee-Thorp vd., 2003). Dolayısıyla, bitkiler, insan kolajeninin $\delta^{13}\text{C}$ varyasyonunun çoğunu ve $\delta^{15}\text{N}$ varyasyonunun bir kısmını oluşturur (Schwarcz ve Schoeninger, 2011).

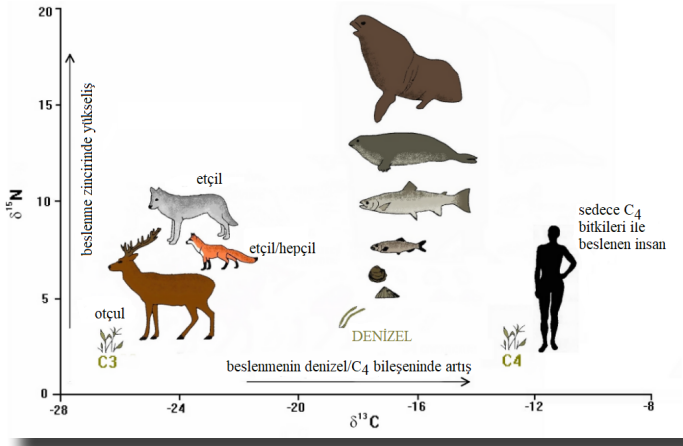
Karasal bitkilerin iki ana grubu vardır. Bunlar C_3 ve C_4 bitkileri olarak bilinirler. C_3 ve C_4 bitkilerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinde, çevresel faktörler (CO_2 konsantrasyonu, su mevcudiyeti, yağış, atmosferik nem, güneş ışığı, sıcaklık ve toprak pH'ı), büyüme formu (örneğin, yaprak dökken veya iğne yapraklı) ve genetik gibi çeşitli faktörler nedeniyle değişkenlik gözlenir (O'Leary, 1981, 1988; Ambrose, 1993). En yaygın görülen karasal bitkiler (buğday ve arpa gibi tahılların çoğu, pirinç, baklagiller, tüm kök bitkileri, sebzeler, kabuklu yemişler, bal ve meyveler dahil) C_3 grubudur (%90'ın üzerinde; Still vd., 2003; Hoefs, 2009) ve Calvin döngüsünü kullanarak CO_2 'yi metabolize ederler (O'Leary, 1981, 1988; Faure ve Mensing, 2005). C_3 grubu bitkiler, $^{13}\text{CO}_2$ 'ye karşı C_4 bitkilerinden daha fazla ayrımcılık yapar (O'Leary, 1981; Lee-Thorp, 2008). Küresel ortalaması kabaca %0-27 olan, ancak PDB ile karşılaştırıldığında yaklaşık %0-20 ile %0-35 arasında değişen $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptirler (O'Leary, 1981, 1988; Cerling vd., 1997; Faure ve Mensing, 2005; Lee-Thorp, 2008; Hoefs, 2009;). C_4 grubundaki

bitkiler, CO_2 'yi metabolize etmek için Hatch-Slack fotosentez yolunu kullanır ve suya veya çöle/kuraklığa adapte olmuş, tuzlu, bataklık ve tropik bölgelerde yetişen otları içerir (Sage vd., 1999; Faure ve Mensing, 2005). En yaygın olarak bilinen evcilleştirilmiş C_4 bitkileri (özellikle geçmiş insan beslenme alışkanlıklarıyla ilgili olarak), mısır ve şeker kamışından oluşan "Yeni Dünya ürünleridir (Ambrose, 1993; Sage vd., 1999; Lee-Thorp, 2008; Sage vd., 1999). Diğer taraftan, antik (ve modern) dönem Anadolu'sunda sorgum (*Sorghum bicolor*) ve darı (*Panicum miliaceum*) gibi türlerinin yanı sıra C_4 grubuna giren bazı yabancı otların da bulunduğu belirlenmiştir (Nesbitt ve Summers, 1988; Sage vd., 1999; Riehl, 2009; Szpak vd., 2013; Miller vd., 2016; Murphy, 2016; Herrscher vd., 2018). Darının, Geç Tunç Çağı, Demir Çağı ve Roma Dönemi gibi sonraki tarihsel dönemlerde tarımı yapılan başlıca ürünlerden biri haline geldiği bilinmektedir (Nesbitt ve Summers, 1988; Riehl, 2009; Stika ve Heiss, 2013; Miller vd., 2016; Murphy, 2016; Herrscher vd., 2018). C_4 grubundaki bitkilerin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, C_3 bitkilerinden daha az düşüktür ve bu nedenle daha az negatif $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptir (O'Leary, 1981); genellikle %0-6 ile %0-23 arasında yer alır ve küresel ortalama yaklaşık %0-13'dir (O'Leary, 1981, 1988; Cerling vd., 1997; Faure ve Mensing, 2005; Lee-Thorp, 2008; Szpak vd., 2013).

C_3 ve C_4 bitkilerinin (nispeten) ayırt edici değerleri (Şekil 1), bitki kaynaklarının nispi diyet girdisini tahmin edebilmemize olanak sağlar (bilinmesi gereken hafif bir zenginleşmenin bile bilgi verici olduğudur). Karasal ekosistemlerde kemik kolajeninde deki karbon izotop değerleri tüketilen bitkilerin $\delta^{13}\text{C}$ (‰) değerlerinden kabaca %4 daha pozitif olacaktır ve etoburlarda bu zenginleşme tükettikleri avdan yaklaşık %0,5 daha pozitif olma ile sonuçlanır (Drucker ve Bocherens, 2004; Hoefs, 2009). Genel olarak, kolajenin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin diyetten yaklaşık olarak %2-3 daha yüksek olduğu gözlenir (Schwarcz ve Schoeninger, 2011).



Şekil 1. C_3 ve C_4 bitkileri için $\delta^{13}\text{C}$ değerleri analizi. Cerling vd., 1997'den uyarlanmıştır.



Şekil 2. Karasal C_3 besin zincirinin, denizel besin zincirinin ve C_4 bitkilerinin değerleri ile beslenme zinciri basamakları boyunca tüketimlerinin etkilerini gösteren $\delta^{13}C$ 'ye karşı $\delta^{15}N$ 'nin yer aldığı iki değişkenli grafik. Schulting, 1998'den uyarlanmıştır.

Karışık (yani bitki ve hayvan proteini) karasal C_3 diyetini tüketen bir birey genellikle yaklaşık olarak ± 2 $\delta^{13}C$ ve takriben ± 2 $\delta^{15}N$ değerine sahip olacaktır. $\delta^{13}C$ değerlerinde (ancak $\delta^{15}N$ değerlerinde gözlenmeyen) bir artış, özellikle $\delta^{13}C > -18$ ise diyet C_4 bitkilerinin artan tüketimini öngörecektir. Hem $\delta^{13}C$ hem de $\delta^{15}N$ değerlerinde bir artış, özellikle $\delta^{13}C$ için $\delta^{13}C > -18$ ve $\delta^{15}N$ için $\delta^{15}N > 12$ ise diyet önemli bir deniz kaynağı bileşeni olduğunu gösterir.

Bununla birlikte, $\delta^{13}C$ değerleri trofik seviyenin doğru bir göstergesi olarak değerlendirilmez, çünkü zenginleştirme trofik seviyeler arasında sadece çok küçük miktarda değil (sadece ± 2 ila ± 1), aynı zamanda değişken de olabilir (McCutchan vd., 2003; Lee-Thorp, 2008). Hayvansal gıda kaynaklarının (koyun eti, sığır eti ve süt ürünleri gibi) $\delta^{13}C$ değerleri, hayvanın diyet girdilerinin karbon sabit izotop oranlarını yansıtacaktır (Chesson vd., 2011). Ağırlıklı olarak karasal C_3 bitkilerini ve aynı karasal C_3 bitkileriyle beslenen hayvanların et ve/veya sütünü tüketen bir bireyin yaklaşık olarak ± 2 $\delta^{13}C$ değerinde kemik kolajen $\delta^{13}C$ miktarına sahip olması beklenirken, daha yüksek oranda C_4 bitkileri (doğrudan veya bir hayvan vektörü aracılığıyla dolaylı olarak) tüketen insanlar daha pozitif değerlere sahip olacaktır; genellikle > -18 (Hedges, 2003; Lee-Thorp, 2008; Herrscher vd., 2018; Wang vd., 2019; Liu vd., 2020) (Şekil 2).

Karbon izotop oranları, deniz ve karasal kaynakların karbon izotop değerleri açısından önemli farklılıklar göstermesinden kaynaklı olarak, diyete deniz kökenli gıda etkisini belirlemek için de kullanılabilir (O'Leary, 1981; Hoefs, 2009). Yalnızca deniz proteini tüketen memeliler, sadece karasal bir diyet tüketenlerin aksine, daha fazla $\delta^{13}C$ zenginleşmesine sahiptir ve bu da yüksek $\delta^{13}C$ değerlerine neden olur; yani, daha çok pozitifdir (Lee-Thorp, 2008; Schwarcz ve Schoeninger, 2011). Bu, tüm proteinin deniz kaynaklarından elde edildiği bir diyete sahip bireylerde yaklaşık olarak ± 1 kolajen $\delta^{13}C$ değerlerinin oluşması anlamına gelir (Schoeninger

vd., 1983; Richards ve Hedges, 1999). Bununla birlikte, yalnızca C ve N kullanılarak karasal ve tatlı su kaynakları arasında ayırım yapmak bilindiği gibi zordur. Elde edilen değerler bir taraftan karasal $\delta^{13}C$ değerlerine benzerken diğer taraftan deniz organizmaları gibi yüksek $\delta^{15}N$ oranı gözlenir (Dufour vd., 1999). Sülfür izotop analizi ve ayrıca bireysel amino asit analizi yapmak bu sorunun çözülmesine katkıda bulunmaya başlamıştır (Krouse, 1980; Richards vd., 2001, 2003; Nehlich, 2015; Itahashi vd., 2017, 2019).

Azot izotop oranı ($\delta^{15}N$)

Hayvanların azot izotop bileşimi doğal olarak diyetlerinden etkilenmekle beraber, azot içeren bileşiklerin girdileri (yani gıda) ile çıktıları (yani, idrara çıkma ve dışkılama ve ayrıca yenmesi veya sağılması yoluyla atık atılımı) arasındaki dengeye bağlıdır (McCutchan vd., 2003; Faure ve Mensing, 2005;). Hayvan dokusu, diyet girdilerine göre ^{15}N bakımından zenginleştirilmiştir; ^{15}N zenginleştirilmesi besin zinciri boyunca ilerler ve ayrıca hayvanın yaşıyla birlikte artabilir (McCutchan vd., 2003; Faure ve Mensing, 2005; Lee-Thorp, 2008). Bu nedenle, $\delta^{15}N$ değerleri, organizmaların besin ağlarındaki konumuyla ilişkili protein alımındaki trofik seviye etkilerini yansıtır (choeninger ve DeNiro, 1984; Hoefs, 2009). Ayrıca, $\delta^{15}N$ değerlerindeki zenginleşme, aslında, beslenme zinciri içinde yükselen pozisyonla birlikte kademeli şekilde gerçekleşen bir artıştır (Lee-Thorp, 2008). Bu sonuçta kemik kolajenin deki $\delta^{15}N$ değerlerinin, beslenmeye proteinin katkısını ve kaynağını yansıttığı anlamına gelir. Örneğin, otçulların $\delta^{15}N$ değerleri, ^{14}N içeren amino asitlerin bağları, daha ağır ^{15}N izotopuna sahip olanlardan daha kolay koptuğu için, diyetlerine göre $\pm 2-5$ ile zenginleştirilmiş olmakla birlikte ^{15}N 'ye göre ^{14}N 'nin tercihli bir atılımı da anlamına gelir (Ambrose, 1993; Drucker ve Bocherens, 2004; Lee-Thorp, 2008). Bu, zamanla tüketicinin tükettiği gıdadan daha yüksek bir $^{15}N:^{14}N$ oranına sahip olmasına neden olur. Otçullarda ile tükettiği besinler arasında gözlemlendiği gibi trofik seviyedeki her yukarı doğru basamakta zenginleştirme kabaca $\pm 2-5$ miktarında gerçekleşir. Bu nedenle, etoburlar, $\delta^{15}N$ değerleri açısından avlarından yaklaşık $\pm 2-5$ daha yüksek zenginleştirme seviyeleri gösterirler (Lee-Thorp, 2008; Hoefs, 2009). McCutchan ve ekibi (2003) tarafından yürütülen kontrollü besleme deneyleri, N için ortalama trofik kaymanın ± 2 olmasına rağmen etoburlar ile yüksek proteinli diyetleri olan diğer tüketiciler de azot için trofik kaymanın daha yüksek bir değerde olabileceğini keşfetti. Bu özelliğin ve zenginleştirme değerinin bilinmesi, yalnızca bir bireyin göreceli $\delta^{15}N$ değerleri nedeniyle diğerinden daha yüksek et/hayvan proteini tüketimine sahip olduğunu veya proteinlerinin çoğunluğunun karasal, denizel

veya bitkisel kaynaklı olup olmadığını belirlemez, aynı zamanda, eğer aynı döneme tarihlenen hayvan kalıntıları bir yerel referans değer elde etmek için izotop olarak analiz edildiyse, beslenmede baskın olan ana hayvan türlerini de belirleyebilir. Et dışındaki hayvansal ürünlerden (süt, yumurta, peynir gibi) alınan proteinin $\delta^{15}\text{N}$ oranı, etten ayırt edici ölçüde farklı değildir (Steele ve Daniel, 1978).

Diğer taraftan, düşük $\delta^{15}\text{N}$ değerleri, düşük hayvansal protein tüketimi ve daha fazla bitki bazlı protein tüketimi ile ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte, trofik seviyeler arasındaki azotun kesirleşmesinde gözlenen değişkenlik sadece diyet protein alımından değil, aynı zamanda beslenme/protein stresinden, hastalıktan, çevreden ve hamilelikten de kaynaklanabilir (Katzenberg ve Lovell, 1999; Fuller vd., 2005; Reitsema, 2013). Kolajenden elde edilen beslenmenin izotop belirteci uzun vadeli bir ortalama olduğundan, söz konusu faktörlerin kemik kolajenindeki izotop değerleri etkilemeleri için genellikle kronik veya belirli bir süre boyunca devam etmesi gerekir.

Bir besin zinciri içinde oluşan seviye farklılıklarına göre değişen N izotop değerleri, azot izotop analizlerini aynı zamanda, deniz ürünü tüketimini belirlemek için de elverişli bir araç haline getirir (Schoeninger ve DeNiro, 1984; Walker ve DeNiro, 1986; Ambrose, 1993; Pollard vd., 2007; Hoefs, 2009). Deniz ürünü tüketen bireyler, karasal diyete bağlı olanlara göre daha zenginleştirilmiş $\delta^{15}\text{N}$ değerleri sergileme eğilimindedir (Pollard vd., 2007; Lee-Thorp, 2008;). Bunun nedeni sadece deniz ekosisteminde daha fazla trofik seviye olması değil (daha fazla N zenginleştirme seviyesi anlamına gelmesi değil) aynı zamanda deniz bitkilerinin $\delta^{15}\text{N}$ değerlerinin yaklaşık %7 civarında ortalamaya sahip olmasından kaynaklanır (karasal kökenli bitkilerin ortalama $\delta^{15}\text{N}$ değeri %4 civarındadır; Ambrose, 1993). Deniz omurgalıları tipik olarak karadaki muadillerine göre 15N açısından %6-9 daha fazla zenginleşme eğilimindedir (Schoeninger ve DeNiro, 1984; Tykot, 2004). Deniz kaynakları tüketicisinin $\delta^{15}\text{N}$ değerleri %12-20 aralığında yer almakla birlikte bazen değerler %20 ve hatta üzerinde olabilir (Tykot, 2004). $\delta^{15}\text{N}$ değerleri bir bireyin diyetindeki tatlı su kaynağı tüketimini belirlemek için de kullanılabilir. Tatlı su ortamlarında kemik kolajen $\delta^{15}\text{N}$ değerleri %12±2 civarında olma eğilimindedir (Budd vd., 2013). Sucul bitkilerin farklı CO₂ kaynaklarına erişimi olması ve balıkların yaşamları boyunca farklı habitatlar ve trofik seviyelerde bulunmaları nedeniyle tatlı su balıklarının sabit izotop oranlarında yüksek bir değişkenlik vardır (Dufour vd., 1999; Drucker ve Bocherens, 2004). Bu, önceden açıklandığı gibi, kayda değer miktarda karasal protein kaynakları tüketicisinin, tatlı su gıda kaynağı tüketen bir birey ile benzer $\delta^{15}\text{N}$ değerlerine sahip olabileceği anlamına gelir (Drucker ve Bocherens, 2004). Bu nedenle, analiz sonuçları,

kükürt izotop analizi gibi diğer yöntemler, yerleşimin tatlı su kaynağının yanında yer alması ve tatlı su gıda kaynaklarının arkeozoolojik kanıtları gibi diğer alanlardan gelen verilerle ilişkilendirilmedikçe tatlı su kaynaklarının tüketimini belirlemek zor olabilir.

Zenginleşmiş $\delta^{15}\text{N}$ değerleri sadece deniz kaynaklarının tüketilmesi, yüksek protein alımı ve emzirmenin sonucu oluşmaz. Gözlenen yüksek değerler, aynı zamanda, bir taraftan ekinlerin hayvan dışkılarıyla ve/veya suni olarak gübrenmesi, azot döngüsünü bozan toprağın işlenmesi gibi çiftçilik uygulamaları ve/veya hayvanların önceden gübrenmiş tarlalarda otlatılmasının (bu durum toprağın ve bitkilerin $\delta^{15}\text{N}$ değerlerini, sadece otlayan hayvanların dışkılama yoluyla artırmasından daha çok yükseltir) bir sonucu olarak oluşabilir ve böylelikle artan hayvan $\delta^{15}\text{N}$ değerleri daha yüksek insan izotop değerlerinin oluşmasına yol açabilir (Bogaard vd., 2007, 2013). Sıcak ve kurak çevreler de zenginleşmiş $\delta^{15}\text{N}$ değerlerinin sergilenmesine neden olabilir (Ambrose, 1993). Kurak bölgelerde yağış miktarı azaldığında $\delta^{15}\text{N}$ değerlerinin arttığı kaydedilmiştir (Ambrose, 1993; Schwarcz ve Schoeninger, 2011). Bunun nedeni su stresi yaşayan organizmalardır (Ambrose, 1993). Tuzlu veya guano (kuş gübresi) gübrenmiş topraklarda büyüyen bitkiler de çok yüksek $\delta^{15}\text{N}$ değerlerine sahip olurlar (Britton vd., 2008; Müldner vd., 2014).

Tüketici canlılarda biriken azot izotop değerleri, sadece hayvansal protein alımının bir sonucu olmayıp, bitkisel protein alımı kaynaklı da olabilir. Bir bireyin ömrü boyunca belirli bir bitki türüne bağımlılığı, $\delta^{15}\text{N}$ değerlerini etkileyebilir. Örneğin baklagiller (tümü C₃ bitkileridir), azotu, $\delta^{15}\text{N}$ değeri %0 olan atmosferik N₂'yi doğrudan sabitleyerek elde ettikleri için %0'a yakın $\delta^{15}\text{N}$ değerleri sergiler (Katzenberg, 1992). Çünkü, baklagiller (örneğin fasulye, bezelye, yerfıstığı ve yonca gibi), atmosferik N₂'yi doğrudan sabitleyen *Rhizobium* bakterileri ile simbiyotik bir ilişki içinde olduklarından azotu hazır halde alırlar (Brill, 1977). Bu, bir birey yaşamı boyunca beslenmesine çok fazla baklagiller dahil ediyorsa ve diyetinin bir parçası olarak hayvansal proteini tüketseler bile beklenmedik şekilde düşük $\delta^{15}\text{N}$ değeri sergileyebileceği anlamına gelir (Lösch vd., 2006). Ayrıca, bu tür çalışmalar yapılırken ortalama yıllık sıcaklık ile $\delta^{15}\text{N}$ değerleri arasında pozitif bir korelasyon ve yerel yağış ve/veya su mevcudiyeti ile $\delta^{15}\text{N}$ değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğu gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır (Szpak vd., 2013). Sonuç olarak, geçmiş insan beslenme alışkanlıklarını yeniden oluştururken bitki ve hayvanların olası $\delta^{15}\text{N}$ değerlerini göz önünde bulundurmak gereklidir.

Örnek hazırlama ve analiz

Karbon ve azot izotopları, kemik ve diş dentinin de bulunan kolajenden, kan (plazma ve hücreler), idrar,

dışkı, tırnak, saç, yumuşak doku, yağ, iç organlar gibi hayvanlardan elde edilen organik dokulardan ve ayrıca kemik ve diş minesinin inorganik kısımlardan analiz edilerek çalışılabilir (Ambrose, 1993). Bununla birlikte, Türkiye’de yürütülen arkeolojik kazılardan iyi korunmuş yumuşak doku buluntusu nadir olarak bildirilmiştir. Arkeolojik bağlamlarda bulunan en yaygın insan ve hayvan organik kalıntısı kemiktir. Kolajen, diyajenez sürecinden kemiğin inorganik kısmına göre daha az etkilenir (Ambrose, 1993). Dolayısıyla, bu çalışmada, C ve N’nin sabit izotoplarının yığın halindeki kemik kolajeninden elde edilmesine odaklanmaktadır. C ve N’nin sabit izotopları, botanik/bitki materyaline, özellikle tohum ve odun kömürüne de uygulanabilir. Yerel çevresel ve paleoklimsel koşulları yeniden yapılandırmak ve (ekili) tarım uygulamalarını araştırmak için C ve N’nin sabit izotoplarının botanik kalıntılara uygulanması sonraki bir makalede daha derinlemesine ele alınacaktır (Irvine ve Özdemir, yakında).

Arkeolojik kemikten örnek hazırlama ve kolajen özütlemesi (ekstraksiyonu) için en yaygın olarak kullanılan protokol, aslında modifiye edilmiş bir Longin (1971) yöntemidir (Ambrose, 1990; Brown vd., 1988; Richard ve Hedges, 1999; Talamo vd., 2021). Protokolü kısaca özetlemek gerekirse, kemik mekanik olarak görünür kontaminasyonundan temizlenir ve ardından 0,5M HCl içinde demineralize edilir. Örnek, daha sonra 48 saat boyunca 70°C’de ısıtma bloğunda hafif asidik (pH 3) su içinde çözünürleştirmeye (jelatinleştirme) tabi tutulur. Sonrasında, partiküllü organik maddeyi uzaklaştırmak için çözelti Ezee filtresi kullanılarak süzülür. Elde edilen sıvıdan, tüm sıvıyı uzaklaştırmak için örnek önce derin dondurucuda dondurulur, sonrasında 24 saat boyunca dondurarak kurutma işlemi için *freeze-dryer*’a yerleştirilir. İşlem sonucunda geriye kolajenden dışında hiçbir şey kalmaz. Bazen Ezee filtre aşamasından sonra kolajeni saflaştırdığı ve böylece sonuçları iyileştirdiği için protokole ek bir ultrafiltrasyon adımı eklenir (Brown vd., 1988; Talamo vd., 2021). Genellikle, 0,5 ila 1 mg kolajen, dokuların doğrudan CO₂ ve N₂ gazlarına tabii tutularak yakılmasından ve İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) kullanılarak C ve N izotop oranlarının ölçülmesinden önce kalay kapsüller içinde tartılır (Ambrose, 1993; Faure ve Mensing, 2005; Pollard vd., 2007; Lee-Thorp, 2008; Hoefs, 2009).

Kolajenin C ve N izotop oranlarını incelerken, önceden kabul edilmiş kalite kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, atomik C:N değeri 2,9’dan düşük veya 3,6’dan yüksek olan kolajenin, %C değerinin %10-47 aralığı, %N değerinin ise %5-17 aralığının dışında olması, örneğin kontamine olduğunu veya diyajenezden etkilendiği kabul edilir ve söz konusu örnek yapılması planlanan istatistiksel analizlere ve diğer yorumlamalara katılmaz (DeNiro, 1985; Ambrose,

1990; van Klinken, 1999). Bununla birlikte, daha yeni bir çalışma da, kalite kriterlerinden biri olan C:N için biraz daha dar bir aralık önerilmiş (3,00 ila 3,30) ve oranın sayısal olarak ifadesinde bir yerine iki ondalık basamak kullanılması tavsiye edilmiştir (Guiry ve Szpak, 2021). Yakın zamanda yapılan bir başka çalışma, biraz daha ileri gitmiş ve 3,243’lük bir C:N değerinin insan kemik kolajeni için ideal değer olduğunu ve bundan daha yüksek değerlerin muhtemelen hüyük madde ile kontaminasyondan kaynaklandığını, daha düşük değerlerin ise amino asitlerin seçici kaybından dolayı gerçekleştiğini öne sürmüştür. (Schwarz ve Nahal, 2021).

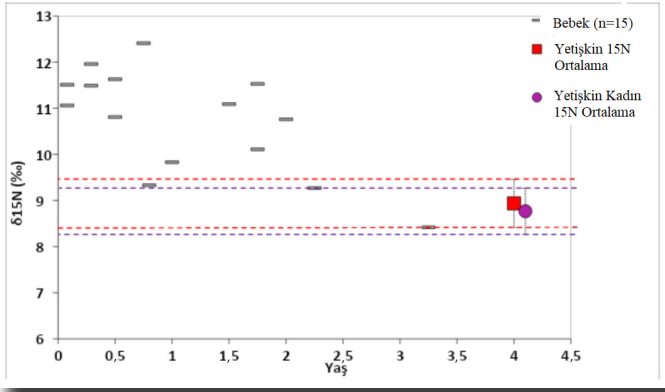
$\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{15}\text{N}$ değerleri genellikle yatay x ekseninde $\delta^{13}\text{C}$ ve dikey y ekseninde $\delta^{15}\text{N}$ yer alacak şekilde iki değişkenli bir düzlem üzerinde birbirlerine karşı çizilerek görselleştirilir (Şekil 2).

Karbon ve azot izotop analizinin arkeolojik araştırmalara uygulanması

İnsan paleodiyetinin yeniden yapılandırılması

Kemik kolajeninin izotop ölçümüne dayalı olarak yürütülen beslenme alışkanlıklarını yeniden yapılandırması çalışmalarında elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin analizi genellikle $\delta^{15}\text{N}$ değerleri ile birlikte yorumlanır (Pollard vd., 2007). Etnografik, yazılı kayıtlar, arkeozoolojik ve arkeobotanik kalıntıların analizi gibi yöntemler bize hangi kaynakların çevrede mevcut olduğuna dair bilgiler verirken, sabit izotop analizleri tüketilen gıdaların geniş kategorilerinin doğrudan bir ölçümünü sağlar (Lee-Thorp, 2008). Başka bir deyişle, insan kemiğinden ekstrakte edilen proteinin (kolajen) sabit izotop analizi, insanın yaşamı boyunca sahip olduğu diyet hakkında doğrudan veri sağlar (Triantaphyllou vd., 2006). Karbon ve azot izotop oranları gıda kategorisine göre değişir ve bu farklılıklar insan ve hayvan vücut dokusunda kaydedilir. Bir bireyin yaşamı boyunca diyetinin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağlayan da, genellikle bu belirgin olarak farklılaşmış aralıklardır (Ambrose, 1993; Lee-Thorp, 2008; Schwarcz ve Schöniger, 2011). İnsanın geçmiş beslenme alışkanlıklarını anlama; sosyo-kültürel ve sosyo-politik faktörleri, geçmiş ekonomik sistemleri, geçim ve tarımsal uygulamaları ile bölgesel/çevresel ve artzamanlı farklılıkları ve değişiklikleri daha iyi anlamamıza da olanak sağladığı için biyoarkeolojinin önemli bir çalışma alanıdır.

Örneğin, sabit izotop analizleri kullanılarak küresel olarak iyi çalışılan insan beslenme alışkanlıklarının bir yönü, Neolitikleşme sürecinin başlamasıyla birlikte avcı-toplayıcılıktan yerleşik tarım uygulamalarına geçiştir. Türkiye’de günümüze kadar yayınlanmış tüm izotop çalışmalarının %41’i Neolitik döneme odaklanmaktadır ve yayınlanmış tüm izotop çalışmalarının %35’i insan beslenme alışkanlıklarına vurgu yapmaktadır. Türkiye’de



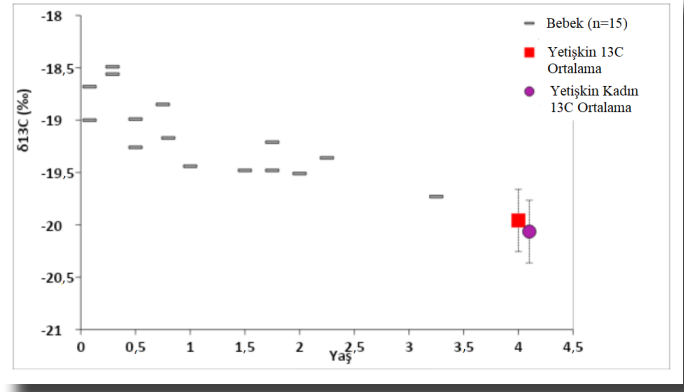
Şekil 3. İkiztepe'den yetişkin yaş altı bireylerin $\delta^{15}\text{N}$ değerlerinin yaşa göre dağılımı. Kırmızı ve mor kesik çizgiler, sırasıyla İkiztepe yetişkin ve yetişkin kadınların ortalamaları etrafındaki standart sapma aralığını temsil etmektedir. Bu örnekteki $\delta^{15}\text{N}$ değerleri yetişkin (kadın) ortalaması aralığında yer aldığı için süttten kesme sürecinin ve emzirmenin kesilmesinin yaklaşık olarak 2 yaşına kadar tamamlanmış olabileceği önerilmiştir. Özdemir vd., 2019'dan uyarlanmıştır.

yapılmış izotop araştırmalarına ilişkin ayrıntılı bir genel bakış için Irvine ve Özdemir'in 2020 tarihli yayını incelenebilir. Türkiye'de yürütülen izotop çalışmalarında her ne kadar Neolitik Çağ'a odaklananlar baskın olmakla birlikte, Kalkolitik, Tunç Çağı, Demir Çağı ve Klasik, Roma ve Bizans Dönemlerini konu edinen araştırmalar da bulunmaktadır (Irvine ve Özdemir, 2020). Ayrıca, çeşitli tamamlama aşamaları devam eden birkaç çalışma daha bulunmaktadır. Bu çalışmalar, topluluk içi, popülasyonlar arası, bölgeler arası ve artzamanlı gibi farklı ölçeklerde yürütüldüğünden, Anadolu'da geçmiş insan beslenme alışkanlıklarını ve eski toplulukların geçim ve tarım stratejilerini anlamamıza önemli ölçüde katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmaların işaret ettiği ve burada değinilmesi gereken önemli bulgulardan biri, özellikle geçmiş insan beslenmesini yeniden oluştururken yerel referans değerlerin gerekliliğidir. Bir yerleşim alanının ve/veya bölgenin izotop temel çizgilerini (*isoscapes*) oluşturmak, insanın beslenme alışkanlıklarının yanı sıra geçim ve tarım stratejilerini daha iyi anlamamızı sağlar. Belirli bir bölgedeki veya belirli bir alandaki bitki ve hayvanların izotop değerlerini bilirsek, yalnızca çevredeki antropojenik etki ile ürün ve sürü yönetimi hakkında daha fazla bilgi elde etmeyiz, aynı zamanda sosyal (örn. statü) ve demografik (örn. yaş, cinsiyet) varyasyonlar göz önüne alındığında insan beslenme alışkanlıklarının nasıl farklılaştığını daha iyi anlayabiliriz.

Tamamlayıcı gıdaların beslenmeye girişi ve süttten kesme süreci

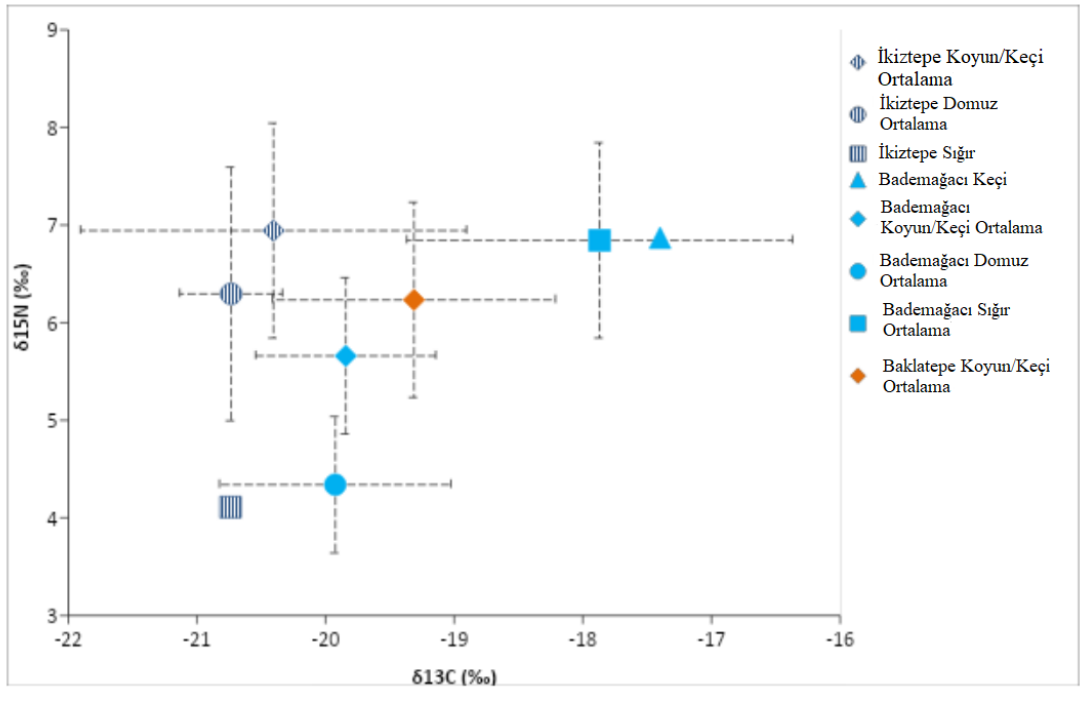
$\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{15}\text{N}$ değerlerinin analizi, yalnızca diyet proteininin kaynakları ve diyete katkısı hakkında fikir vermekle kalmaz, aynı zamanda cinsiyet ve/veya



Şekil 4. İkiztepe'den yetişkin yaş altı bireylerin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin yaşa göre dağılımı. Bu örnekteki yetişkin yaş altı bireylerin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin yetişkinlerin ortalamalarına doğru düşmeye başlamasından yola çıkarak, süttten kesme sürecinin ve tamamlayıcı beslemenin muhtemelen 0,5 yaş civarında başladığını öne sürülmüştür. Özdemir vd., 2019'dan uyarlanmıştır.

yaş farklılıklarına/çeşitliliğine göre değişebilen diyet bileşiminin izotop belirteçlerini de sağlayabilir. Bu bilginin en yaygın kullanıldığı alanlardan biri, kültürel olarak spesifik süttten kesme uygulamalarını incelemektir. Ek gıdaların bebek beslenmesine girmesini ve böylelikle süttten kesme sürecinin başlamasını ve ardından emzirmenin kesilmesiyle bu sürecin tamamlanmasını incelemek için $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{15}\text{N}$ değerleri kullanılmaktadır (Fogel vd., 1989; Katzenberg vd., 1993; Fuller vd., 2006; Pearson vd., 2010; Tsutaya ve Yoneda, 2015; Beaumont vd., 2018; Özdemir vd., 2019; Stantis vd., 2020). Bu, temel olarak anne sütü ile beslenen bebeklerin, yetişkin (kadın) popülasyonu ortalamasına kıyasla, $\delta^{15}\text{N}$ değerlerinin yaklaşık olarak ‰3-5 ve $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin takriben ‰1 miktarında zenginleştiği için mümkündür. (Fogel vd., 1989; Katzenberg vd., 1993; Fuller vd., 2006; Pearson vd., 2010; Beaumont vd., 2018; Özdemir vd., 2019; Stantis vd., 2020; ayrıca bkz. Şekil 3 ve 4). Süttten kesme sürecinde, ek gıdaların beslenmeye girişiyle beraber, $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinde zenginleşme ve $\delta^{15}\text{N}$ değerlerinde azalma gözlenir ve böylelikle yetişkin yaş altı bireylerin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{15}\text{N}$ değerleri, emzirmenin kesildiğini ve süttten kesme sürecinin sona erdiğine işaret eden bir şekilde, yetişkin nüfusun ortalaması ile aynı seviyeye gelir (Fogel vd., 1989; Katzenberg vd., 1993; Fuller vd., 2006; Tsutaya ve Yoneda, 2015; Beaumont vd., 2018; Özdemir vd., 2019; ayrıca bkz. Şekil 3 ve 4). Anadolu ve Orta Doğu arkeolojik popülasyonları üzerine yakın zamanda yapılan bazı araştırmalar, süttten kesme sürecinin daha doğru bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için WARN (*Weaning Age Reconstruction with Nitrogen isotope analysis*; Azot İzotop Analizi ile Süttten Kesme Yaşının Yapılandırılması) istatistiksel modellemesinin sabit izotop verilerine uygulanmasının faydalı olacağını göstermiştir (Özdemir vd., 2019; Stantis vd., 2020).

Bu nedenle, izotop verilerdeki bu gözlemleri



Şekil 5. Erken Tunç Çağı'na tarihlenen İkiztepe, Bademağacı ve Bakla Tepe yerleşim alanlarından elde edilen evcil hayvanlara ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{15}\text{N}$ oranlarının ortalama değerleri ve standart sapmaları. Aynı alandan ele geçen hayvanlara ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{15}\text{N}$ değerlerindeki farklılıklara dikkat edin. Örneğin, Bademağacı yerleşkesinden ele geçen sığır ve keçilerin daha pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, bu hayvanların beslenmesinin önemli oranda C_4 bitkisi tüketimine dayandığını gösterir. Bu da yerleşimden uzakta gerçekleşen otlatmayı düşündürür. Irvine vd., 2019'dan uyarlanmıştır.

takiben, tamamlayıcı beslenmenin başlangıcını (yani, sütten kesme sürecinin başlangıcı) ve sütten kesme süreci ve emzirmenin ne zaman sona erdiğini, hem birey bazında hem de topluluk için tahmin etmek mümkündür. Elde edilen sonuçlar, sosyo-kültürel ve sosyo-ekonomik faktörleri anlamak için de önemlidir. Ek olarak, analizler, doğurganlık, doğum aralığı, bebek ve çocuk ölüm oranı ve nüfus demografisi gibi konulara dair değerli bilgileri de ortaya çıkarabilir.

Hayvancılık uygulamaları

Karbon ve azotun sabit izotopları, örneklenen hayvanların beslenme örüntüsünü belirleme yoluyla, geçmiş toplulukların hayvan yönetim stratejilerini ve insan-hayvan ilişkilerini anlamak için de kullanılır. Hayvanlarda $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{15}\text{N}$ oranlarının farklı değerleri, dağılımı ve aralığı, değişen diyet kaynakları hakkında ve dolayısıyla farklı beslenme stratejileri ve yönetim uygulamaları hakkında fikir verebilir (Makarewicz, 2016). Örneğin bu stratejiler farklı miktarlarda C_3 veya C_4 bitkilerinin tüketilmesi, ekini biçilmiş veya biçilmemiş (gübrelenmiş veya gübrelenmemiş tarlalar olabilir) alanlarda otlatma, denizel (kıyı bölgesi), tatlı su, nehir ağzı veya karasal gibi farklı çevrelerde beslenme, yemleme, kışlak otlatma, ağıda beslenme, açık alanda otlatma, yaylacılık ve hayvancılık ve beslenme zinciri içindeki basamağın tespit (tüketici izotop değerleri üzerindeki

etkileri dahil) gibi doğal veya antropojenik etkileşim faktörlerini içerebilir. Ayrıca, çevresel ve paleoiklimsel yeniden yapılanma için gösterge veri olabilir (Pearson vd., 2007; Makarewicz, 2016, 2017; Middleton, 2018).

Anadolu'da yürütülen çalışmalarda analiz edilen faunal kalıntılardan elde edilen izotop değerlerindeki spesifik aralıkların, geçmiş topluluklar tarafından uygulanan farklı hayvan yönetim stratejilerine işaret ettiği gösterilmiştir. Ayrıca, elde edilen bulgular, farklı çevrelerde ve zaman içinde farklı türleri farklı otlatma, gütmeye, yemleme ve yiyecek arama stratejileri dahil olmak üzere topluluk tarafından tercih edilen hayvancılık uygulamalarını önermek için de kullanılmıştır. Bu durum, Orta Anadolu'nun güneyindeki Neolitik Çağa tarihlenen yerleşimlerinde (Pearson vd., 2007; Middleton, 2018), Orta Anadolu'nun kuzeyinde yer alan Çorum ilindeki Geç Kalkolitik Dönem'e ait Çamlıbel Tarlası'nda (Pickard vd., 2016), Doğu Anadolu'da yer alan Malatya ili sınırları içinde bulunan Geç Kalkolitik ve Tunç Çağı'na tarihlenen Arslantepe'de (Iacumin vd., 2021) ve Anadolu'nun çeşitli Erken Tunç Çağı tarihli yerleşimlerinde (Irvine vd., 2019; Irvine ve Erdal, 2020; ayrıca bkz. Şekil 5) gözlenmiştir.

Sonuç

Sonuç olarak bakıldığında Sinop Kefevi toplumunda tespit edilen LCP'nin ileri erişkin kadın bireye ait

olduğu ve sadece sol femuru etkilediği görülmektedir. LCP'nin etiolojisi tam olarak bilinmemekle birlikte oluşumunda genetik ve çevresel faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir. MTR toplumunda tespit edilen LCP'li birey ilerleyen yaşlara kadar yaşamını sürdürmüştür, ancak kaliteli bir yaşamdan bahsetmek mümkün değildir. LCP hem femuru hem de asetabulumu oldukça etkilemiş ve sonuçlar osteometrik ölçümlerle de ortaya konmuştur. Antik dönem toplumlarında oldukça az rastlanılan bu patolojiye dair MTR toplumundan elde edilen bulguların literatüre oldukça önemli katkısının olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar Türkiye'de yürütülen sabit izotop çalışmalarına verdiği destek ve katkıdan dolayı Hacettepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Yılmaz Selim Erdal'a minnettardır. Yazarlar, ayrıca, şekillerin düzenlenmesine verdiği katkıdan dolayı Mustafa Çalkıcı'ya teşekkür eder.

Kaynakça

- Ambrose, S. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*, 17(4), 431-451. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(90\)90007-R](https://doi.org/10.1016/0305-4403(90)90007-R)
- Ambrose, S. H. (1993). Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations. M. K. Sandford (Ed.) içinde, *Investigations of ancient human tissue: Chemical analyses in anthropology* (s. 59-130). Gordon and Breach.
- Ambrose, S. H., ve Krigbaum, J. (2003). Bone chemistry and bioarchaeology. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22: 193-199. [https://doi.org/10.1016/S0278-4165\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S0278-4165(03)00033-3)
- Ambrose S. H., ve Norr, L. (1993). Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate. J. B. Lambert ve G. Grupe (Ed.) içinde, *Prehistoric human bone—Archaeology at the molecular level* (s. 1-37). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-02894-0_1
- Beaumont, J., Atkins, E.-C., Buckberry, J., Haydock, H., Horne, P., Howcroft, R., Mackenzie, K., ve Montgomery, J. (2018). Comparing apples and oranges: Why infant bone collagen may not reflect dietary intake in the same way as dentine collagen. *American Journal of Physical Anthropology*, 167(3), 524-540. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23682>
- Bogaard, A., Heaton, T. H. E., Poulton, P., ve Merbach, I. (2007). The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: Archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *Journal of Archaeological Science*, 34(3), 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.04.009>
- Bogaard, A., Fraser, R., Heaton, T. H. E., Wallace, M., Vaiglova, P., Charles, M., G. Jones, Evershed, R.P., Styring, A.K., Andersen, N.H., Arbogast, R.-M., Bartosiewicz, L., Gardeisen, A., Kanstrup, M., Maier, U., Marinova, E., Ninov, L., Schäfer, M., ve Stephan, E. (2013). Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 12589-12594. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305918110>
- Brill, W. J. (1977). Biological nitrogen fixation. N. Kretchmer ve W. Robertson (Ed.) içinde, *Human nutrition: Readings from Scientific American* (s. 18-27). W. H. Freeman and Company.
- Britton, K., Müldner, G., ve Bell, M. (2008). Stable isotopic evidence for salt-marsh grazing in the Bronze Age Severn Estuary, UK: Implications for palaeodietary analysis at coastal sites. *Journal of Archaeological Science*, 35(8), 2111-2118. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.01.012>
- Brown, T.A., Nelson, D.E., Vogel, J. S., ve Southon, J. R. (1988). Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarbon*, 30(2), 171-177. <https://doi.org/10.1017/S0033822200044118>
- Budd, C., Lillie, M., Alpaslan-Roodenberg, S., Karul, N., ve Pinhasi, R. (2013). Stable isotope analysis of Neolithic and Chalcolithic populations from Aktopraklık, northern Anatolia. *Journal of Archaeological Science*, 40(2), 860-867. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.09.011>
- Cerling, T. E., Harris, J. M., MacFadden B. J., Leakey, M. G., Quade, J., Eisenmann, V., ve Ehleringer, J. R. (1997). Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. *Nature*, (389), 153-158. <https://doi.org/10.1038/38229>
- Craig, H. (1953). The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 3(2-3), 53-92. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(53\)90001-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(53)90001-5)
- Craig, H. (1957). Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 12(1-2), 133-149. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(57\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(57)90024-8)
- Chesson, L. A., Ehleringer, J. R., ve Cerling, T.E. (2011). Light-element isotopes (H, C, N, and O) as tracers of human diet: A case study on fast food meals. M. Baskaran (Ed.) içinde, *Handbook of environmental isotope geochemistry* (s. 706-723). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10637-8_33
- DeNiro, M. J., ve Epstein, S. (1978). Influences of diet on the carbon isotope distribution in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(5), 495-506. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90199-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90199-0)
- DeNiro, M. J. (1985). Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature*, (317), 806-809. <https://doi.org/10.1038/317806a0>
- Dufour, E., Bocherens, H., ve Mariotti, A. (1999). Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish. *Journal of Archaeological Science*, 26(6), 617-627. <https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0379>
- Eastoe, J. E. (1955). The amino acid composition of mammalian collagen and gelatin. *Biochemical Journal*, 61(4), 589-600. <https://doi.org/10.1042/bj0610589>
- Eastoe, J. E. (1957). The amino acid composition of fish collagen and gelatin. *Biochemical Journal*, 65(2), 363-368. <https://doi.org/10.1042/bj0650363>
- Eastoe, J. E. (1967). Composition of collagen and allied proteins. G. N. Ramachandran (Ed.) içinde, *Treatise on Collagen* (s. 1-72). Academic Press.

- Faure, G., ve Mensing, T. M. (2005). *Isotopes: Principles and applications*, 3rd edition. John Wiley & Sons.
- Fiorentino, G., Ferrio, J. P., Bogaard, A., Araus, J. L., ve Riehl, S. (2015). Stable isotopes in archaeobotanical research. *Vegetation History and Archaeobotany*, (24), 215-227. <https://doi.org/10.1007/s00334-014-0492-9>
- Fogel, M. L., Tuross, N., ve Owsley, D. (1989). Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. *Annual Report of the Director of the Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington, 1988-1999*, 111-116.
- Fuller, B. T., Fuller, J. L., Sage, N. E., Harris, D. A., O'Connell, T. C., ve Hedges, R. E. M. (2005). Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during nutritional stress. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 19(18), 2497-2506. <https://doi.org/10.1002/rcm.2090>
- Fuller, B. T., Fuller, J. L., Harris, D. A., ve Hedges, R. E. M. (2006). Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. *American Journal of Physical Anthropology*, 129(2), 279-293. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20249>
- Guiry, E.J., Szpak, P. (2021). Improved quality control criteria for stable carbon and nitrogen isotope measurements of ancient bone collagen. *Journal of Archaeological Science*, 132, 105416. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105416>
- Hall, R.A. (1967). Those late corn dates: isotopic fractionation as a source of error in carbon-14 dates. *Michigan Archaeologist* 13(4), 171-180.
- Hedges, R. E. M. (2003). On bone collagen—Apatite-carbonate isotopic relationships. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13(1-2), 66-79. <https://doi.org/10.1002/oa.660>
- Herrscher, E., André, G., Bodet, C., Chataigner, C., Decaix, A., Goude, G., Hamon, C., Le Mort, F., Lyonnet, B., Martin, L., Messenger, E., Oberlin, C., Ollivier, V., Poulmarc'h, M., Sermet, C., ve Vila, E. (2018). The origins of millet cultivation in the Caucasus: Archaeological and archaeometric approaches. *Préhistoires Méditerranéenne*, 6, 48-75. <http://journals.openedition.org/pm/1367>
- Hoefs, J. (2009). *Stable isotope geochemistry*, 6th Edition. Springer-Verlag.
- Iacumin, P., Balossi Restelli, F., Macrì, A., ve Di Matteo, A. (2021). Animal husbandry at Arslantepe from the 5th to the 1st millennium BCE: An isotope approach. *Quaternary International*, 574, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.050>
- Irvine, B., ve Erdal, Y. S. (2020). Multi-isotopic analysis of dietary habits and mobility at third millennium BC Bakla Tepe, West Anatolia. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12, 111. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01078-2>
- Irvine, B., ve Özdemir, K. (2020). Biogeochemical approaches to bioarchaeological research in Turkey: A review. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*, 8(2), 174-199. <https://doi.org/10.5325/jeastmedarcherstu.8.2.0174>
- Irvine, B., Erdal, Y. S., ve 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*, 24, 253-263. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.01.015>
- Itahashi, Y., Miyake, Y., Maeda, O., Kondo, O., Hongo, H., Van Neer, W., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N., ve Yoneda, M. (2017). Preference for fish in a Neolithic hunter-gatherer community of the upper Tigris, elucidated by amino acid $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Journal of Archaeological Science*, 82, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.05.001>
- Itahashi, Y., Erdal, Y.S., Tekin, H., Omar, L., Miyake, Y., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N., ve Yoneda, M. (2019). Amino acid ^{15}N analysis reveals change in the importance of freshwater resources between the hunter-gatherer and farmer in the Neolithic upper Tigris. *American Journal of Physical Anthropology*, 168(4), 676-686. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23783>
- Jaouen, K., ve Pons, M.-L. (2017). Potential of non-traditional isotope studies for bioarchaeology. *Archaeological and Anthropological Science*, 9, 1389-1404. <https://doi.org/10.1007/s12520-016-0426-9>.
- Jim, S., Ambrose, S.H., ve Evershed, R.P. (2004). Stable carbon isotopic evidence for differences in the dietary origin of bone cholesterol, collagen and apatite: Implications for their use in palaeodietary reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(1), 61-72. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(03\)00216-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00216-3)
- Katzenberg, M. A. (1992). Advances in Stable Isotope Analysis of Prehistoric Bones. S. R. Saunders ve M. A. Katzenberg (Ed.) içinde, *Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods* (s. 105-119). Wiley-Liss.
- Katzenberg, M. A. (2008). Stable isotope analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history. M. A. Katzenberg ve S.R. Saunders (Eds) içinde, *Biological anthropology of the human skeleton* (s. 413-441). John Wiley and Sons.
- Katzenberg, M. A., ve Lovell, N. C. (1999). Stable isotope variation in pathological bone. *International Journal of Osteoarchaeology*, 9(5), 316-324. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1212\(199909/10\)9:5<316::AID-OA500>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1212(199909/10)9:5<316::AID-OA500>3.0.CO;2-D)
- Katzenberg, M. A., Saunders, S.R., ve Fitzgerald, W. R. (1993). Age differences in stable carbon and nitrogen isotope ratios in a population of prehistoric maize horticulturists. *American Journal of Physical Anthropology*, 90(3), 267-281. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330900302>
- Krouse, H.R. (1980). Sulphur isotopes in our environment. P. Fritz ve J. C. Fontes (Ed.) içinde, *Handbook of environmental isotope Geochemistry I: The terrestrial environment* (s. 435-471). Elsevier.
- Lee-Thorp, J. A. (2008). On isotopes and old bones. *Archaeometry*, 50(6), 925-950. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00441.x>
- Lee-Thorp, J. A., Sponheimer, M., ve Van der Merwe, N. J. (2003). What do stable isotopes tell us about hominid dietary and ecological niches in the Pliocene? *International Journal of Osteoarchaeology*, 13(1-2), 104-113. <https://doi.org/10.1002/oa.659>
- Liu, R., Pollard, M., Schulting, R., Rawson, J., Liu, C. (2020). Synthesis of stable isotopic data for human bone collagen: a study of the broad dietary patterns across

- ancient China. *The Holocene*, 31(2), 302-312. <https://doi.org/10.1177/0959683620941168>
- Longin, R. (1971). New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*, 230, 241-242. <https://doi.org/10.1038/230241a0>
- Lösch, S., Grupe, G., Peters, J. (2006). Stable isotopes and dietary adaptations in humans and animals at pre-pottery Neolithic Nevalı Çori, southeast Anatolia. *American Journal of Physical Anthropology*, 131(2), 181-193. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20395>
- Makarewicz, C. A. (2016). Toward an integrated isotope zooarchaeology. G. Grupe ve G. McGlynn (Ed.) içinde, *Isotopic landscapes in bioarchaeology* (s. 189-209). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48339-8_11
- Makarewicz, C. A. (2017). Stable isotopes in pastoralist archaeology as indicators of diet, mobility, and animal husbandry practices. K. Kristian, E. Bánffy, P. Attema, A. R. Ventresca Miller ve C. A. Makarewicz (Ed.) içinde, *Isotopic investigations of pastoralism in prehistory* (s. 141-158). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315143026-10>
- Makarewicz, C.A., Sealy, J. (2015). Dietary reconstruction, mobility, and the analysis of ancient skeletal tissues: Expanding the prospects of stable isotope research in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 56, 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.035>
- Mariotti, A. (1983). Atmospheric nitrogen as a reliable standard for natural ¹⁵N abundance measurements. *Nature*, 303, 685-687. <https://doi.org/10.1038/303685a0>
- McCutchan, J. H., Lewis, W. M., Kendall, C., ve McGrath, C.C. (2003). Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *OIKOS*, 102(2), 378-390. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12098.x>
- McKinney, A. R., McCrea, J. M., Epstein, S., Allen, H. A., ve Urey, H.C. (1950). Improvements in mass spectrometry for the measurement of small differences in isotope abundance ratios. *Revue of Scientific Instruments*, 21(8), 724-730. <https://doi.org/10.1063/1.1745698>
- Middleton, C. (2018). The beginning of herding and animal management: The early development of caprine herding on the Konya plain, central Anatolia. *Anatolian Studies*, 68, 1-31. <https://doi.org/10.1017/S0066154618000017>
- Miller, N.F., Spengler, R.N., Frachetti, M. (2016). Millet cultivation across Eurasia: origins, spread, and the influence of seasonal climate. *The Holocene*, 26(1), 1566-1575. <https://doi.org/10.1177/09596836166641742>
- Murphy, C. (2016). Finding millet in the Roman world. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 8, 65-78. <https://doi.org/10.1007/s12520-015-0237-4>
- Möldner, G., Britton, K., ve Eryvynck, A. (2014). Inferring animal husbandry strategies in coastal zones through stable isotope analysis: new evidence from the Flemish coastal plain (Belgium, 1st-15th century AD). *Journal of Archaeological Science*, 41, 322-332. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.08.010>
- Nehlich, O. (2015). The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: A review. *Earth-Science Reviews*, 142, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.12.002>
- Nesbitt, M., ve Summers, G.D. (1988). Some recent discoveries of millet (*Panicum miliaceum* L. and *Setaria* (L.) P. Beauv.) at excavations in Turkey and Iran. *Anatolian Studies*, 38, 85-97. <https://doi.org/10.2307/3642844>
- Nier, A. O., Gulbransen, E. A. (1939). Variations in the relative abundance of the carbon isotopes. *Journal of the American Chemical Society*, 61(3), 697-698. <https://doi.org/10.1021/ja01872a047>
- O'Leary, M. H. (1981). Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*, 20(4), 553-567. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85134-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85134-5)
- O'Leary, M. H. (1988). Carbon isotopes in photosynthesis: Fractionation techniques may reveal new aspects of carbon dynamics in plants. *BioScience*, 38(5), 328-336. <https://doi.org/10.2307/1310735>
- Özdemir, K., Erdal, Y. S., Itahashi, Y., ve Irvine, B. (2019). A Multi-faceted approach to weaning in a prehistoric population from İkiztepe, Samsun, Turkey. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 27, 101982. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.101982>
- Pearson, J. A., Buitenhuis, H., Hedges, R. E. M., Martin, L., Russell, N., ve Twiss, K. C. (2007). New light on early caprine herding strategies from isotope analysis: a case study from Neolithic Anatolia. *Journal of Archaeological Science*, 34(12), 2170-2179. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.09.001>
- Pearson, J. A., Hedges, R. E. M., Molleson, T. I., ve Özbek, M. (2010). Exploring the relationship between weaning and infant mortality: an isotope case study from Aşikli Höyük and Çayönü Tepeşi. *American Journal of Physical Anthropology*, 143(3), 448-457. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21335>
- Pickard, C., Schoop, U-D., Bartosiewicz, L., Gillis, R., ve Sayle, K. A. (2017). Animal keeping in Chalcolithic north-central Anatolia: what can stable isotope analysis add? *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9, 1349-1362. <https://doi.org/10.1007/s12520-016-0386-0>
- Pollard, M., Batt, C., Stern, B., ve Young, S. M. M. (2007). *Analytical chemistry in archaeology*. Cambridge University Press.
- Quinn, C. P., ve Beck, J. (2016). Essential tensions: A framework for exploring inequality through mortuary archaeology and bioarchaeology. *Open Archaeology*, 2, 18-41. <https://doi.org/10.1515/opar-2016-0002>
- Reitsema, L. J. (2013). Beyond diet reconstruction: Stable isotope applications to human physiology, health, and nutrition. *American Journal of Human Biology*, 25(4), 445-456. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22398>
- Richards, M. P. (2020). Isotope analysis for diet studies. M. P. Richards ve K. Britton (Ed.) içinde, *Archaeological science: An introduction* (s. 125-144). Cambridge University Press.
- Richards, M. P., ve Britton, K. (Ed.). (2020). *Archaeological science: An introduction*. Cambridge University Press.
- Richards, M. P., ve Hedges, R. E. M. (1999). Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic coast

- of Europe. *Journal of Archaeological Science*, 26(6), 717-722. <https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0387>
- Richards, M. P., Fuller, B. T., ve Hedges, R. E. M. (2001). Sulphur isotopic variation in ancient bone collagen from Europe: Implications for human palaeodiet, residence mobility, and modern pollutant studies. *Earth and Planetary Science Letters*, 191(3-4), 185-190. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00427-7](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00427-7)
- Richards, M. P., Fuller, B. T., Sponheimer, M., Robinson, T., ve Ayliffe, L. (2003). Sulphur isotopes in palaeodietary studies: A review and results from a controlled feeding experiment. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13(1-2), 37-45. <http://dx.doi.org/10.1002/oa.654>
- Riehl, S. (2009). Archaeobotanical evidence for the interrelationship of agricultural decision-making and climate change in the ancient Near East. *Quaternary International*, 197(1-2), 93-114. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.08.005>
- Sage, R. F., Li, M., ve Monson, R. K. (1999). The taxonomic distribution of C4 photosynthesis. R. F. Sage ve R. K. Monson (Ed.) içinde, *C4 plant biology* (s. 551-584). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012614440-6/50017-3>
- Schoeninger, M. J., ve DeNiro, M. (1984). Nitrogen and carbon isotope composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(4), 625-639. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90091-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90091-7)
- Schoeninger, M., DeNiro, M., ve Tauber, H. (1983). Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science*, 220(4604), 1381-1383. <https://doi.org/10.1126/science.6344217>
- Schulting, R. J. (1998). Slighting the sea: Stable isotope evidence for the transition to farming in northwestern Europe. *Documenta Praehistorica*, 25(5), 203-218.
- Schwarcz, H. P., ve Schoeninger, M. J. (2011). Stable isotopes of carbon and nitrogen as tracers for paleo-diet reconstruction. M. Baskaran (Ed.) içinde, *Handbook of environmental isotope geochemistry* (s. 725-742). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10637-8_34
- Schwarcz, H. P., ve Nahal, H. (2021). Theoretical and observed C/N ratios in human bone collagen. *Journal of Archaeological Science*, 131, 105396. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105396>
- Stantis, C., Schutkowski, H., ve Soltysiak, A. (2020). Reconstructing breastfeeding and weaning practices in the Bronze Age Near East using stable nitrogen isotopes. *American Journal of Physical Anthropology*, 172(1), 58-69. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23980>
- Steele, K. W., ve Daniel, R.M. (1978). Fractionation of nitrogen isotopes by animals: A further complication to the use of variations in the natural abundance of ¹⁵N for tracer studies. *Journal of Agricultural Science*, 90(1), 7-9. <https://doi.org/10.1017/S002185960004853X>
- Stika, H-P., ve Heiss, A. G. (2013). Plant cultivation in the Bronze Age. H. Fokkens ve A. Harding (Ed.) içinde, *The Oxford handbook of European Bronze Age* (s. 340-361). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199572861.013.0019>
- Still, C.J., Berry, J.A., Collatz, J., ve DeFries, R. S. (2003). Global distribution of C₃ and C₄ vegetation: carbon cycle implications. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(1), 1006-1013. <https://doi.org/10.1029/2001GB001807>
- Szpak, P., White, C.D., Longstaffe, F.J., Millaire, J.F, Sanchez, V.F.V. (2013). Carbon and nitrogen isotopic survey of northern Peruvian plants: Baselines for paleodietary and paleoecological studies. *PLOS ONE*, 8(1), 1-28. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053763>
- Talamo, S., Fewlass, H., Maria, R., Jaouen, K. (2021). "Here we go again": The inspection of collagen extraction protocols for ¹⁴C dating and palaeodietary analysis. *STAR: Science & Technology of Archaeological Research*, 7(1), 62-77. <https://doi.org/10.1080/20548923.2021.1944479>
- Triantaphyllou, S., Richards, M.P., Touchais, G., Philippa-Touchais, A., ve Voutsaki, S. (2006). Analyses of Middle Helladic skeleton material from Aspis, Argos: Stable isotope analysis of human remains. *École Française d'Athènes: Bulletin de correspondance Hellénique*, 130(2), 627-637. <https://doi.org/10.3406/bch.2006.7430>
- Tykot, R. H. (2004). Stable isotopes and diet: You are what you eat. M. Martini, M. Milazzo, ve M. Piacentini (Ed.) içinde, *Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi" Course CLIV* (s. 433-444). IOS Press. <http://luna.cas.usf.edu/~rtykot/PR39%20-%20Enrico%20Fermi%20isotopes.pdf>
- Tykot, R.H. (2010). Isotope analyses and the histories of maize. In J. E. Staller, R. H. Tykot, ve B. F. Benz (Ed.) içinde, *Histories of maize in Mesoamerica. Multidisciplinary approaches* (s. 130-141). Academic Press. <https://doi.org/10.4324/9781315427294>
- van Klinken, G. J. (1999). Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science*, 26(6), 687-695. <https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0385>
- Vogel, J. C. (1980). Fractionation of the carbon isotopes during photosynthesis. *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse)*, 1980(3) içinde (s. 5-29). https://doi.org/10.1007/978-3-642-46428-7_1
- Walker, P.L., ve DeNiro, M. J. (1986). Stable nitrogen and carbon isotope ratios in bone collagen as indices of prehistoric dietary dependence on marine and terrestrial resources in southern California. *American Journal of Physical Anthropology*, 71(1), 51-61. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330710107>
- Wang, T., Wei, D., Chang, X., Yu, Z., Zhang, X., Wang, C., Hu, Y., ve Fuller, B. T. (2019). Tianshanbeilu and the isotopic millet road: reviewing the late Neolithic/Bronze Age radiation of human millet consumption from north China to Europe. *National Science Review*, 6(5), 1024-1039. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwx015>



2021. Telif hakları yazar(lar)a aittir.

Bu makale Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) lisansının hüküm ve şartları altında yayımlanan açık erişimli bir makaledir.