

Koru Tümlüsü İskeletlerinin Osteobiyografilerinin Element Analizi ile İncelenmesi

Investigations of Osteobiography of the Koru Tumulus Skeletons by Elemental Analysis

Kameray ÖZDEMİR*

Ali Akın AKYOL**

Kaan İREN***

Yılmaz Selim ERDAL****

Öz

Koru Tümlüsü'nden ele geçen kemiklerin element bileşimi, bireylerin içinde bulunduğu ölüm öncesi ve ölüm sonrası süreçleri değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Polarize Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans (PED-XRF) yöntemiyle kemiğin kimyasal bütünlüğünü, bireylerin diyetini ve gömü sonrası kemikteki element birikimlerini temsil eden Ca, P, Sr, Ba, Mg, Cu, As, Fe, Y, Th, Cd, Zn, Mn, Pb ve uranyum uyuk kemiğinin inorganik kısmından analiz edilmiştir. Mezar odasında ele geçen bireyler ile mezar odasının dışında ele geçen birey arasında beslenme ve diyagenetik birikim açısından farklılıklar gözlenmiştir. Tahıl ve yüksek proteinli hayvansal gıdalarla beslenmenin göstergesi olan Ba/Ca ve Zn/Ca oranları mezar odasında ele geçen grup için belirleyici olmuştur. Bitki ve deniz kökenli besinlerin kullanımına işaret eden Sr/Ca oranı da aynı grup için ayırt edicidir. Buna karşın, mezar odasının dışında ele geçen birey için, iç organ gibi düşük proteinli hayvansal gıda tüketiminin göstergesi olan Cu/Ca oranı karakteristiktir. Gömü sonrası süreçler açısından yapılan değerlendirmede öncelikle mezar odasında ele geçen üç bireyin bakır, mezar odası dışında ele geçen bireyin ise demir tarafından gruplanan gömü sonrası kimyasal değişimlere maruz kaldığı belirlenmiştir. Beslenmedeki farklılığa ek olarak, gömü sonrası kemiklerde meydana gelen kimyasal değişimler farklı gömü koşullarına işaret etmiştir. Diyagenetik değişimler, ön odadaki bireyin tafonomik süreçlerle yerinin değişmediğine, yani gömüldüğü ilk andan itibaren bulunduğu konumu koruduğunu ortaya çıkarması, BDK-K4 numaralı bireyin mezar odasındaki grubun üyesi olmadığı fikrini desteklemiştir. Kemiklerin kimyasal analizlerinin ortaya çıkardığı farklılıklar, iskeletlerin gömü konumları ve mezar odasında ele geçen değerli mezar hediyeleri beraber değerlendirildiğinde BDK-K4 numaralı bireyin, başarıya ulaşmadan hayatını kaybetmiş bir mezar soyguncusu olabileceği ihtimali akla gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pers Dönemi, mezar soygunu, diyagenetiz, temel bileşenler analizi, XRF, SEM-EDX

Abstract

The bone element composition of four individuals was used to evaluate the pre-burial and post-burial processes exposed to the individuals. For that, calcium, P, Sr, Ba, Mg, Cu, As, Fe, Y, Th, Cd, Zn, Mn, Pb, and U, representing the integrity of the bone, diet and post-burial accumulation, were analyzed from the inorganic part of the femur by Polarized Energy Separated X-Ray Fluorescence (PED- XRF). The variations concerning diet and diagenetic accumulation of elements among the individuals were observed between the individuals recovered from the grave chamber (BDK-K1, BDK-K2 and BDK-K3) and from the outside of the grave chamber (BDK-K4). The Ba/Ca and Zn/Ca ratios, indicating a diet comprised of grain and animal protein, are apparent for the inner group. The Sr/Ca ratio, which indicates the consumption of plant and marine nutrients, is also distinctive for the inner group. In contrast, the Cu/Ca ratio, indicative of the consumption of animal parts with low protein content, such as the viscera, is characteristic for the individual from outside the grave chamber. In addition to differences in the dietary data, the outsider was also subjected to post mortem chemical changes that were grouped by iron. However, the inner group had undergone diagenetic changes that were grouped by copper. The postmortem changes indicate that the individual from outside of the burial chamber, that dietary differences are detected as well, was not a part of the inner group, and that the placement was not due to taphonomic

* Dr. Öğr. Üyesi Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Antropoloji Bölümü, kameray.ozdemir@hacettepe.edu.tr

** Doç. Dr. Gazi Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, aliakyol@gazi.edu.tr

*** Prof. Dr. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, daskyleion@posta.mu.edu.tr

**** Prof. Dr. Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Antropoloji Bölümü, yserdal@hacettepe.edu.tr

processes, thus preserving its position from the beginning. When these data are evaluated together with the valuable burial gifts, the likelihood that the individual was a grave robber who has lost his life without success is more probable.

Keywords: Persian Period, tomb robbery Diagenesis, Principle Component Analysis, XRF, SEM-EDX

Giriş

Kemikler ve dişler suç mahallerinde ele geçen insana ait materyaller arasında sıklıkla yer alır. Bazı durumlarda ise bireyleri veya bireysel kalıntıları ilişkilendirmek için kullanılabilir yegâne kaynak durumundadır. Normal koşullar altında insan kalıntılarında kimlik tespit edilmesi tipik olarak DNA analizine ve/veya kişinin diş kayıtlarının karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Gonzalez-Rodriguez ve Fowler, 2013; Castro vd., 2010; Jain ve Chen, 2004; Kimpton vd., 1994). Ancak, akrabaların bilinmemesi, gömülü kemiklerin DNA'sının bozulabilmesi veya diş kayıtlarının bulunmaması tanımlamayı olanaksız hale getirebilmektedir. Bununla beraber, osteolojik kalıntıların kimyasal bileşiminin ortaya çıkardığı elementlere çevreden maruz kalma, beslenme ve sağlıkla ilgili ek bilgiler araştırmalara katkı sağlamakta ve tartışmalı durumları aydınlatabilmektedir (Gonzalez-Rodriguez ve Fowler, 2013; Castro vd., 2010). Bu nedenle bireyleri ayırtmak/tanımlamak amacıyla kemik ve diş gibi dokuların element analizine duyulan ihtiyacın ilk olarak adli çalışmalarla ortaya çıktığını ve bu ihtiyaç doğrultusunda geliştiğini belirtmek gerekir (Gonzalez-Rodriguez ve Fowler, 2013; Castro vd., 2010).

Örneğin, stronsiyum (Sr), çinko (Zn), bakır (Cu), vb. elementlerin kemikteki miktarlarında ve bu elementler arasından karbon (C) ile azotun (N) kararlı izotop oranlarında oluşan beslenme kaynaklı değişimlerin, farklı bölgelerden elde edilen arkeolojik kemik örneklerinin ayırtılmasında kullanılması, biyoarkeolojik çalışmalarda 1980li yıllardan beri sıklıkla başvurulan bir yöntem olmuştur (Klepinger, 1984; Lambert vd., 1979; Ambrose ve Krigbaum, 2003; Katzenberg, 2000). Teknikteki son gelişmelerle birlikte yeni uygulamalar, hidrojen (H), oksijen (O) ve stronsiyum (Sr) gibi elementlerin kemik ve dişlerdeki izotop birikiminin belirlenmesiyle bireyleri belirli coğrafi bir bölge ile ilişkilendirmek yönündedir (Reynard ve Hedges, 2008; Beard ve Johnson, 2000).

Bu çerçevede iskelet kalıntılarının element içeriğinin belirlenmesi de bireyleri ayırtmada kullanılmak üzere belki de tamamlayıcı bilgi sağlayarak katkıda bulunabilir. Kemiği ve dişleri oluşturan elementlerin miktarı bireyin diyetindeki mineral alımı da dâhil olmak üzere birçok faktöre bağlı olarak ağırlık yüzdesi (%) ile eser miktar (milyonda veya milyarda bir parçacık miktarı, ppm veya ppb) arasında değişiklik gösterir. Çinko ve bakır gibi bazı eser elementler insan gelişimi için gereklidir, çoğunlukla kemiklerde depolanır ve söz konusu elementlere çevreden maruz kalma ya da beslenme alışkanlığı hakkında bilgi sağlar (Klepinger, 1984). Kalıntıları çevreleyen koşullardan kaynaklanan dış kaynaklı mineraller, demir (Fe), alüminyum (Al) ve magnezyum (Mg) gibi elementlerin kemiklerdeki miktarını artırabilir (Hodson vd., 2001; Zapata vd., 2006).

İnsan kemiğinin inorganik fazı hidroksiapatittir ve kemiğin büyümesi sürecinde kullanılan demir, magnezyum, çinko (Zn), bakır (Cu) ve manganez (Mn) gibi hem sayıca az hem de eser miktarda element içerir (Klepinger, 1984). Kemikler yapısal seviyede kortikal veya trabeküler kemik olarak ikiye ayrılır (Hill, 1998). Kortikal kemikler, trabeküler kemiklerden daha yavaş bir oranda kendini yeniler (yetişkinlerde %2,5'e karşı yıllık %10'luk yeniden yapılanma; Hill, 1998). Bu nedenle kortikal kemiklere kıyasla trabeküler kemiklerden elde edilen element kompozisyonu yaşamın son dönemine ait birikimleri yansıtır (Hill, 1998). Diğer taraftan kortikal kemik yoğun yapısı ve çevresel değişikliklere duyarlılığının düşük olması nedeniyle element analizleri için daha çok tercih edilmektedir (Sandford, 1992).

Sıcaklık, toprağın pH'sı ve suya maruz kalma gibi gömülü kemikleri çevreleyen koşullar kemiğin mineral bileşiminde değişikliklere neden olacak iyonların çevreyle değiştirilmesine yol açabilmektedir (Malleon, 1990). Arkeolojide, diyagenez terimi, gömülü kemiklerin yapısal özelliklerini etkileyen kimyasal, fiziksel ve biyolojik süreçler olarak tanımlanmaktadır (Wilson ve Pollard, 2002; Zapata vd., 2006; Maurer vd., 2014). Gömülü kemikte diyagenez etkilerini belirlemek kemik matristeki element kompozisyonun yorumlanması için oldukça önemlidir. Arkeolojik kemiklerdeki diyagenetik etkiyi daha iyi değerlendirebilmek için iskeletleri çevreleyen toprağın analizi çalışmalara dâhil edilmektedir (Carvalho vd., 2004; Sandford, 1992; Lambert vd., 1983). Toprakta ve kemiklerdeki nadir toprak elementlerin (NTE) miktarları uyumluysa, diyagenez için güçlü bir kanıt elde edilmiş olur (Carvalho vd., 2004; Lambert vd., 1983).

Biyogenik ve diyagenezle oluşan element bileşimi arasındaki ayrışmayı değerlendirebilmek için başvurulan diğer bir yaklaşım da kalsiyum (Ca) ve fosfor (P) oranının belirlenmesidir. Biyojenik maddenin ana bileşeni hidroksiapatit olduğundan yapısındaki herhangi bir değişiklik diyagenezin göstergesi olarak kabul edilir. Doğal (değişmemiş) hidroksiapatit için stokiyometrik olarak hesaplanan Ca/P oranından (~2.16, Posner, 1966) sapma, kemiğin diyageneze uğradığını göstereceğinden kemik örneklerinin element bileşiminin biyojenik kökenli olmadığı sonucu çıkarılabilir (Hedges, 2002; Fabing ve Hermann, 2002). İnsanda yaşla birlikte kemiklerin yeniden yapılanma hızı yavaşlarken Ca/P oranının arttığı tespit edilmiştir (Driessens ve Verbeck, 1990). Kemiğin bozulma durumu hakkında bilgi veren diğer bir değer de Fe/Mn oranıdır (Stipisic vd., 2014).

Arkeolojik kemik örneklerinin inorganik kısmının element bileşimi, Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS), Atomik Emisyon Spektroskopisi (AES), İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ve Nötron Aktivasyon Analizi (NAA) gibi çeşitli teknikler kullanılarak analiz edilmektedir (Sandford, 1992). Bu çalışmada hem hızlı hem de bir seferde birçok elementi tespiti mümkün kılan X-Işını Floresans (XRF) spektrometresi tercih edilmiştir.

Kemik apatitinden element analizi, hemen hemen tüm dünyada eski insanların geçim davranışlarını, büyüme süreçlerini ve kemiklerin geçirdiği gömü sonrası değişimleri anlamak için uygulanmıştır (Özdemir ve Erdal, 2009; Özdemir vd., 2010a, 2010b; Güner vd., 2011, 2012; Temiz, 2013; Çırak ve Akyol, 2014; Büyükkarakaya vd., 2017; Karagöz-Arhan vd., 2017). Bu çalışmada, Kuru Tümülsü'nün farklı bölgelerinden ele geçmiş, ölüm yaşı, cinsiyeti ve patolojik durumları belirlenmiş dört insan iskeletinin maruz kaldığı gömü sonrası kimyasal değişim yoğunluğunu belirlemek öncelikli amaç olarak konmuştur. İkinci olarak, gömü sonrası kimyasal değişikliklerin boyutunun belirlenmesi ile ölüm öncesi ve ölüm sonrası süreçlerdeki element birikimlerini ayırt etmek hedeflenmektedir. Elde edilen verilerle Kuru bireylerinin osteobiyografileri yeniden kurgulanarak tek bir grup mu yoksa farklı gruplar mı oluşturduğu anlaşılacaktır. Böylelikle, geçmişte yaşanmış muhtemel bir adli vaka aydınlatılmaya çalışılacaktır.

Materyal ve Yöntem

Daskyleion (Dascyleum) İlk Çağ şehri, Bandırma'nın 30 km güneyinde, Aksakal Beldesi'nin 8 km ve Ergili Köyü'nün 2 km batısında bulunan Hisartepe Höyüğü üzerinde ve çevresinde yer almaktadır (Şekil 1). Kentin akropolis'i ince ve uzun bir yapıya sahip Hisartepe Höyüğü'nün üst platosundadır ve yüz ölçümü 27 dönüm ve göl (Kuşgölü) seviyesinden yüksekliği +38,33 metredir (Şekil 2a). Aşağı kentin sınırları henüz tam olarak bilinmemektedir. İlk olarak 1953 yılında keşfedilen antik şehirde, 1954 yılında başlayan kazıların 3. dönemi, 2009 yılından itibaren Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Kaan İren tarafından yürütülmektedir. Kazılar Daskyleion'un antik dönemde

Trakya, Boğazlar, Marmara Denizi, Karadeniz ve Phrygia bölgeleri arasında geçiş sağlayan stratejik bir konuma sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Şehir, aynı zamanda, Pers İmparatorluğu Anadolu Satraplık Dönemi'ni de kapsayacak şekilde Demir Çağı'ndan (Lydia ve Phrygia uygarlıkları etkisinde) Bizans İmparatorluğu'na kadar uzanan çok kültürlü yapı sergiler (Bakır, 2011; İren, 2011; İren ve Yıldızhan, 2017).



Şekil 1: Daskyleion (Dascyleum) antik şehrinin konumu.

Daskyleion'un nekropol bölgesi kentin doğu ve güney kısmında yer alır. Bu alanda yer alan 40'a yakın tümülüs Manyas Gölü'nü görecekt biçimde konumlanmıştır. Özellikle Daskyleion'un güneyinde ve doğusunda yoğunluk vardır. Bu nedenle bu alanlar Güney ve Doğu kraliyet nekropolisleri olarak adlandırılmaktadırlar. Söz konusu tümülüslerden Koru Tümülüsü Güney Nekropolis'e aittir. Koru Tümülüsü'nde (Şekil 2a, b) 2010 yılında başlayan kazı çalışmalarından ele geçen gümüş veya elektron sikkeler ile diğer arkeolojik buluntulara dayanarak tümülüs, Pers dönemine (M.Ö. 5. yy'a) tarihlendirilmiştir. Tümülüs'ün uzun bir koridorla (*dromos*) ulaşılan bir ön odası ve bir mezar odası bulunmaktadır (Şekil 2c). Tümülüs'ün mezar odasında dış yüzeyi mor renkle kaplanmış iki adet (güney ve doğu yönünde) Lidya tipi kline yer alır (Şekil 2d) (İren 2012a, 2012b). Tümülüs'te bulunan dört insan iskeletinden biri (BKT-K4) ön odada yassı bir taşın altından, diğerleri (BKT-K1, BKT-K2 ve BKT-K3) ise mezar odasının güney klinesi üzeri ile güney ve doğu klinelerin altında dağılmış halde ele geçmiştir.



Şekil 2: Koru Tümülüsü'nün genel görünümü (a), açma (b), plan (c), mezar odası ve klineler (d).

Hacettepe Üniversitesi Antropoloji Bölümü Biyolojik Antropoloji Laboratuvarı'nda belgeleme ve onarım işlemleri yapılan iskeletler üzerinde öncelikle demografik ve patolojik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bireylerin yaşları tahmin edilirken leğen kemiğinde ve kaburga uçlarında yaşa bağlı değişimler ile kafatasındaki suturların kapanma derecelerinden faydalanılmıştır (Buikstra ve Ubelaker, 1994; Loth ve İşcan, 1989; Meindl ve Lovejoy, 1985). Bireylerin cinsiyetleri belirlenirken kalça ve kafatası kemiklerindeki cinsiyet karakterleri göz

önünde bulundurulmuştur (WEA, 1980). Buikstra ve Ubelaker (1994) tarafından önerilen standartlar patolojik koşulları raporlamada kullanılmıştır.

Biyoarkeolojik incelemelerin ardından element analizleri için bireylerin uyluk kemiğine (*femur*) ait yaklaşık 4-5cm uzunluğunda parçalar temin edilmiştir. Gömü sonrası element içeriklerindeki değişimin boyutlarının belirlenmesi için kazı alanının çeşitli bölgelerinden altı toprak örneği de analizlere dâhil edilmiştir.

Örneklerin element içeriklerinin belirlenmesi Polarize Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans yöntemi (PED-XRF) ile yapılmıştır. İncelemelerde SPECTRO X-Lab 2000 model spektrometre kullanılmıştır. Toz haline getirilmiş 3 gram kadar örnek pelet haline getirilerek analiz edilmiştir. Bu yöntemle atom numarası 11 olan sodyumdan (Na), 92 olan uranyuma (U) kadar elementler analiz edebilmektedir. Cihazın hassasiyet limiti, ağır elementlerde 0,5ppm ve hafif elementlerde ise 10ppm'e kadar ölçüm yapabilecek seviyededir (Salmon, 1970; Pollard ve Heron, 1996). Örnek hazırlıkları ve analizler Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) ile Gazi Üniversitesi Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı'nda (MAKLAB) gerçekleştirilmiştir.

BKT-K1 numaralı bireye ait kemik örneğinin yüzeyinde seçilen 3 farklı bölgenin element içeriği taramalı elektron mikroskobu ve ona bağlı XRD analizörü (SEM-EDX) ile incelenmiştir. Analizlerde, ZEISS marka, EVO 40 model SEM-EDX kullanılmıştır; tungsten filament elektron kaynağına, 500V–30kV gerilim aralığına, SE (*Secondary Electron*), BSE (*Back Scattered Electron*), EDX (*Energy Dispersive X-ray*) ve VPSE (*Variable Pressure Secondary Electron*) detektörlerine sahiptir. Cihaz ile çapları 9-15mm kalınlıkları ise 0,1-30mm arasında değişen katı veya toz numuneler incelenebilmektedir. Numunelerin iletken olmaları gerekmektedir. İletken olmayan numuneler 5-16nm arasında değişen kalınlıkta altın kaplanarak çalışılabilmektedir.

Analizi yapılan elementlerden kemik kompozisyonunu temsil eden Ca, P, Sr, Ba ve Mg ile gömü sonrası süreçleri temsil eden Cu, As, Fe, Y, Th, Cd, Zn, Mn, Pb ve U istatistiki analizler için seçilmiştir. Gömü sonrası değişimlerin boyutunu belirlemek için kullanılan elementlerden bazılarının (Cu, Zn, Fe ve Mn) doğal olarak insan vücudunda bulunduğu ve diyetin gösterge elementleri olduğu dikkate alınmalıdır. Gömü sonrası süreçlerden ya da hastalıklardan kaynaklanan kemik bozulmasını anlamak için yaygın olarak kullanılan Ca/P ve Fe/Mn oranları da hesaplanmıştır. Metal/Ca oranları gruplaşmanın detaylarını belirleyebilmek için kullanılmıştır.

Element birikimlerinin dört birey arasında nasıl farklılaştığını belirlemek için XLSTAT Programı aracılığıyla temel bileşenler analizi (*Principal Component Analysis*, PCA) yapılmıştır. İstatistiki analizinden önce veriler *unit variance* olarak da bilinen normalleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Diğer bir deyişle her bir değişkenin varyansı 1 olacak şekilde normalize edilmiştir. Böylelikle ölçüm birimleri (% ve ppm) arasındaki farklılıkların etkisi en aza indirilmiştir. Tanımlayıcı istatistik olarak ortalama, standart sapma ve yüzde varyasyon katsayısı (% cv) kullanılmıştır.

Bulgular

Element Analizleri (XRF Analizleri)

Analizi yapılan on beş elementin kemik birikim miktarları, elementlerin dört birey için ortalaması, standart sapması ve varyasyon katsayısı ile altı toprak örneğinin element ortalaması, standart sapması ve değişim katsayısı Tablo 1'de verilmiştir. On bir elementin derişimi yüksek varyasyon (cv > %25) göstermektedir. Yüksek varyasyon özellikle toprakta bol miktarda bulunan Th, Pb, As, Ba, U ve Fe elementleri için daha belirgindir (cv > %80). Buna karşın canlı kemikte yüksek oranda bulunan Ca, P, Sr ve Mg elementlerin derişimi

düşük düzeyde varyasyon ($cv < \%25$) sergilemektedir. Farklılaşma zellikle Ca ve P için oldukça düşüktür ($cv < \%4$). Fe, As, Th, Pb, Ba, Y ve U elementlerinin kemik miktarı BDK-K4 numaralı bireyde dikkat çekici şekilde yüksekken aynı bireyde Cu miktarı grubun en düşük değeri olarak ölçülmüştür.

Tablo1: Kemik ve toprak element miktarları beraberinde tanımlayıcı istatistikler.

Element	Derişim	İnsan (n=4)				Toprak (n=6)					
		BDK-K1	BDK-K2	BDK-K3	BDK-K4	Ortalama	sd	cv (%)	Ortalama	sd	cv (%)
Mg	%	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,01	13,33	0,95	0,17	18,03
P	%	14,16	14,11	12,93	13,80	13,75	0,57	4,14	0,67	0,50	74,35
Ca	%	36,86	35,69	33,25	36,17	35,49	1,57	4,42	13,83	10,66	77,10
Mn	%	0,005	0,010	0,008	0,005	0,01	0,00	34,99	0,14	0,06	42,87
Fe	%	0,010	0,018	0,002	0,035	0,02	0,01	86,79	2,84	1,05	36,80
Cu	ppm	171,4	145,3	99,3	25,3	110,33	64,04	58,05	54,73	21,93	40,07
Zn	ppm	172,5	249,1	199	226,5	211,78	33,25	15,70	120,47	57,74	47,93
As	ppm	2,2	4,8	2	12,9	5,48	5,11	93,36	20,10	5,60	27,85
Sr	ppm	636	357,6	535,1	629	539,43	129,65	24,04	361,22	67,29	18,63
Y	ppm	0,8	0,9	0,8	1,4	0,98	0,29	29,46	14,38	5,69	39,58
Cd	ppm	0,9	1,3	0,6	0,5	0,83	0,36	43,56	1,12	0,37	32,74
Ba	ppm	7,4	22,8	25,7	105,4	40,33	44,12	109,41	665,18	181,85	27,34
Pb	ppm	88,7	442,7	70,4	1722	580,95	779,76	134,22	80,93	44,76	55,31
Th	ppm	1,3	1,8	0,7	11,3	3,78	5,04	133,42	10,75	3,37	31,37
U	ppm	12,5	14,2	18,6	56	25,33	20,61	81,39	13,97	4,82	34,51

Bütün bireyler 2,53 ile 2,62 arasında değişen kemik Ca/P kütle oranına sahiptir (Tablo 2). Mg/Ca, Sr/Ca ve Cd/Ca oranları bireyler arasında benzerdir. BDK-K4 numaralı bireyin Ba/Ca, Pb/Ca ve Fe/Mn oranları belirgin bir şekilde diğer bireylerinkinden yüksektir. Zn/Ca oranı BDK-K1 numaralı bireyde grubun en düşük değeri ölçülmüş iken, diğer bireylerin verileri birbirine yakındır. Cu/Ca oranı da BDK-K4 kodlu bireyde oldukça düşüktür.

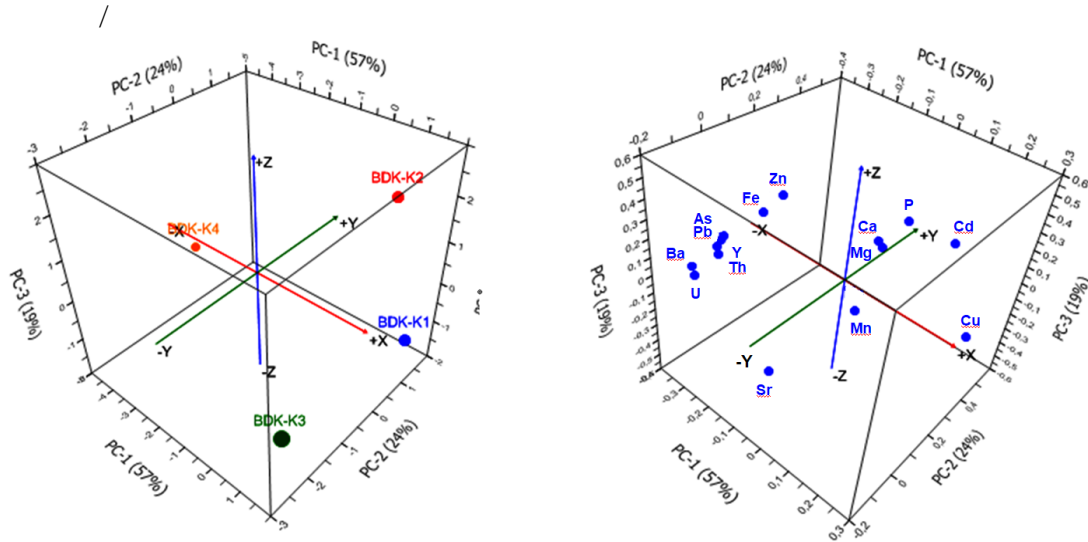
Tablo 2: Kemik ve toprak element oranları.

	BDK-K1	BDK-K2	BDK-K3	BDK-K4	Toprak
Ca/P	2,6031	2,5294	2,5715	2,6210	20,529
Mg/Ca	0,0011	0,0011	0,0009	0,0011	0,0688
Sr/Ca	0,0017	0,0010	0,0016	0,0017	0,0026
Zn/Ca	0,0005	0,0007	0,0006	0,0006	0,0009
Cu/Ca	0,0005	0,0004	0,0003	0,0001	0,0004
Pb/Ca	0,0002	0,0012	0,0002	0,0048	0,0006
Fe/Mn	2	1,8	0,3	7	20,8
Cd/Ca	2,44167E-06	3,64248E-06	1,80451E-06	1,38236E-06	8,07639E-06
Ba/Ca	2,0076E-05	6,38834E-05	7,72932E-05	0,000291402	0,004810997

Temel Bileşenler Analizi

Kemik kimyasal bileşiminin %100'  bileşenle açıklanmaktadır (Şekil 3). İlk bileşen olan PC1'in (x-ekseni) element veri setinin sahip olduğu toplam varyasyonun %57'sini açıkladığı görülmektedir. PC1 Fe, As, Y, Ba, Pb, Th ve U yüksek pozitif yüklenmeleri, Cu yüksek negatif yüklenmesi, Mn ve Cd orta seviyeli negatif yüklenmesi ile karakterizedir (Tablo 4). PC2 (y-ekseni) varyansın %24'lk bölümünü açıklar ve yüksek Ca, P ve Mg

yüklenmesi gösterir. Kadmiyum ise ikinci bileşende orta dereceli pozitif yüklenmeye sahiptir (Tablo 4). PC3 (z-ekseni) farklılaşmanın %19'luk kısmını açıklamaktadır. Yüksek pozitif Zn ve Mn, yüksek negatif Sr ve orta dereceli pozitif Cd yüklenmeleri ile karakterizedir (Tablo 4). Değer şekline ve tablosuna baktığımızda PC1'in oluşmasında BDK-K4 numaralı bireyin, PC2'nin oluşmasında BDK-K1 ve BDK-K3 numaralı bireylerin, PC3 oluşmasında ise BDK-K2 numaralı bireyin katkısı olduğu görülmektedir (Şekil 3).

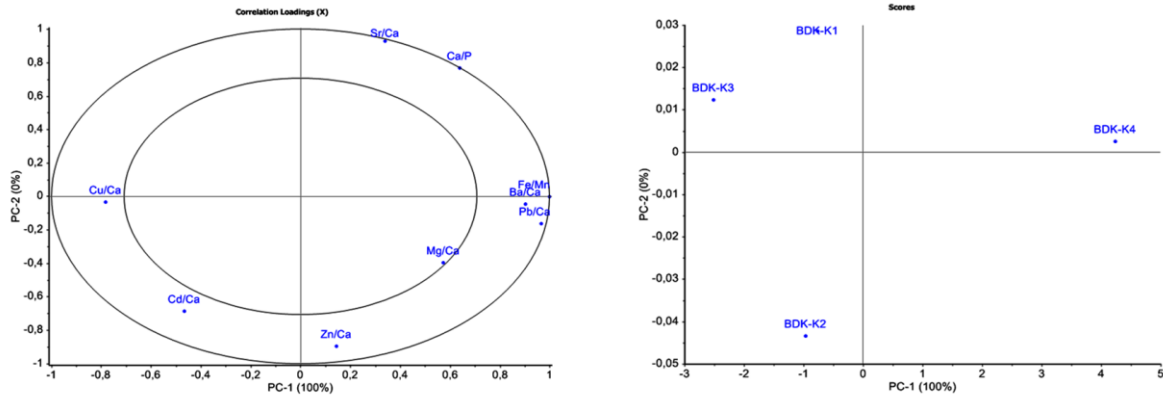


Şekil 3: Elementler arası temel bileşenler analizi; yüklenme grafiği (sağ), değer grafiği (sol).

Tablo 4: Element yüklenme faktörleri.

	F1	F2	F3
Mg	0,311	0,935	-0,168
P	0,134	0,975	0,178
C	0,355	0,928	-0,115
Mn	-0,577	-0,310	0,756
Fe	0,912	0,280	0,299
Cu	-0,850	0,524	-0,049
Zn	0,316	-0,058	0,947
As	0,978	0,019	0,208
Sr	0,440	0,016	-0,898
Y	0,991	-0,023	0,131
Cd	-0,546	0,587	0,597
Ba	0,973	-0,213	0,091
Pb	0,983	0,004	0,181
Th	1,000	-0,005	0,031
U	0,980	-0,198	-0,017

Hesaplanan element oranları arasındaki varyans tek bir bileşenle açıklanmaktadır. PC1 element oranları arasındaki farklılaşmanın %100'ü temsil eder (Şekil 4).



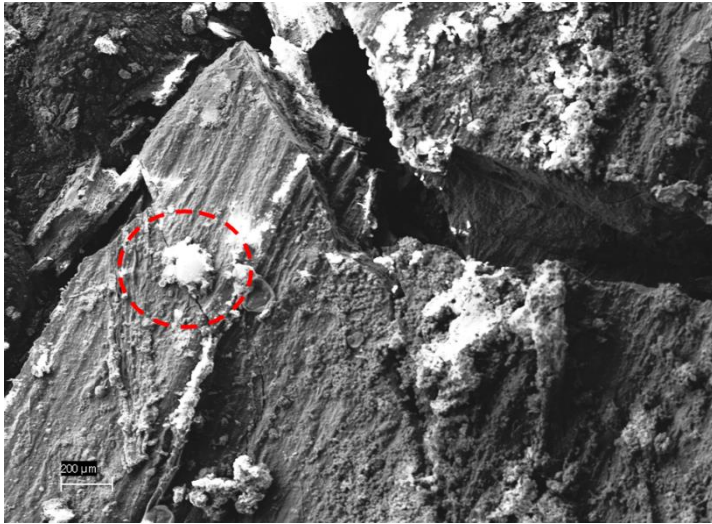
Şekil 4: Elementler oranları arası temel bileşenler analizi; yüklenme grafiği (sol), değer grafiği (sağ).

Tablo 5: Element oranları yüklenme değerleri.

X Loadings	Ca/P	Mg/Ca	Sr/Ca	Zn/Ca	Cu/Ca	Pb/Ca	Fe/Mn	Cd/Ca	Ba/Ca
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PC-1	0,0088	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	1,0000	0,0000	0,0000
PC-2	0,9998	-0,0013	0,0105	-0,0028	-0,0002	-0,0113	-0,0088	0,0000	-0,0002
PC-3	0,0094	-0,1553	0,1150	0,0857	-0,2302	0,9435	-0,0008	-0,0012	0,1099

SEM-EDX Analizi

SEM-EDX analizi uygulanan BKT-K1 örneği üzerinde, altın parçaları (150µm) bulunmuştur (Şekil 5). Analiz edilen noktanın kimyasal içeriğinin %4,28'ini altın elementi oluşturmaktadır (Tablo 6).



Şekil 5: SEM-EDX analizi ile kemik üzerinde belirlenen altın parçaları.

Tablo 6: Kemik üzerinde yapılan SEM-EDX analiz sonuçları.

Element	Derişim (%)
C	21,69
O	56,83
Ca	6,25
Pb	1,93
Cu	2,04
Mg	0,83
Si	1,39
Cl	1,141
S	1,17
Al	0,38
As	0,82
Cd	0,14
Na	1,04
Fe	0,71
Au	4,28
K	0,08

Tartışma

Koru Tümüls'ünden ele geçen dört bireyin gömü öncesi ve gömü sonrası geçirdiği süreçler bakımından fark gösterip göstermedikleri kemik kimyasal analizleriyle anlaşılmaya çalışılmıştır. Gerek kazı alanında yürütülen çalışmalarda ortaya çıkan arkeolojik veriler gerekse Koru iskeletleri üzerinde yürütülen biyoarkeolojik çalışmaların ayrışmanın öncül bilgilerini ortaya çıkardığı söylenebilir. Anadolu'da gerçek anlamda Phryg Dönemi'nde görülmeye başlayan tümülüslerin çoğu zaman elit tabakadan insanlar ya da yönetici soyundan gelen kişiler için yapıldığı belirtilmiştir (Onurkan, 1988). Dolayısıyla, Koru iskeletlerinin Daskyleion'da bir Tümüls'ten (İren, 2012) ele geçmiş olması, bu insanların toplumun yüksek sosyal sınıfına ait olabileceğini ilk planda düşündürmektedir. Diğer taraftan, mezar odasının içinin Prokonnesos mermeri ile kaplı olması zenginlik göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Antik dönemde mermerin pahalı malzemeler arasında olduğu belirtilmektedir (Albustanlıoğlu, 2011). Bununla birlikte ele geçen dört bireyin Tümüls içindeki konumlanışlarında bir fark göze çarpmaktadır. BDK-K1, BDK-K2 ve BDK-K3 numaralı bireylerin kemikleri mezar odasının içinden dağınık bir halde ele geçmiştir. İskeletlerle birlikte bulunan zengin mezar hediyeleri-gümüş ve elektron madeni paralar, altın kakma akik düğme, fildişinden yapılmış aplik parçaları, hala daha bütünlüğünü koruyan cam malzemeden yapılmış *rython* ile parfüm şişesi olarak kullanılan *alabaster* ve kil çömlekler- üç iskeletin toplumun üst sınıfından bireylere ait olabileceği öngörüsünü desteklemektedir (İren, 2012). Mezar odasının içinden ele geçen tekstil parçası ile klineler ve duvarların üzerini kaplayan boyar malzeme araştırmacılar tarafından analiz edilmiştir (Papliaka vd., 2015). Analiz sonuçları, boyanın deniz kabuklusu *mureks*den elde edilen ve *Tyrian purple* (Tirian moru, erguvan, kraliyet moru) olarak adlandırılan renk olduğunu ortaya koymuştur (Papliaka vd., 2015). Kraliyet moruyla boyanan yünlerin altın değerinde olduğu ve ancak zenginlerle soylu insanlar tarafından alındığı antik metinlerde geçmektedir (Jensen, 1963; Stieglitz, 1994). Bu araştırma kapsamında taramalı elektron mikroskopuyla (SEM-EDX) yapılan incelemelerde BTK-K1 bireyinin kemikleri üzerinde altın parçacıkları olduğunu belirlenmiştir. Dolayısıyla mezar odasında yer alan bireylerin üzerlerine erguvan renkli ve altın içeren bir tekstil örtülmüş olması olasıdır. Elde edilen bulgular beraber değerlendirildiğinde, mezar odasından ele geçen üç bireyin üst sınıfa ait insanlar olduğu yönündeki ihtimal kuvvetlenmiştir. Bu noktada, mezar odasının dışında bulunan BDK-K4 numaralı bireyin içerideki grubun bir parçası olup olmadığı sorusu akla gelmektedir.

BDK-K4 numaralı bireyin kim olabileceği hakkındaki senaryoları iki başlık altında toplayabiliriz. İlk senaryoya göre BDK-K4 numaralı birey aslında içerideki grubun üyesi

olmakla birlikte gömü sonrası süreçte kemikleri tafonomik nedenlerle yer değiştirmiş olmalıdır. Eğer ilk senaryo doğruysa, yaşam sırasında oluşan element birikimleri açısından bireyler arasında bir homojenlik beklemek gerekir (János vd., 2011). Bu homojenliğin arka planında, bireylerin sosyal statülerinden veya aynı gruba üye olmaktan kaynaklı benzer beslenme alışkanlıklarına sahip olmaları yatmaktadır (Schutkowski vd., 1999; Larsen, 1997; Pearson vd., 2010; Reitsem ve Vercellotti, 2012). Oluşturulabilecek ve daha muhtemel görünen ikinci senaryoya göre ise BDK-K4 içerdekilerden tamamen bağımsız dışarıdan bir bireydir. Eğer bu olasılık doğruysa, gerek ölüm öncesi gerekse gömü sonrası süreçlerin yol açacağı farklı element birikimleri söz konusu olacaktır (Lopez-Costas vd., 2016). Takip eden bölümlerde kemiklerin element bileşimlerinin, gömü sonrası değişimlerinin, yapısal bütünlüklerinin ve beslenmeyle ilgili özelliklerinin bireyler arasındaki dağılımı ortaya konmaya çalışılacaktır.

Kemiklerin Element Bileşimi

Kemiğin yapısal elementlerinden olan kalsiyumun dört bireyde ölçülen değerleri %33 ile %37 arasında değişmektedir (grup ortalaması %36). Bununla birlikte, elde edilen değerler canlı kemik değerinden (~ %38, Zapata vd., 2006) ve Erken Tunç Çağı İkiztepe arkeolojik topluluğundan bildirilen değerden (%40, Özdemir, 2008) düşük ancak Özdemir vd., (femur için %35,3; 2017) ve Sevdin (kaburga için %35,3; metatarsal ve metakarpal için ortalama %36,4; 2017) tarafından çalışılan Neolitik dönem Tepecik-Çiftlik değerleriyle benzerdir. Kemiğin hidroksiapatit yapısında yüksek miktarda bulunan elementlerden bir diğeri olan fosforun dört bireydeki birikimi de canlı kemik referans değerinden (~ %18, Zapata vd., 2006) ve İkiztepe topluluğundan elde edilen değerden (%18,3, Özdemir, 2008) oldukça düşüktür. Fosfor içeriği, diğer arkeolojik örnekler için bulunan değerlere benzer olmakla birlikte fosforun arkeolojik topluluklardan rapor edilen miktarları değişkenlik göstermektedir (Özdemir vd., 2017; Sevdin, 2017; Zapata vd., 2006; János vd., 2011). Kuru bireylerinde 2,53 ile 2,62 arasında dağılıma sahip olan Ca/P oranı canlı kemikteki değerler aralığından (2,07 - 2,46 ortalama Hancock vd., 1987) ve hidroksiapatitteki stokiometri ağırlık yüzdesinden (~2,16; Posner, 1966) belirgin olarak yüksektir.

Canlı kemiğin bileşenlerinden kabul edilen Mg^{+2} , Sr^{+2} ve Ba^{+2} elementleri genellikle hidroksiapatitte Ca^{+2} 'un yerine geçer. Stronsiyumun dört bireydeki analiz sonuçları canlı kemik referans değerinden (< 200 ppm, Zapata vd., 2006) yüksek olmasına rağmen arkeolojik kemik için diyagenезin göstergesi olarak kabul edilen 1000 ppm değerinden düşüktür (Kyle, 1986; Radosevich, 1993). Stronsiyum aynı zamanda toprak minerallerinde (plajiyoklas) bulunan bir elementtir (López-Costas vd., 2016). Bölgenin jeolojisine bağlı olarak değişen toprak içeriği beslenme zincirinde yüksek değerlere yol açabilmektedir (İkiztepe için 722 ppm, Özdemir, 2008; Tepecik-Çiftlik için 712 ppm, Özdemir vd., 2017). Stronsiyumla benzer kimyasal özellikler gösteren Ba mezar odasından ele geçen bireylerde canlı kemik referans değerinden (< 50 ppm, Zapata vd., 2006) düşükken mezar odası dışından ele geçen bireyde (BDK-K4) bariz olarak yüksektir. Kuru bireylerinin magnezyum birikimi canlı kemik değerinden (< %0,6, Zapata vd., 2006) düşük ölçülmüştür.

Toprakta ve modern kemik örneklerinde yaygın olarak bulunan Cu, Fe, Zn ve Pb gibi metallerin izleri (Martínez-García vd., 2005) dört bireyde tespit edilmiş olmasına rağmen Fe ve Pb açısından BDK-K4 numaralı birey yüksek birikim gösterir. Mezar odasından ele geçen BDK-K2 numaralı birey de Fe ve Pb birikimi açısından ikinci yüksek değer gösterendir. Fe ve Zn temel elementlerden iken, Pb sıklıkla Ca ile kemik matrisine yer değiştirir (Schroeder vd., 1966). Temel elementlerin bir diğeri olan bakırın BDK-K4 numaralı bireydeki miktarı canlı kemik değerinden (< 30 ppm, Zapata vd., 2006) düşüktür. Bunlara ek olarak, Kuru örnekleri, genellikle canlı kemikte bildirilmeyen, As, Y, Th, Cd, U ve Mn gibi tipik toprak

elementlerinin tespit edilebilir konsantrasyonları ile karakterizedir. Söz konusu elementlerin BDK-K4 numaralı bireydeki birikimi oldukça yüksektir.

Mezar odası dışından ele geçen BDK-K4 numaralı birey ile mezar odası içinden ele geçen diğer üç birey arasında Cu, U, Th, Pb, Ba, Cd, Y, As, Fe ve Mn elementlerinin birikimi açısından oluşan ayrışma farklı gömü koşullarının etkisi altında olma ile açıklanabilir. Her ne kadar dört birey aynı Tümüls' ten ele geçmiş olsalar bile üç birey toprakla doğrudan temasın olmadığı mezar odasının içinden buna karşın dört numaralı birey toprakla doğrudan temas halinde mezar odasının dışından ele geçmiştir. Bu açıklamayı temel bileşen analizi desteklemektedir. İki gömü bölgesi arasında farklılaşan söz konusu kimyasal elementler birinci temel bileşeni (PC1) gruplamaktadır.

Kemiğin Kimyasal Değişimi

Kazılardan ele geçen arkeolojik kemiklerin uğradığı diyagenetik değişim, kemik kimyasal bileşeninden elde edilen (özellikle de eser elementlerden) bilgi potansiyelini sınırlayıcı bir unsurdur (Trueman vd., 2004; Pike ve Richards, 2002; Radosevich, 1993). Toprak ile uzun temas, metal içeren mezar hediyeleri söz konusu kimyasal değişimlere yol açan ana nedenlerdir (Özdemir vd., 2010b). Mekanik olarak, tartışmalı durumlar iki temel süreçten kaynaklanmaktadır; toprak kaynaklı mikro parçacıkların gözenekli kemik matrisinin içine işlenmesi ve doldurması (a) ve toprak kaynaklı elementlerin difüzyon/yer değiştirme ile toprak çözeltiden kemik içine işlenmesi (adsorpsiyon veya iyon ikamesi) (b) (Maurer vd., 2014). Bununla birlikte diyagenetik değişimin şiddeti farklı gömü koşullarından kaynaklı olarak oldukça değişkendir.

Yukarıda belirtildiği gibi Cu, U, Th, Pb, Ba, Cd, Y, As, Fe ve Mn elementleriyle yüksek pozitif ve orta dereceli negatif yüklü olan PC1 (Faktör 1, Tablo 4) toprak kaynaklı kirlenici bileşen olarak yorumlanmıştır. PC1'deki yüksek ve orta dereceli negatif yüklenmeler (Cu, Cd ve Mn) BDK-K4 birey için daha düşük (fakat içerdeki bireyler için daha yüksek), yüksek pozitif yüklenmeler (U, As, Y, Fe, Th ve Ba) ise daha yoğun (içerdeki bireyler için daha az yoğun) kemik kimyasal değişiminin göstergesidir. Dolayısıyla Faktör 1'in oluşumuna katılan pozitif yüklenme elementleri (U, Th, Ba, Pb, As, Y ve Fe) arasında oluşan iki değişkenli korelasyonlar BDK-K4 numaralı birey için güçlü ve anlamlıdır ($0,952 \geq r^2 \leq 1$, $p < 0,05$, Tablo 7).

Tablo 7: Elementler arası korelasyon matrisi (koyu renk istatistiki olarak anlamlılık ifade eder, $p < 0,05$).

Değişkenler															
	Mg	P	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Sr	Y	Cd	Ba	Pb	Th	U
Mg	1	0,924	0,998	-0,597	0,495	0,234	-0,116	0,287	0,303	0,264	0,279	0,088	0,278	0,301	0,123
P	0,924	1	0,931	-0,245	0,448	0,389	0,154	0,186	-0,085	0,133	0,606	-0,062	0,167	0,134	-0,065
Ca	0,998	0,931	1	-0,580	0,549	0,191	-0,051	0,341	0,275	0,315	0,282	0,137	0,331	0,346	0,166
Mn	-0,597	-0,245	-0,580	1	-0,387	0,291	0,552	-0,413	-0,937	-0,465	0,584	-0,426	-0,431	-0,551	-0,517
Fe	0,495	0,448	0,549	-0,387	1	-0,643	0,555	0,960	0,138	0,937	-0,155	0,855	0,952	0,920	0,833
Cu	0,234	0,389	0,191	0,291	-0,643	1	-0,345	-0,832	0,322	-0,861	0,743	-0,943	-0,843	-0,854	-0,936
Zn	-0,116	0,154	-0,051	0,552	0,555	-0,345	1	0,504	-0,712	0,439	0,359	0,405	0,482	0,346	0,305
As	0,287	0,186	0,341	-0,413	0,960	-0,832	0,504	1	0,245	0,996	-0,399	0,966	1,000	0,984	0,951
Sr	0,303	-0,085	0,275	-0,937	0,138	-0,322	-0,712	0,245	1	0,318	-0,767	0,344	0,270	0,412	0,444
Y	0,264	0,133	0,315	-0,465	0,937	-0,861	0,439	0,996	0,318	1	-0,476	0,981	0,998	0,995	0,974
Cd	0,279	0,606	0,282	0,584	-0,155	0,743	0,359	-0,399	-0,767	-0,476	1	-0,602	-0,426	-0,530	-0,662
Ba	0,088	-0,062	0,137	-0,426	0,855	-0,943	0,405	0,966	0,344	0,981	-0,602	1	0,972	0,976	0,994
Pb	0,278	0,167	0,331	-0,431	0,952	-0,843	0,482	1,000	0,270	0,998	-0,426	0,972	1	0,989	0,960
Th	0,301	0,134	0,346	-0,551	0,920	-0,854	0,346	0,984	0,412	0,995	-0,530	0,976	0,989	1	0,980
U	0,123	-0,065	0,166	-0,517	0,833	-0,936	0,305	0,951	0,444	0,974	-0,662	0,994	0,989	0,980	1

Bu küme de yer alan ve kemiğin yapısında bulunan elementlerden Fe'nin dışardaki bireydeki miktarı biyojenik sınırın üstündedir ve gömü sonrası süreçten etkilendiğini gösterir.

Analiz edilen yüksek Fe miktarı muhtemelen çözünür Fe^{2+} iyonu taşıyan oksijensiz (*anoxic*) yeraltı sularının oksijenle temas etmesi ile Fe^{3+} formunda çökelen demir iyonlarının depolanmasıyla oluşmuştur (Ramussen vd., 2017). Demirin Faktör 1'in oluşumuna pozitif yüklenme yapan As, Pb, Ba ve U'la aynı grup içinde gruplanması elementlerin beraber hareket ettiğinin ve gömü sonrası süreçte kazanıldığına göstergesi olarak yorumlanmıştır. Dolayısıyla, diagenik Fe birikimini As, Pb, Ba ve U birikiminin takip ettiği ve söz konusu elementlerin de yer altı sularından kaynaklı olduğu söylenebilir. Yüksek Fe miktarı yüksek As, Pb, Ba ve U birikimine yol açmıştır. Faktör 1'e pozitif yüklenme yapan elementler farklı gömü koşullarına işaret ederek BDK-K4 numaralı bireyi iç gruptan ayırıcı bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Tümümlüste yürütülen kazı çalışmalarında tümülüsün girişine yakın bir bölgede şiddetli yanık izi, demir cürufu ve kurşun atığı tespit edilmiştir (İren, 2012). Ek olarak, metal artıklarla aynı tabakadan çanak çömlek parçaları ele geçmiştir. Tümümlüsten ele geçen söz konusu arkeolojik veriler tümülüsün inşa edildiği alanın mezar inşasından önce demirci işliği olarak kullanıldığına göstergesi olarak değerlendirilmiştir (İren, 2012). BDK-K4 numaralı bireyin element birikimi çevrenin demir ve kurşun açısından kirli olduğunu desteklemiştir.

Buna karşın içerdeki grup Cd, Cu ve Mn miktarları açısından yüksek fakat birinci bileşene pozitif yüklenme gösteren diğer elementler bakımından çok daha düşük değerler göstermiştir. Dolayısıyla Faktör 1 dâhilinde orta dereceli negatif yüklenme ile gruplanan söz konusu elementlerin diğer metallere rekabetçi etkileşim içinde olduğu söylenebilir. Kemığın yapısında bulunan eser elementlerden olan Cu'nun içerdeki gruptaki miktarları canlı kemik değerinden oldukça yüksek olduğundan Cu birikimin yeraltı sularından kaynaklı gömü sonrası süreçle alakalı olduğu düşünülmektedir. Cu'nun, Cd ve Mn ile aynı grup içinde olması bu elementlerin de Cu ile beraber hareket ettiğine ve diyagenetik olarak kazanıldığına işaret eder. Koru Tümülüsü üzerinde yürütülen proje kapsamında mezar odasının iç mekanına yerleştirilen dijital bir *data logger* ile sıcaklık ve bağıl nem (RH) değişimi kaydedilmiştir. Sonuçlar, mezar odasının yağışlı geçen mevsim döneminde 2 aydan fazla bir süre (ölçüm yapılan Mayıs-Ağustos 2011 tarihinde) boyunca %100 RH değerine ulaştığını ortaya çıkarmıştır.

Koru bireylerinin gömü sonrası maruz kaldığı değişimler yukarıda da bahsedildiği üzere diğer iki bileşendense en iyi PC1'in ortaya çıkardığı element örüntüsü ile açıklanmıştır. Elde edilen bilgiler BDK-K4 numaralı bireyin iç grubun bir parçası olmadığı, tafonomik süreçle yerinin değişmediği gömüldüğü andan beri konumunu koruduğu yönündeki çıkarımı destekler boyuttadır. İç grup bakırın, BDK-K4 numaralı birey ise demirin grupladığı gömü sonrası değişimlere maruz kalmıştır. Hidroksiapatit matriste fosforla yer değiştiren As ve U gibi elementlerin varlığı gömü sonrası değişimlerin sadece kemığın yüzeyini etkilemediği iç katmanlara kadar nüfus ettiğine işaret eder. Ek olarak Mn, Y ve Th gibi suda çözünmeyen toprak elementlerinin yüksek değerlerde ölçülmesi kemikler üzerinde sadece kimyasal diyagenezin işlemediği aynı zamanda fiziksel diyagenezin de etkili olduğunu destekler. Kemığın mikro çatlaklarına giren parçacıklar diğer elementlerin ölçüm değerlerini arttırmıştır. Korelasyon matrisinde Y ve Th'un diğer elementlerle ilişkisi yüksek ve anlamlıdır (Tablo 7).

Kemik Kimyasal/Yapısal Bütünlüğü ve Beslenme Farklılaşması

İkinci temel bileşen (PC2) Mg, Ca ve P'nin yüksek pozitif yüklenmeleri (> 0.928) ile Cd ve Cu'nun orta dereceli pozitif yüklenmesi ile karakterizedir (Faktör 2, Tablo 4). Mn ve Ba düşük negatif yüklenme gösterir. Ca ve P'nin kemikteki miktarı biyolojik olarak düzenlendiği için (Sandford, 1992) her iki element yüksek derecede korelasyona sahiptir ve dolayısıyla kemik apatitinin birincil unsurlarıdır. Bununla birlikte PC2 birinci temel bileşenden daha düşük bir varyasyonu açıklamaktadır (%27). Bu iki elementin kemiklerde ölçülen seviyeleri ve PC2'yi oluşturan Faktör 2'ye yüksek yüklenmesi göz önüne alındığında,

PC2'deki varyasyonun görece daha düşük seviyede gerçekleşen kemik bütünlüğünü ilgilendiren diyagenetik değişiklikler ve Ca ile P miktarlarında yaşla birlikte oluşun eğilimlerle açıklanabileceği söylenebilir (Driessens ve Verbeck, 1990). Kalsiyum ve fosfor bütün bireylerde canlı kemik değerin altında ölçülmüş olması kemiğin ana bileşenlerinin (Ca ve P) miktarlarının toprak ortamıyla ilişkilili olarak zamanla azaldığına ve dolayısıyla Ca/P oranlarında arttığına işaret eder. Kemiğin yapısal bütünlüğünün bozulup bozulmadığının bir göstergesi olarak kullanılan Fe/Mn oranı en yüksek değerine BDK-K4 numaralı bireyde ulaşmıştır (Tablo 2). Dört birey arasında en çok yapısal bütünlüğü bozulan kemikler mezar odası dışından ele geçen bireye aittir.

Bu kümede yüksek pozitif yüklenme gösteren bir diğer element ise magnezyumdur. Tüm bireyler için modern referans değerden daha düşük ölçülen toprak alkali element olan Mg kemik yapıda kalsiyumun yerini alır (Shafer vd., 2008). Gömü sonrası birikimin göstergesi olabilecek negatif yüklenme Faktör 2'de görülmemektedir. Buna karşın magnezyumun Ca ve P ile beraber yüksek pozitif yüklenmesi magnezyumun biyolojik kontrol altında gömü öncesi süreçte kemiğin yapısına eklendiğini destekler. Dolayısıyla magnezyum tüm bireyler için diyetin gösterge elementi olarak ortaya çıkar ve dört birey için beslenmedeki bitkisel kaynaklara işaret eder (Giorgio vd., 2005). Daskyleion kazılarında ele geçen karbonize bitki kalıntılarının incelenmesi birçok tahıl ve baklagil türünün bölgede kullanıldığını ortaya çıkarılmıştır (Dönmez vd., 2016). Faktör 2'de orta dereceli yüklenme gösteren Cd ve Cu ile düşük negatif yüklenme gösteren Ba ve Mn arasında gömü sonrası süreçte hidroksiapatitte kalsiyumun yerine geçme için yarış olduğu söylenebilir. Bununla beraber Cu, BDK-K4 numaralı bireyde biyojenik seviyenin altındadır ve dışardaki birey için düşük hayvansal protein içeren iç organ tüketimine işaret eder (Giorgio vd., 2005). Mezar odasında yer alan üç bireyin ise Ba seviyeleri canlı kemik ortalamasının altında olması Mg gibi iç grubun beslenmesine giren bitkisel kaynakları gösterir (Burton, 2007).

nc temel bileşeni oluşturan Faktör 3 yüksek pozitif Zn ile orta seviyeli pozitif Mn ve Cd yüklenmesi gösterir. Stronsiyum Faktör 3'e yüksek negatif yüklenmiştir. Çinkonun diyagenetik Mn ve Cd ile beraber hareket etmesi gömü sonrası kazanıma işaret eder. Bununla birlikte i gruptan iki bireyin Zn ortalaması biyojenik sınırın altındadır ve gömü öncesi süreçte hidroksiapatitte Ca'nın yerine geçmek için Sr ile yarış halinde olduğunu destekler (negatif ilişki). Dolayısıyla söz konusu bireylerin beslenmesine giren yüksek protein değeri olan hayvansal gıdaların varlığını belirtir (Giorgio vd., 2005).

Diyagenezin element birikimi etkilediği durumlarda metal değerlerini normalleştirmek için kullanılan elementlerin kalsiyuma oranı diyetin tanımlanması için de kullanılmaktadır (Corti vd., 2013). Element oranları kullanarak yapılan temel bileşenler analizi tek bir bileşenle varyasyonun %100'n açıklamaktadır (Şekil 4). Gömü sonrası değişimleri ve kemik bütünlüğünün göstergesi olarak kullanılan element oranları (Ca/P, Fe/Mn, Ba/Ca, Pb/Ca) BDK-K4 numaralı bireyi gruplarken beslenmenin gösterge oranları (Sr/Ca, Mg/Ca, Zn/Ca) i grupta yer alan bireyleri sınıflamaktadır. BDK-K4 numaralı birey için Ba/Ca element oranı hayvansal protein alımının göstergesi olan Cu/Ca gibi diyagenetik oranlarla zıt yönde hareket etmiştir. Zn'nin analogu olan Cd iç grup açısından Zn/Ca oranı ile beraber hareket etmiştir. Dolayısıyla, element miktarlarının ortaya çıkardığı örüntüyü element oranlarının da desteklediğini söylemek mümkündür.

İskeletler üzerinde yürütülen patolojik çalışmalar mezar odasından ele geçen BDK-K1 numaralı bireyin beslenmesine dair dolaylı bilgiler sunarak element birikiminin ortaya çıkardığı verileri desteklemektedir. İskeletin sırt omurlarından itibaren omurganın sağ tarafında, mum akıntısına benzer bir şekilde eklem hastalıkları saptanmıştır. 5. ve 6. sırt omurları sağ tarafta birbirleriyle kaynaşmış, 7. ve 8. sırt omurları ise gaga şeklindeki çıkıntılarla kaynaşacak boyuta gelmiştir. Benzer oluşumlara 8-10. sırt omurlarında da

rastlanılmıştır. Bu bireyin bütün kemiklerinde, özellikle sağ tarafındakilerde, ligamentlerin birleştiği bölgelerde, kas tutunma alanlarında *enthesopathy* olarak tanımlanan ek kemik çıkıntıları gelişmiştir.

BDK-K1 numaralı birey omurganın sağ tarafında, sırt omurları bölümünde, iki omurun kaynaşmasını sağlayan mum akıntısı biçimindeki eklem hastalığı *disease of idiopathic skeletal hyperostosis* olarak adlandırılan, kısaca DISH olarak bilinen bir hastalığa yakalanmıştır (Roger vd., 1985; Üstündağ, 2010). Hastalıkla ilgili üzerinde en çok üzerinde durulan konu, kişilerin aşırı şişman olmaları (obezite) ile şeker hastalığına (*diabetes mellitus*) sahip olan bireylerin DISH'e yakalanma riskinin yüksek olmasıdır (Hajkova vd., 1965). Bir diğer bulgu ise, hastalığın fakirlerden ziyade zenginlerde, alt sosyoekonomik düzeydeki bireylerden ziyade üst sosyoekonomik gruptaki bireylerdeki yaygınlığıdır (Jankauskas, 2003).

Sonuç

Bu çalışmada aynı tümülüstün elde edilen dört insan iskeletine ait kemik örnekleri ölüm öncesi ve ölüm sonrası element birikimlerini değerlendirmek için analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bireylerin kemik kompozisyonunda ölüm öncesi ve sonrası süreçlerde farklılıklar oluştuğunu göstermiştir. Tespit edilen farklılıklar bireyleri ayrıştırarak gruplamış ve arkeolojik verilerin ortaya çıkardığı ayrışmayı desteklemiştir. Ölüm öncesi süreçte beslenme kaynaklı farklılaşma hayvansal protein alımında kendini göstermiştir. BDK-K4 numaralı birey daha düşük hayvansal protein içeren gıdalarla beslenirken içerdeki grup proteince daha yüksek değerde olan hayvansal gıdaları diyetlerine katmıştır. Gömü sonrası kimyasal değişimler Koru Tümülüsü'nden ele geçen dört bireyi ayrıştıran ana etmen olarak ortaya çıkmıştır. Elde edilen veriler farklı gömü koşullarından kaynaklı olarak BDK-K4 numaralı bireyin iç gruptan farklı bir süreç geçirdiğine işaret etmiştir. Dolayısıyla bireyin konumu gömü sonrası süreçte değişmemiştir.

Tümülüsler içerdiği değerli mezar hediyelerinden kaynaklı olarak tarihin her döneminde mezar soyguncularının hedefi olmuştur (Uçankuş, 1979). Elde edilen değerli mezar hediyeleri göz önüne alındığında Koru Tümülüsü'nün de tarihin her döneminde hedef olduğu açıktır. Tümülüs'te yer alan ön odadan büyük bir taşın altından ele geçen 40-50 yaşlarındaki erkek birey olası mezar soyguncusudur. Kemiklerinin kötü hasar görmüş ve parçalı halde olması muhtemelen altından ele geçtiği taş tarafından ezildiğinin ve ölümünün nasıl gerçekleştiğinin ipuçları olmuştur. Mezar soygunu tümülüs son birey yerleştirildikten sonra mezar hala birilerinin korumasındayken gerçekleşmiş olmalıdır, çünkü mezar soyulduktan sonra kemikler ve eşyalar aceleyle kenarlara ve kline altlarına süpürülmüştür. Sonrasında dromosun kapısı küçük taşlarla kapatılmıştır.

Teşekkür

Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadioğlu ve Dr. Kıymet Deniz'e, analizler için Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve İnceleme Merkezi (YEBİM)'ne ve Gazi Üniversitesi'nden Gülşen Albuz-Geren'e yardımları için teşekkür ederiz. Bu çalışmada ele alınan iskelet örnekleri, "Daskyleion (Bandırma, Balıkesir) Arkeolojik Alanı'ndaki Koru Tümülüsü'nden Ele Geçen Arkeolojik Malzemelerin Arkeometrik Yöntemlerle Belgelenmesi ve Araştırılması Projesi" (Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri - BAP 11B6055003) kapsamında incelenmiştir. Proje kapsamında elde edilen öncül veriler 5. Ulusal Biyolojik Antropoloji Sempozyumu'nda (24-25.10.2013, Ankara) sunulmuştur. Kaan İren söz konusu buluntuların çıkarılmasında ve bilim dünyasına sunulmasında katkı sağlayan Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'ne, Balıkesir Valiliğine, Bandırma Belediyesi'ne, Muğla Sıtkı Koçman

niversitesi ve İstanbul Üniversitesi BAP birimlerine, Türk Tarih Kurumu'na teŖekkrlerini sunar. Yazarların makale üzerinde herhangi bir çıkar atıŖması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Albustanlıoğlu, T. (2011). *Roma İmparatorluk Döneminde Mermer Ocakları Organizasyonu*. Ankara, Bilgin Kültür Sanat Yayınları.
- Ambrose, S. H. & Krigbaum, J. (2003). Bone chemistry and bioarchaeology. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22(3), 193-199. DOI: 10.1016/S0278-4165(03)00033-3
- Bakır, T. (2011). *Balıkesir'in Eski ağlar'daki Valilik Merkezi Daskyleion*. Balıkesir.
- Beard, B. L. & Johnson, C. M. (2000). Strontium isotope composition of skeletal material can determine the birth place and geographic mobility of humans and animals. *Journal of Forensic Science*, 45(5), 1049-1061. DOI: 10.1520/JFS14829J
- Buikstra, J.E.B. & Ubelaker, D.H. (1994). Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains. *Arkansas Archeological Survey Research Series*, No. 44.
- Burton, J. (2007). Bone chemistry and trace element analysis. *Biological Anthropology of the Human Skeleton, Second Edition*, 443-460. DOI: 10.1002/9780470245842.ch14
- Büyükkarakaya, A. M., Akyol, A. A. & zdemir, K. (2017). Investigation of weaning process in the neolithic period Tepecik-iftlik population. *Hitit University Journal of Social Sciences Institute*, 10, 169-196. doi: <http://dx.doi.org/10.17218/hititsosbil.306223>
- Carvalho, M.L., Marquesa, A.F., Lima, M.T. & Reuse, U. (2004). Trace elements distribution and post-mortem intake in human bones from Middle Age by total reflection X-ray fluorescence. *Spectrochim. Acta B*, 59, 1251-1257. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2004.01.019>
- 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(1), 17-27.
- ırak, M. & Akyol, A.A. (2014). Kilikya Toplumuna İskeletlerinde KurŖun (Pb) Dzeyleri. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstits Dergisi*, 7(1), 36-47.
- Corti, C., Rampazzi, L., Ravedoni, C. & Giussani, B. (2013). On the use of trace elements in ancient necropolis studies: Overview and ICP-MS application to the case study of Valdaro site, Italy. *Microchemical Journal*, 11, 614-623. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.07.001>
- Dnmez, E. O., Akyol, A. A., Karadağ, R., Torgan, E., & İren, K. (2017). Ancient plant remains with special reference to buckthorn, *Frangula alnus* Mill., pyrenes from Dascyleum, Balıkesir, NW Turkey. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 86(1), 1-16.
- Driessens, F. C. & Verbeek, R. K. (1990). *Biominerals*. Boston, CRC Press.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00114-001-0294-7>
- Giorgi, F., Bartoli, F., Iacumin, P. & Mallegni, F. (2005). Oligoelements and isotopic geochemistry: a multidisciplinary approach to the reconstruction of the paleodiet. *Human Evolution*, 20, 55-82. Doi:10.1007/BF02438898.

- Gonzalez-Rodríguez, J. & Fowler, G. (2013). A study on the discrimination of human skeletons using X-ray fluorescence and chemometric tools in chemical anthropology. *Forensic Science International*, 231, 407.e401-407.e406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.04.035>
- Güner, C., Aliyev, V., Atamtürk, D., Duyar, İ. & Söylemezoğlu, T. (2011). Retention of Zn, Cu, Cd, Pb, and As on human bones unearthed at a Central Anatolian Early Bronze Age excavation site (Resuloğlu, Turkey). *Eurasian Journal of Anthropology*, 2(1), 27-39.
- Güner, C., Türksoy, V. A., Atamtürk, D. & Duyar, İ. (2012). Adramytteion (Örentepe, Balıkesir) Erken Bizans dönemi insan iskeletlerinin kimyasal analizi. *İnsanbilim Dergisi*, 1(2), 81-93.
- Hajkova, Z., Streda, A. & Škrha, F. (1965). Hyperostotic spondylosis and diabetes mellitus. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 24, 536-543.
- Hancock, R.G.V., Grynpsas, M.D., & Alpert, B. (1987). Are archaeological bones similar to modern bones? An INAA assessment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 110, 283-91.
- Hedges, R.E.M. (2002). Bone diagenesis: an overview of processes. *Archaeometry*, 44 (3), 319-328.
- Hedges, R.E.M. & Millard, A.R. (1995). Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*, 22, 201-209.
- Hill, P.A. (1998). Bone remodeling. *British Journal of Orthodontics*, 25, 101-107.
- Hodson, M.E., Valsami-Jones, E., Cotter-Howells, J.D., Dubbin, W.E., Kemp, A.J., Thornton, I. & Warren, A. (2001). Effect of bone meal (calcium phosphate) amendments on metal release from contaminated soils—a leaching column study. *Environmental Pollution*, 112, 233-243. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00116-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00116-0).
- Jain, A. & Chen H. (2004). Matching of dental X-ray images for human identification. *Pattern Recognit*, 37, 1519-1532. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2003.12.016>.
- János, I., Szathmary, L., Nadas, E., Beni, A., Dinya, Z. & Mathe, E. (2011). Evaluation of elemental status of ancient human bone samples from Northeastern Hungary dated to the 10th century AD by XRF. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 269, 2593-2599. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2011.07.016>.
- Jankauskas, R. (2003). The incidence of diffuse idiopathic skeletal hyperostosis and social status correlations in Lithuanian skeletal materials. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, 289-293. DOI: 10.1002/oa.697
- Jensen, LB. (1963). Royal Purple of Tyre. *Journal of Near Eastern Studies*, 22, 104-118.
- İren, K. (2012a). The Koru Tumulus. *Current World of Archaeology*, 54, 52.
- İren, K. (2012b). Koru Tümülüsü. *Aktüel Arkeoloji*, 25, 73-75.
- İren, K. (2013). Daskyleion. In: The Encyclopedia of Ancient History. Bagnall RS, Brodersen K, Champion CB, Erskine A, Huebner SR (Eds.), First Edition; Oxford: Wiley-Blackwell, pp.1930-1931.
- İren, K., Yıldızhan, H. (2017). Persian Dascyleum: a Satrapal Center in the Southern Marmara Region (Pers Daskyeionu: Güney Marmara Bölgesi'nde bir Satraplık Merkezi). In: K.

- İren, Ç. Karaöz and Ö. Kasar (Eds.), *The Persians: power and Glory in Anatolia (Persler: Anadolu'da Kudret ve Görkem)*, 332-345: İstanbul.
- İzci, Y., Kaya, S., Erdem, O., Akay, C., Kural, C., Soykut, B., Başoğlu, O., Fenyurt, Y., Kılıç, S. & Temiz, Ç. (2013). Paleodietary analysis of human remains from a Hellenistic-Roman cemetery at Camihöyük, Turkey. *Journal of Anthropology*, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/534186>.
- Karagöz-Arihan, S.K., Akyol, A.A., Özer, İ. & Arihan, O. (2017). Beybağ-Muğla (Türkiye) Bizans Dönemi İskeletlerinin Element Analizi. *Tüba-Ar*, 21(2), 147-161.
- Katzenberg, M.A. (2000). Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography, and life history. In: Katzenberg, M.A. and Saunders, S.R. (Eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, 305-328: New York, Wiley-Liss.
- Klepinger, L.L. (1984). Nutritional assessment from bone. *Annual Review Anthropology*, 13, 75-96.
- Kimpton, C., Piercy, R., Benson, N., Tully, G., Evett, I., Hagelberg, E. & Sullivan, K. (1994). Identification of the remains of the Romanov family by DNA analysis. *Nature Genetics*, 6(2), 130.
- Kyle, J.H. (1986). Effect of post-burial contamination on the concentrations of major and minor elements in human bones and teeth. The implications for palaeodietary research. *Journal of Archaeological Science*, 13, 403-16.
- Lambert, J.B., Szpunar, C.B., Buikstra, J.E. (1979). Chemical analysis of excavated human bone from Middle and Late Woodland sites. *Archaeometry*, 21, 115-129.
- Lambert, J.B., Simpson, S.V. & Buikstra, J.E.H.D. (1983). Electron microprobe analysis of elemental distribution in excavated human femurs. *American Journal of Physical Anthropology*, 62, 409.
- Larsen, C.S. (1997). *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Lindth, U., Brune, D., Nordberg, G. & Wester, P.O. (1980). Levels of antimony, arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, selenium, silver tin and zinc in bone tissue of industrially exposed workers. *Science of Total Environment*, 16, 109-116.
- Loth, S.R. & İşcan, M.Y. (1989). Morphological assessment of age in the adults: the thoracic region. In: İşcan, M.Y. (Ed.), *Age Markers in Human Skeleton*, 105-136: Illinois, Charles C. Thomas.
- López-Costas, O., Lantes-Suárez, Ó. & Cortizas, A.M. (2016). Chemical compositional changes in archaeological human bones due to diagenesis: Type of bone vs soil environment. *Journal of Archaeological Science*, 67, 43-51.
- Malleson, T. (1990). The accumulation of trace metals in bone during fossilization. In: Priest, N.D. and Van De Vyver, F.L. (Eds.), *Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth*, 341-365: Boca Raton, FL, CRC Press Inc.
- Martínez-García, M.J., Moreno, J.M., Moreno-Clavel, J., Vergara, N., García-Sánchez, A., Guillamón, A., Portí, M. & Moreno-Grau, S. (2005). Heavy metals in human bones in different historical epochs. *Science of Total Environment*, 348, 51-72. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.12.075.
- Maurer, A.F., Person, A., Tütken, T., Amblard-Pison, S. & Segalen, L. (2014). Bone diagenesis in arid environments: an intra-skeletal approach. *Palaeogeography*,

- Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 416, 17-29.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.08.020>
- Meindl, R.S. & Lovejoy, C.O. (1985). Ectocranial Suture Closure: A revised method for the determination of skeletal age of death based on the lateral-anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology*, 68, 57-66.
- Onurkan, S. (1988). *Doğu Trakya Tümüsleri Maden Eserleri, İstanbul Arkeoloji Müzelerindeki Trakya Toplu Buluntuları*, Ankara, TTK Yayınları.
- Özdemir, K., Akyol, A.A. & Büyükkarakaya, A. M. (2017). Dietary Changes across the Neolithic Levels of the Tepecik-Çiftlik Population Tepecik-Çiftlik Topluluğunun Neolitik Dönem Tabakaları Boyunca Beslenme Değişimleri. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 594-610. DOI: 10.21547/jss.312067
- Özdemir, K. (2008). İkiztepe Tunç Çağı Topluluğunda Element Analizleriyle Beslenme Yapısının Belirlenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Özdemir, K. & Erdal, Y. S. (2009). Erken Tunç Çağı İkiztepe topluluğunda stronsiyum-kalsiyum oranı ile süttten kesme yaşının belirlenmesi. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 52, 128-140.
- Özdemir, K., Erdal, Y. S., & Büyükkarakaya, A. M. (2010a). İkiztepe çocuklarında beslenme ve büyüme. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 25, 375-398.
- Özdemir, K., Erdal, Y. S. & Demirci, Ş. (2010b). Arsenic accumulation on the bones in the Early Bronze Age İkiztepe Population, Turkey. *Journal of Archaeological Science*, 37(5), 1033-1041. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.12.004>
- Papliaka, Z. E., Konstanta, A., Karapanagiotis, I., Karadag, R., Akyol, A. A., Mantzouris, D. & Tsiamyrtzis, P. (2017). FTIR imaging and HPLC reveal ancient painting and dyeing techniques of molluskan purple. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9(2), 197-208. DOI 10.1007/s12520-015-0270-3
- Pearson, J.A., Hedges, R.E.M., Molleson, T.I. & Özbek, M. (2010). Exploring the relationship between weaning and infant mortality: an isotope case study from Aşikli Höyük and Çayönü Tepesi. *American Journal of Physical Anthropology*, 143, 448-457. DOI: 10.1002/ajpa.21335
- Pike, A.W.G. & Richards, M.P. (2002). Digenetic arsenic uptake in archaeological bone. Can we really identify copper smelters? *Journal of Archaeological Science*, 29, 607-11. <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0754>
- Pollard, A.M. & Heron, C. (1996). *Archaeological Chemistry*. Cambridge.
- Posner, A.S. (1969). Crystal Chemistry of Bone Mineral. *Physical Review*, 49, 760-792.
- Radosevich, S.C. (1993). The six deadly sins of trace element analysis: a case of wishful thinking in science. In: Sandford M.K. and Langhorne P.A. (Eds.), *Investigations of ancient human tissue. Chemical Analyses in Anthropology*, 269-332: PA, Gordon and Breach Science Publishers.
- Rasmussen, K L., Skytte, L., D'imporzano, P., Orla Thomsen, P., Søvsø, M. & Lier Boldsen, J. (2017). On the distribution of trace element concentrations in multiple bone elements in 10 Danish medieval and post-medieval individuals. *American Journal of Physical Anthropology*, 162(1), 90-102. DOI: 10.1002/ajpa.23099
- Reitsema, L.J. & Vercellotti, G. (2012). Stable Isotope Evidence for Sex- and Status-Based

- Variations in Diet and Life History at Medieval Trino Vercellese, Italy. *American Journal of Physical Anthropology*, 148(4), 589-600.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.12.004>
- Reynard, L.M. & Hedges, R.E.M. (2008). Stable hydrogen isotopes of bone collagen in palaeodietary and palaeoenvironmental reconstruction, *Journal of Archaeological Science*, 35, 1934-1942. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.12.004>
- Rogers, J., Watt, I., Dieppe, P. (1985). Paleopathology of spinal osteophytosis, vertebral ankylosis, anklylosing spondylitis, and vertebral hyperostosis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 44, 113-120.
- Sandford, M.K. (1992). A reconsideration of trace element analysis in prehistoric bone. In: Katzenberg, M.A., Saunders, S.R. (Eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, 79-103: New York, Wiley-Liss.
- Schroeder, H.A., Balassa, J.J. & Tipton, I.H. (1966). Essential trace metals in man:manganese: a study in homeostasis. *Journal of Chronic Diseases*, 19, 545-571.
[http://dx.doi.org/10.1016/0021-9681\(66\)90094-4](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9681(66)90094-4).
- Schutkowski H, Herrmann B, Wiedemann F, Bocherens H & Grupe G. (1999). Diet, status and decomposition at Weingarten: trace element and isotope analyses on early mediaeval skeletal material. *Journal of Archaeological Science*, 26, 675-685.
- Sevdim, E.E. (2017). Farklı Arkeolojik Kemik Türlerinde Element Birikiminin Değerlendirilmesi: Tepecik-Çiftlik Örneği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Shafer, M. M., Siker, M., Overdier, J. T., Ramsel, P. C., Teschler-Nicola, M. & Farrell, P. M. (2008). Enhanced methods for assessment of the trace element composition of Iron Age bone. *Science of the total environment*, 401(1-3), 144-161. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.02.063.
- Stieglitz, R. R. (1994). The Minoan Origin of Tyrian Purple. *The Biblical Archaeologist*, 57(1), 46-54.
- Stipisic, A., Versic-Bratincevic, M., Knezovic, Z.& Sutlovic, D. (2014). Metal content in medieval skeletal remains from Southern Croatia. *Journal of Archaeological Science*, 46, 393-400. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.032>.
- Workshop of European Anthropologists-WEA. (1980). Recommendation for age and sex diagnoses of skeleton. *Journal of Human Evolution*, 9, 517-549.
- Trueman CNG, Behrensmeyer AK, Tuross N & Weiner S. (2004). Mineralogical and compositional changes in bones exposed on soil surfaces in Amboseli National Park, Kenya: diagenetic mechanisms and the role of sediment pore fluids. *Journal of Archaeological Science*, 31, 721-39. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2003.11.003>.
- Uçankuş, H. T. (1979). Afyon'un Tatarlı Kasabasında Bulunan Phryg. Tümülüsü Kazisi. VIII. *Türk Tarih Kongresi*, 305-333.
- Üstündağ, H. (2010). Paleopathological Evidence for Social Status in a Byzantine Burial from Kuşadası, Kadıkalesi/Anaia (dis. Aydın, TR): A Case of Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis (DISH). In Byzanz –Das Römerreich im Mittelalter (Teil 1: Welt der Ideen, Welt der Dinge), Monographien des RGMZ, Volume 84, 1, (Falko Daim, Jörg Drauschke Hrsg.), (p: 199-208), Mainz.
- Wilson, L. & Pollard, M. (2002). Here today, gone tomorrow? Integrated experimentation and

geochemical modeling in studies of archaeological diagenetic change. *Accounts of Chemical Research*, 35(8), 644-651. DOI: 10.1021/ar000203s.

Zapata, J., Perez-Sirvent, C., Martinez-Sanchez, M.J. & Tovar, P. (2006). Diagenesis, not biogenesis: two late Roman Empire skeletal examples. *Science of Total Environment*, 369 (1-3), 357-368. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.05.021.
