



Adramytteion (Örentepe, Balıkesir) Erken Bizans dönemi insan iskeletlerinin kimyasal analizi¹

Cenk Güner^{1*}, Vugar Ali Türksöy², Derya Atamtürk³, İzzet Duyar³

¹Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Antropoloji Bölümü, Hatay

²Ankara Üniversitesi Adli Bilimler Enstitüsü, Ankara

³İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Antropoloji Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 27.04.2012

Kabul tarihi: 17.03.2013

Öz: Bu çalışmada bir Batı Anadolu Erken Bizans Dönemi antik yerleşim alanı olan Adramytteion (Örentepe, Balıkesir) kazı alanından çıkarılan 17 bireye ait kaburga kemiklerinden alınan örneklerde çinko (Zn), bakır (Cu), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve arsenik (As) metallerinin birikimleri incelenmiştir. Pb ve Cd metallerinin analizlerinde Grafit Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (GFAAS) kullanılmıştır. Cu ve Zn analizleri Fast Sequential Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (FSAAS), As analizi ise Hidrür Sistemli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (HSAAS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zn, Cu, Cd, Pb ve As aralıkları sırasıyla 97,55-391,59 ppm; 32,92-56,63 ppm; 0,20-2,72 ppm; 8,08-44,98 ve 17,05-54,35 ppm' dir. Birikimin kaynağının anlaşılabilmesi için alandan temin edilen toprak ve su örneklerinde de metal seviyeleri ölçülmüştür. Kemik/toprak oranları ve maden yataklarına yakınlık durumları göz önüne alındığında Adramytteion iskelet serisinde tespit edilen yüksek metal birikimleri, diyagenetik etkinin belirleyici bir faktör olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte su örneklerinin, kemikteki metal birikimlerine etkisinin bulunmadığı saptanmıştır. Özellikle Cu sonuçları incelendiğinde, metal/toprak oranının aşırı yüksek değerler göstermesinin altında yatan sebeplerin, ancak bu toplumun yaşam biçimi üzerine daha fazla sayıda çalışma yapılması ile aydınlatılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal antropoloji, biyoarkeoloji, Erken Bizans Dönemi (EBD), insan kemikleri, diyagenetik faktörler

The chemical analysis of human bones dating back to Early Byzantine period found at Adramytteion (Örentepe) in Balıkesir

Abstract: In this study, rib bones belonging to 17 individuals excavated from Adramytteion(Örentepe, Balıkesir), an ancient Western Anatolia settlement, were

*Yazışma adresi: Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Antropoloji Bölümü, Tayfur Sökmen Kampüsü, 31034 Hatay (e-posta: cguner@mku.edu.tr)

¹Bu makale, birinci yazarın Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü'ne 2011 yılında sunduğu "Arkeolojik İnsan Kemiklerinde Toksik Metal ve İz Elementlerinin Analizi: Adramytteion (Örentepe) ve Resuloğlu Örnekleri" adlı doktora tezinin verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

analyzed in order to detect the retention of zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd), lead (Pb) and arsenic (As). Graphite Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) was used for the analysis of Pb and Cd. Cu and Zn levels were determined using Fast Sequential Atomic Absorption Spectrometry (FSAAS). Hydride System Atomic Absorption Spectrometry (HSAAS), however, was used for As retention. The ranges of Zn, Cu, Cd, Pb and As were 97,55-391,59 ppm; 32,92- 56,63 ppm; 0,20-2,72 ppm; 8,08-44,98; 17,05-54,35 ppm, respectively. Moreover, soil and water samples gathered from the excavation area were analyzed to interpret the origin of metal accumulation. When taken into account bone/soil ratios of the metals and proximity to the ore deposits, diagenetic effect as a fundamental determiner is thought the main reason behind such higher concentrations traced on bones. On the other hand, it was found that water was not one of the sources related with this retention. Considering higher Cu retention in terms of metal/soil ratio, more researches are needed about the lifestyle of Adramytteion population to understand the reasons better.

Key words: Chemical anthropology, bioarchaeology, Early Byzantine Period (EBP), human bones, diagenetic factors

Giriş

Arkeolojik kemikleri konu alan kimyasal çalışmalar, eski toplumların ekolojik ilişkilerinin ve sağlık durumlarının anlaşılmasına yardımcı olur. Bu tür veriler, eski toplumların yaşam biçimlerinin yeniden kurgulanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda yapılan kimyasal araştırmalar genellikle paleo-çevre ve biyoarkeoloji başlıkları altında gruplandırılmaktadır (Katzenberg ve Harrison, 1997; Wright ve Yoder, 2003). Kimyasal incelemelerde, kurşun, arsenik ve kadmiyum gibi metallerin birikimleri analiz edilerek çevresel özellikler ve kirlilik düzeyi anlaşılabilirken, bakır ve çinko gibi iz elementleri ise beslenme konusunda bilgiler verebilmektedir (Farnum ve ark., 1995; Jurkiewicz ve ark., 2004).

Literatürde toksik metaller ve esansiyel metalleri referans alarak yapılmış pek çok kemik kimyası çalışması bulunmaktadır. Glen-Haduch ve ark. (1997)'nin Neolitik ve Erken Tunç Çağı (ETÇ) iskeletlerinde Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS) kullanarak bazı kemik patolojileri ile metaller arasındaki ilişkiyi tespit etmeleri; González-Reimers ve ark. (2001, 2003)'nin Kanarya Adaları'nda (İspanya), insan ve hayvan kemikleri üzerinde kurşun, bakır ve kadmiyum maruziyetlerinin sebeplerini ortaya koymaları, Grattan ve ark. (2002, 2005) ile Pyatt ve ark. (2005)'nin Güneybatı Ürdün'de bulunan Faynan Vadisi'nde, Roma dönemine tarihlendirilen bir yerleşimde bakır izabesiyle uğraşan madencilere ait kemiklerdeki bakır ve kurşun birikimleri ile çevre kirliliği arasındaki ilişkileri ortaya koymaları önde gelen örnekleri oluşturmaktadır. Bütün bu çalışmalar, arkeolojik insan kemiklerinde tespit edilen toksik metaller ve iz elementlerinin yaşam biçimine ve beslenmeye dayalı doğal birikim haricinde arsenikli bakır alaşımı ya da bronzdan yapılmış çeşitli aletler, silahlar ve ziynet eşyaları gibi eserler ile toprağın diyagenetik etkisi nedeniyle meydana geldiğini göstermiştir (Martínez-García ve ark., 2005; Millard, 2006; Özdemir ve ark., 2010).

Kemiklerin kimyasal ve fiziksel yapılarını değiştiren birincil faktör olan diyagenez, toprakta meydana gelen kümülatif, fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişim süreçleri olarak tanımlanmakta ve bozunma ya da korunma durumlarını belirleyerek metal düzeylerinde önemli ölçüde artışlara neden olmaktadır (Wilson ve Pollard, 2002). Diyagenetik etkinin gücünü ise kemiğin yapısı, toprağın jeolojik özellikleri, gömü ortamının klimatolojik durumu ve yer altı sularının özellikleri gibi bir dizi parametre belirlemektedir (Zapata ve ark., 2006). Diğer taraftan, pestisitler, suni gübreler ve kirlenmeye bağlı diğer kimyasallar ile artezyen kuyuları ve madencilik faaliyetleri de metal birikimlerine sebebiyet vermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, toplumlararası farklılıkları ve toplumların yaşadıkları dönemde çevreleri ile kurdukları ilişkileri ortaya koyma adına, Anadolu'da Erken Bizans Dönemine (EBD) tarihlendirilen Adramytteion-Örentepe kazı alanından ele geçen kemiklerde bazı toksik metaller (kadmiyum, kurşun ve arsenik) ve iz elementleri (çinko ve bakır) konsantrasyonlarının belirlenmesidir.

Adramytteion (Örentepe)

Adramytteion, Balıkesir'in Burhaniye ilçesi sınırları içerisinde yer alan bir antik kenttir. Günümüzde turistik bir belde olan Ören, bu antik kentin kalıntıları üzerine inşa edilmiştir. Balıkesir çevresine arkeolojik olarak bakıldığında bu yörede pek çok höyük ve iskân edilmiş mağara olduğu görülmektedir (Şekil 1).

Topografik olarak düz olan arazide yapılan arkeolojik çalışmalardan elde edilen bulgular buralara M.Ö. 8000–3000 yılları arasında yerleşilmiş olduğunu ortaya koymaktadır (Duyar ve Atamtürk, 2006; Kavrul, 2006). Bilinen kaynaklara göre, kent Lidya Kralı Alyattes'in oğlu Adramys (M.Ö. 6. yüzyıl) tarafından Mysialılara karşı bir kale olarak, Eunus'un güneyinde bir tepe üzerine kurulmuştur (bugünkü Ören mahallesi). Antik kaynaklarda Adramytteion sadece bir şehir değil, aynı zamanda bir bölge adı olarak da anılmaktadır. Bu duruma göre Adramytteion bölgesi Gargara'dan (Küçükkuyu) başlayarak Pyrrha (Gömeç sınırları içinde kalan Karaburun'a) kadar uzanan bir coğrafi bölgedir. Bu bölge Edremit'in kıyı kesimi ile Burhaniye'nin tümünü içine almaktadır. Bölge içinde Adramytteion dışında başka kentler bulunduğu da belirtilmektedir (Kavrul, 2006). Klasik Dönemde yerli halkın yanı sıra, bölgenin Lidyalılar, Aeoller ve bir süre için Kimmerler tarafından iskân edildiği bilinmektedir (Kavrul, 2006).



Şekil 1. Adramytteion kazı alanının konumu ve bölgedeki diğer antik yerleşimler.

Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında incelenen materyal, Adramytteion'da 2005 yılı kazı sezonunda gün ışığına çıkartılan ve Erken Bizans Dönemine tarihlendirilen 17 bireye ait kaburga kemiği (costae) parçalarından oluşmaktadır.



Şekil 2. Adramytteion kazı alanından bir görünüş (Çoruhlu, 2005).

Adramytteion antik kentinde bulunan iskeletler basit toprak ya da kiremit mezarlardan ele geçirilmiştir. Söz konusu örneklerin temizlik ve onarımı Ankara Üniversitesi Disiplinlerarası Adli Bilimler Anabilim Dalı'nda yapılmıştır (Duyar ve Atamtürk, 2006). Bu işlemlerin ardından örneklerin palodemografik özellikleri belirlenmiştir. Başta leğen kemiği ve kafatası olmak üzere iskelet üzerindeki morfolojik özelliklere dayalı olarak yapılan söz konusu belirlemelerde Buikstra ve Ubelaker (1994)'in editörlüğünde hazırlanmış olan standart teknikler kullanılmıştır.

Diyagenetik faktörlerin ne derecede etkili olduğunun anlaşılabilmesi adına kazı alanının yer üstü ve yer altı katmanlarının farklı bölgelerinden 5'er adet olmak üzere toplam 10 adet su ve toprak numunesi alınarak analizleri yapılmıştır.

Reaktif ve Çözeltiler

Araştırmada kullanılan tüm kimyasal maddelerin analitik saflıkta olmasına özen gösterilmiştir. Konsantre HNO_3 , H_2O_2 ve HCl için Merck, NaBH_4 için Fluka, NaOH için Sigma-Aldrich ve KI için Riedel-de Haen tercih edilmiştir. Çalışma boyunca kullanılan yüksek saflıkta deiyonize su Innovation Pure Water System (Human Corporation) kullanılarak elde edilmiştir. Asetilen ve yüksek saflıkta argon gazları Oksan Kollektif Şirketi, Ankara firmasından tedarik edilmiştir.

Kemik Örneklerinin Metal Analizi

Öncelikle her bir poşette etiketlenmiş olarak saklanan kemik dokular, sıralı bir biçimde çıkartılarak Janke&Hunkel Ultra-Turrax T25 homojenizatörü ile 50 ml'lik döner kapaklı polipropilen tüpler içerisinde toz haline getirildikten sonra örnekler hassas terazi ile 0,1 gram halinde tartılarak yüksek sıcaklığa dayanıklı mikrodalga teflon tüplerine konulmuştur. Üzerlerine 5 ml %65'lik nitrik asit (HNO_3) ve 5 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) eklenen örnekler yaklaşık yarım saat beklemeye bırakılmıştır. Bütün karışımlar 10 dakika boyunca $210\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 1600W Cem Mars Xpress mikrodalga fırında yakıldı ve işlemin tamamlanmasından sonra 5 dakika süresince fırın içerisinde beklemeye alınmıştır.

Böylelikle yakılma fazı sona eren doku örnekleri, 50 ml'lik döner kapaklı polipropilen tüplere aktarılarak toplam hacim 50 ml olacak şekilde deiyonize su ile tamamlanmıştır. Arsenik analizi için bu çözeltilerden 25 ml alınarak öncesinde 10 ml konsantre HCl ve 1 ml %50'lik KI eklenmiş 50 ml'lik polipropilen tüplere taşınmıştır. Daha sonra bu örneklerle, toplam hacim 50 ml'ye tamamlanacak şekilde ultra saf su katılmış ve karışım, analize başlanmadan önce 30 dakika beklemeye bırakılmıştır. Uygulanan bu işlemlerle öndirgeme basamağı gerçekleştirildi. Diğer taraftan, kalan 25 ml'lik çözeltiler dört metalin analizi için kullanılmıştır. Böylece az miktarda doku örneğinden tek bir yakma metodu kullanılarak ve çözelti homojenizasyonu ile harcama miktarı optimum seviyede tutularak işlemler tamamlanmıştır. Örnekler +4 °C'de ve polipropilen tüplerin içerisinde saklanmıştır.

Analizlerde, kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) için Varian AA 240 Z Zeeman Grafit Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (GFAAS), bakır (Cu) ve çinko (Zn) için ise Varian AA 240 FS Fast Sequential Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (FSAAS) kullanılmıştır. Arsenik analizi Hidrür Sistemli Atomik Absorbsiyon Spektrometre cihazında Electrothermal Temperature Controller (ETC-60) ve Varian Vapor Generation Accessory (VGA77) kullanılan yöntemle yapılmıştır. Arsenik bileşikleri asidik ortamda redüktant kullanılarak serbest arsenik metaline indirgenmiştir. HCl asidik ortamın sağlanması için kullanılırken, %0,3 NaBH₄ ve %0,5 NaOH içeren çözeltiler ise redüktant olarak kullanılmıştır. Diğer taraftan, argon ortam gazı olarak kullanılmıştır.

Kalibrasyon grafiği, 1000 ppm'lik stok solüsyonundan uygun konsantrasyonda standart çözeltilerle oluşturularak, kantitatif analiz amacıyla ölçümleri yapılmış ve ardından 3 noktalı kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. 5 µl %65 saflıkta HNO₃, piklerin hazırlanan standartlarda düzgün çıkması için eklenmiştir. Kalibrasyon eğrisi, her bir standart çözeltiden 3 kez ölçüm yapılmak suretiyle oluşturuldu. Her bir metal için o metale ait oyuk katot lambası, özgün dalga boylarına ayarlanarak kullanılmıştır. Örnekler için üçer kez ölçüm yapılmış ve kalibrasyon 20 örnekte bir tekrarlanmıştır. Metaller bakımından ppm düzeyinde verilen kemik ve toprak örneklerine ait değerler, su örneklerinde ise ppb olarak verilmiştir. Bunun yanı sıra tüm örnekler, analitik metodun validasyonu amacıyla NIST-SRM 1400 (kemik külü) standart referans materyali ile sertifikaya edilmiştir.

Toprak Örneklerinin Metal Analizi

Meydana gelebilecek bir kirlenmeyi önlemenin yanı sıra en erken ve en geç toprak oluşumları arasındaki farklılıkları belirleme adına, yüzeyin 20-25 cm altından olacak şekilde ve kazı alanının beş farklı bölgesinden toprak örnekleri toplanmıştır.

75°C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde kurutulmuş bu örneklerin her birinden hassas terazi ile 0,5 gram toprak tartıldıktan sonra yüksek sıcaklığa dayanıklı basınçlı sisteme sahip mikrodalganın teflon tüplerine konulmuştur. Üzerlerine 3 ml %65'lik nitrik asit (HNO₃) ve 9 ml hidroklorik asit (HCl) eklenerek mikrodalga fırında yakma işlemine geçilmiştir. Toprak örnekleri için yanma prosedürleri, Ethos Plus application note 031 (June 2000)'a dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Örnekler için uygulanan yakma sonrası işlemler, analizleri için takip edilen protokoller ve kullanılan aletler, kemik örnekleri için yapılanlardan herhangi bir farklılık göstermemiştir.

Su örneklerinin metal analizi

Kazı alanının beş farklı bölgesinden alınan su örneklerinin pH değerleri, bir pH metre yardımıyla ölçülmüş ve bu değerlerin 6,9-7,3 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yeterli ölçüde su örnekleri, polipropilen tüplere aktarılmış ve üzerlerine %1 nitrik asit eklenmiştir. Bu örneklerin analizlerinde de kemik ve toprak örnekleriyle aynı yöntem ve ekipmanlar kullanılmıştır. Toprak ve su örneklerinin tanımlayıcı istatistikleri, kazı alanının beş farklı bölgesindeki ortalama değerleri referans alınarak hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analizler

SPSS Statistics 20 yazılım paketi kullanılarak yorumlanan istatistiksel analizler için öncelikle ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı, minimum ve maksimum değerlerden oluşan tanımlayıcı istatistikler hesaplanmıştır. Anlamlılık düzeyi için, örneklem büyüklüğü ve özellikleri göz önüne alınarak cinsiyetler arasındaki farklılıklar Mann-Whitney U testiyle, yaş grupları arasındaki farklılıklar ise Kruskal-Wallis parametrik olmayan testleriyle analiz edilmiştir.

Bulgular

Adremyteion iskeletlerinin kimyasal açıdan incelenebilen örneklerine ait demografik bilgiler ve analizi yapılan metallerin konsantrasyon düzeyleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Her bir metal için ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerlerden oluşan tanımlayıcı istatistik değerleri ise Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 1. Örneklerin cinsiyet ve yaş gruplarına göre dağılımı ve metal konsantrasyon bulguları

Kayıt No	Yaş Grubu	Cinsiyet	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
G-13/SK7	Çocuk	Belirsiz	239,94	46,88	414,73	8,69	27,64
A-3	Çocuk	Belirsiz	348,58	48,77	2715,03	9,22	20,96
G-24/SK4/1	Adölesan	Erkek	158,12	52,75	241,37	27,01	32,76
G-18/SK5	Adölesan	Erkek	97,55	33,97	202,95	17,96	22,23
G-28	Adölesan	Erkek	177,73	43,81	301,60	14,35	17,84
G-2	Genç Erişkin	Kadın	134,70	50,39	568,49	13,24	32,67
G-3	Genç Erişkin	Erkek	194,04	32,92	936,58	17,90	19,59
G-26	Genç Erişkin	Erkek	162,86	37,45	757,37	26,37	21,34
G-6/SK1	Orta Erişkin	Kadın	150,02	38,58	407,83	21,22	26,85
G-12/SK9	Orta Erişkin	Kadın	233,05	43,88	2175,37	8,08	54,35
G-6	Orta Erişkin	Kadın	185,49	44,99	483,53	13,19	29,54
G-17/SK4	Orta Erişkin	Erkek	144,36	43,24	230,38	27,31	33,56
G-4	Orta Erişkin	Erkek	168,39	36,78	774,33	11,67	38,86
G-27	Orta Erişkin	Erkek	391,39	40,97	754,60	17,04	35,32
G-6/SK2	Geç Erişkin	Kadın	138,21	55,76	288,55	36,14	38,39
G-7/SK3	Geç Erişkin	Kadın	100,41	56,63	433,25	44,98	31,30
G-11/SK8	Geç Erişkin	Erkek	254,41	44,08	573,49	11,97	17,05

Tablo 2. Adramyteion örneklerine ait tanımlayıcı istatistikler ($n = 17$)

	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
Ortalama	192,90	44,23	0,72	19,20	29,43
Standart Sapma	80,02	7,09	0,69	10,25	9,52
Minimum	97,55	32,92	0,20	8,08	17,05
Maksimum	391,39	56,63	2,72	44,98	54,35

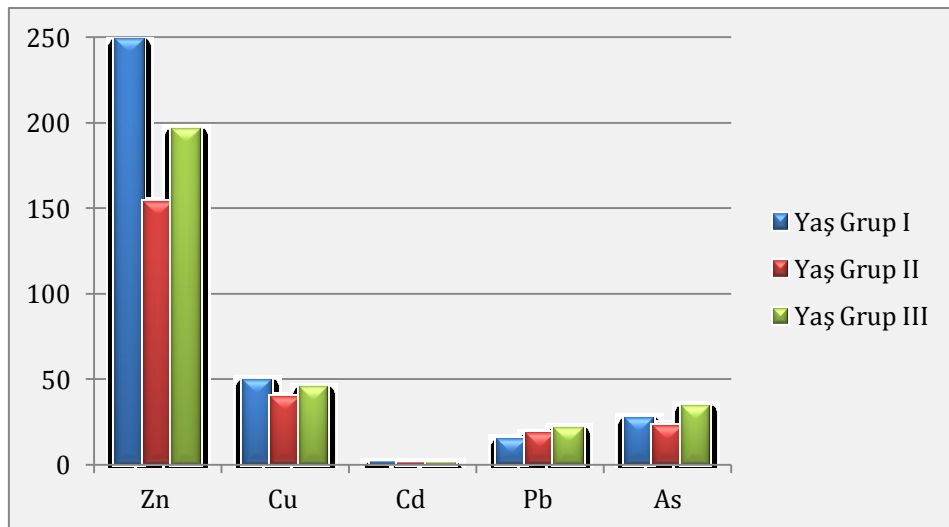
İncelenen metallerin yaş gruplarına göre değişimi ve buna ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 3’te yer almaktadır. Tabloda aynı zamanda yaş gruplarına göre metal değişim değerlerinin istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığına ilişkin değerler de gösterilmiştir. Elde ettiğimiz bu sonuçlar, incelenen metallerin yaşla bağlantılı olarak anlamlı bir değişim göstermediğini ortaya koymaktadır (Şekil 3).

Tablo 3. Adramytteion örneklerinde yaş gruplarına göre tanımlayıcı istatistikler

Yaş grupları	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
Yaş Grup I (0-18 yaş) (n=3)					
Ortalama	248,88	49,47	1,12	14,97	27,12
Standart sapma	95,54	2,99	1,39	10,43	5,92
Minimum	158,12	46,88	0,24	8,69	20,96
Maksimum	348,58	52,75	2,72	27,01	32,76
Yaş Grup II (19-34 yaş) (n=5)					
Ortalama	153,38	39,71	0,55	17,96	22,73
Standart sapma	38,09	7,33	0,31	5,15	5,80
Minimum	97,55	33,97	0,20	14,35	17,84
Maksimum	194,04	50,39	0,94	26,37	32,67
Yaş Grup III (35 ve üzeri) (n=9)					
Ortalama	196,19	44,99	0,68	21,29	33,91
Standart sapma	87,39	6,90	0,59	12,53	10,15
Minimum	100,41	36,78	0,23	8,08	17,05
Maksimum	391,39	56,63	2,18	44,98	54,35
P değeri	<i>P</i> >0,05	<i>P</i> >0,05	<i>P</i> >0,05	<i>P</i> >0,05	<i>P</i> >0,05

Tablo 4. Adramytteion örneklerinde cinsiyete göre tanımlayıcı istatistikler

	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
Erkekler (n=9)					
Ortalama	194,32	40,66	0,53	19,06	26,50
Standart Sapma	84,82	6,17	0,29	6,31	8,49
Minimum	97,55	32,92	0,20	11,67	17,05
Maksimum	391,39	52,75	0,94	27,31	38,86
Kadınlar (n=6)					
Ortalama	156,98	48,37	0,73	22,81	35,52
Standart Sapma	46,25	7,13	0,71	14,65	1,00
Minimum	100,41	38,58	0,29	8,08	26,85
Maksimum	233,05	56,63	2,18	44,98	54,35
P değeri	<i>P</i> >0,05	<i>P</i> <0,05	<i>P</i> >0,05	<i>P</i> >0,05	<i>P</i> >0,05

**Şekil 3:** Adramytteion örneklerinde metal düzeylerinin (ppm) yaş gruplarına göre dağılımı.

Metal düzeylerinin cinsiyetlere dayalı olarak hesaplanan tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, Cu metalinin cinsiyetler arasında gösterdiği fark istatistiksel açıdan önemlidir ($U = 9$; $P = 0,034$). Diğer metallerin cinsiyetler yönünden gösterdiği farklılıklar ise istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır.

Adramytteion kazı alanından alınan toprak ve su örneklerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 5'te gösterilmektedir. Zn, Cu, Cd ve As'nin gerek toprak gerek su değerleri kemikte elde edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Pb'de ise durum biraz karmaşıktır; toprakta bulunan değerler kemikte bulunandan daha yüksek iken suda bulunan değerler kemikte bulunandan daha düşük düzeydedir.

Tablo 5. Adramytteion kazı alanlarından alınan toprak ve su örneklerinin metal analizi sonuçları

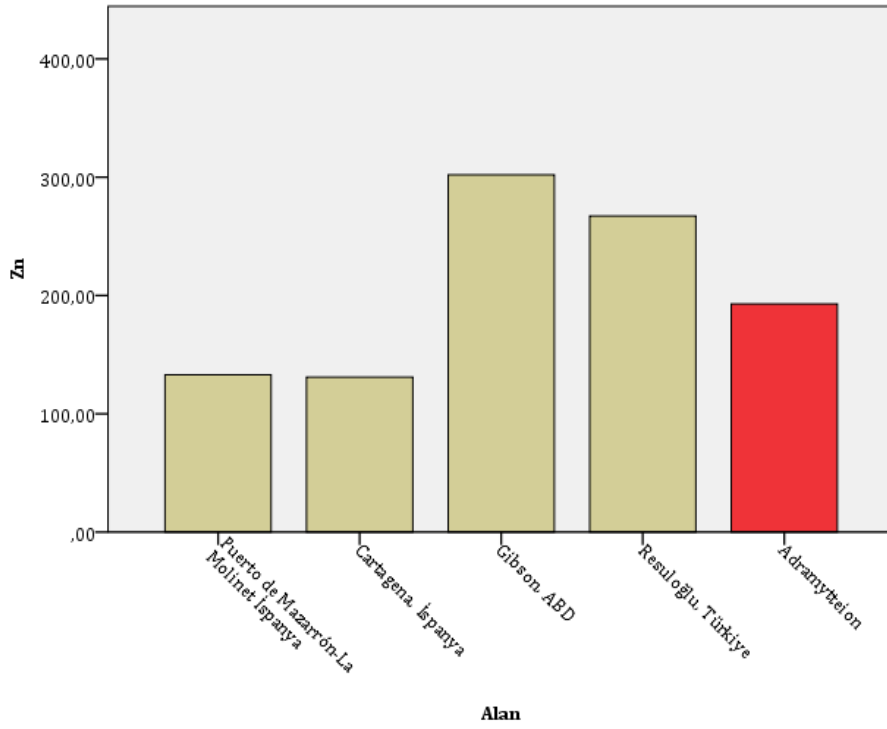
	Zn	Cu	Cd	Pb	As
Toprak (n=5)(ppm)					
Ortalama	72,24	30,65	0,10	42,9 6	7,58
Standart sapma	9,11	2,64	0,04	8,55	1,85
Varyasyon katsayısı	12,61	8,61	45,03	19,91	24,35
Minimum	63,42	28,18	0,06	35,24	5,88
Maksimum	83,61	34,78	0,18	66,32	10,99
Su (n=5) (ppb)					
Ortalama	19,04	30,61	0,02	0,26	3,89
Standart sapma	5,61	10,21	0,01	0,08	2,34
Varyasyon katsayısı	29,46	33,35	38,83	31,24	60,05
Minimum	11,66	13,00	0,01	0,15	1,14
Maksimum	25,51	41,23	0,03	0,38	7,07

Tartışma

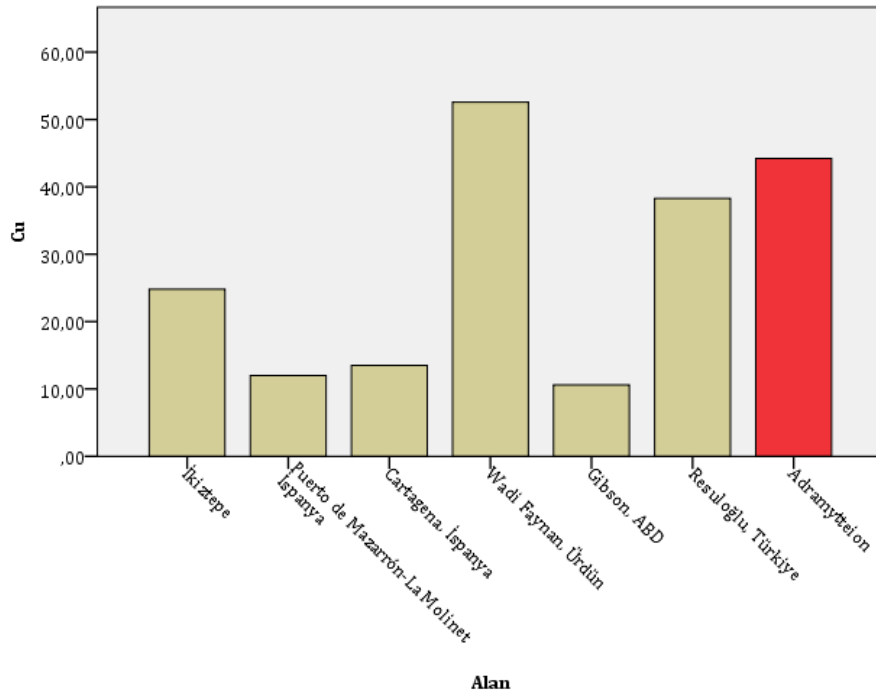
Çalışmanın örneklemini oluşturan Adramytteion Antik kenti iskeletlerine ait metal analizi sonuçlarının literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılması oldukça önemlidir. Bu nedenle Adramytteion'da gün ışığına çıkartılan iskeletlerin metal düzeyleri, literatürdeki araştırmaların verileriyle birlikte Tablo 6'da değerlendirilmiştir. Şekil 4-8'de ise her bir metal için tek tek karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 6. Çeşitli iskelet topluluklarında metal konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması

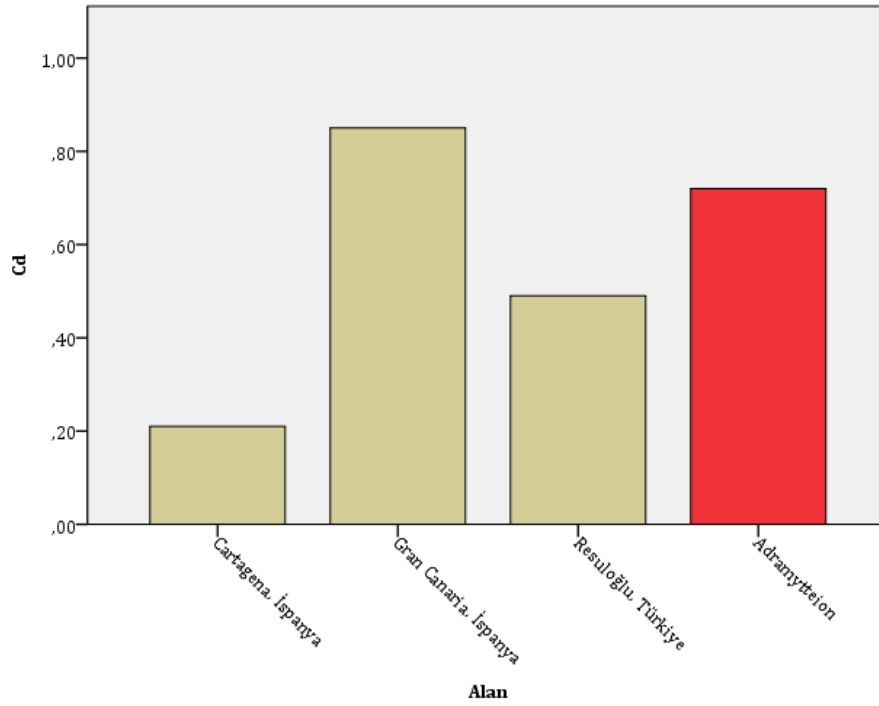
Alan	Dönem	N	Referans	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
İkiztepe, Türkiye	EBC	90	Özdemir ve ark. (2010)	-	24,80	-	21,10	15,00
Puerto de Mazarrón-La Molineta, İspanya	Geç Antik Çağ, MS 4. - 6. YY	84	Zapata ve ark. (2006)	133,00	12,00	-	225,00	-
Cartagena, İspanya	EBC	4	Martínez-García ve ark. (2005)	131,00	13,49	0,21	22,98	-
Gran Canaria, İspanya	Bronz Çağı	16	González-Reimers ve ark. (2003)	-	-	0,85	4,06	-
Wadi Faynan, Ürdün	Geç Antik Çağ MS 4. - 6. YY	36	Grattan ve ark. (2002)	-	52,57	-	42,49	-
Gibson, ABD	MS, 175± 80	86	Lambert ve ark. (1979)	302,00	10,60	-	-	-
Resuloğlu, Türkiye	EBC	81	Güner ve ark. (2011)	267,14	38,27	0,49	3,81	15,15
Adramytteion	EBD	17	Bu çalışma	192,90	44,23	0,72	19,20	29,43



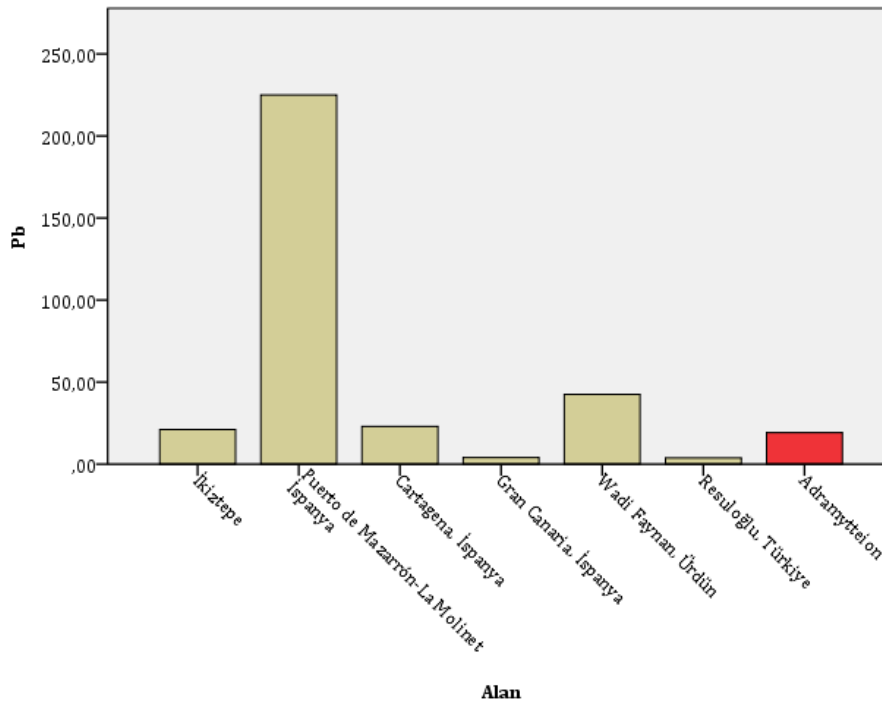
Şekil 4: Çeşitli topluluklarda Zn ortalama değerinin karşılaştırılması (ppm).



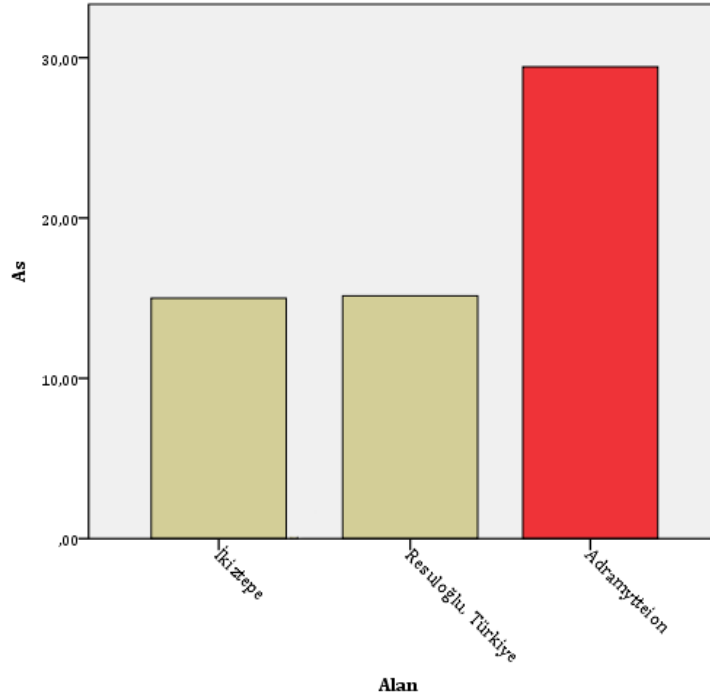
Şekil 5: Çeşitli topluluklarda Cu ortalama değerinin karşılaştırılması (ppm).



Şekil 6: Çeşitli topluluklarda Cd ortalama değerinin karşılaştırılması (ppm).



Şekil 7: Çeşitli topluluklarda Pb ortalama değerinin karşılaştırılması (ppm).



Şekil 8: Çeşitli topluluklarda As ortalama değerinin karşılaştırılması (ppm).

Adramytteion iskelet popülasyonunda bulunan ortalama Zn, Cu ve Pb değerleri, sırasıyla, 192,90 ppm, 44,23 ppm ve 19,20 ppm'dir. Aynı döneme tarihlendirilen çalışmalardan Zapata ve ark. (2006) tarafından analiz edilen Zn, Cu ve Pb değerleri ise sırasıyla, 133,00 ppm, 12,00 ppm ve 225,00 ppm'dir. Bu sonuçlar, Zn ve Cu metalleri açısından Adramytteion serisinde gözlenen konsantrasyonların Zapata ve ark. (2006)'nın sonuçlarından daha yüksek olduğunu, buna karşın Pb değerlerinin yaklaşık olarak 12 kat daha düşük düzeyde bulunduğunu göstermektedir. Bir diğer Erken Bizans Dönemi çalışması olan Grattan ve ark. (2002)'de Cu seviyesi, 52,57 ppm olarak rapor edilmektedir. Adramytteion iskeletlerinde bulunan ortalama Cu değeri ile bakır madenciliğinin yoğun bir biçimde yapıldığı bilinen Faynan Vadisi iskeletlerinin ortalama Cu değerleri arasında gözlenen bu yakınlık dikkate değerdir. MTA'nın (2010) raporlarına göre Adramytteion ve yakın çevresinde önemli maden yatakları bulunmamaktadır. Dolayısıyla, yüksek Cu değerlerinin, söz konusu madenin dışarıdan bu bölgeye getirildiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Öte yandan, Adramytteion toplumunda Cu metalinin cinsiyetler arasında gösterdiği farklılığın nedeni/nedenlerinin de ayrıca incelenmesi gerekmektedir. Tablo 4'ten de anlaşılacağı üzere kadın iskeletlerinde Cu konsantrasyonları daha yüksek düzeydedir. Bu aşamada, mezar buluntularının kadın ve erkek mezarlarına bırakılmalarında farklılık olup olmadığı sorusu akla gelmektedir. Ancak Adramytteion kazılarında metalden yapılmış mezar buluntularını konu alan özel bir değerlendirme yoktur (Çoruhlu, 2006). Dolayısıyla bu sorunun diyagenetik faktörlerle değil, toplumun yaşam ve geçim biçiminin aydınlatılmasından sonra açıklığa kavuşabileceğini ifade edebiliriz.

Tablo 6'da sunulan araştırmalarda maruziyetlerin sebepleri, çoğunlukla metal birikintilerine yakınlık (Grattan ve ark., 2002), izabe işinde çalışılması nedeniyle oluşan kronik maruziyet (Grattan ve ark., 2005) ve diyagenetik etki (González-Reimers ve ark., 2003; Lambert ve ark., 1979; Martínez-García ve ark., 2005; Zapata ve ark., 2006; Özdemir ve ark., 2010; Güner ve ark., 2011) olarak açıklanmaktadır. Birikimin kaynağı ile maruziyet düzeyinin daha iyi anlaşılabilmesi için Grattan ve ark. (2002; 2005) ile Özdemir ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmalara dayalı olarak, kemiklerdeki her bir metalin ortalama

konsantrasyonları ile topraktaki ortalama metal düzeyleri arasındaki oranlar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda Adramytteion iskelet serilerinde Zn, Cu, Cd, Pb ve As için kemik/toprak oranları sırasıyla 2,67:1, 1,44:1, 7,2:1, 0,45:1 ve 3,88:1 olarak tespit edilmiştir. Cu ve Pb için bulunan değerler kemik/toprak oranının fazla değişkenlik göstermediği, diğer bir deyişle diyagenetik faktörlerin devreye girmediği anlamına gelmektedir. Buna karşılık Zn ve As birikimlerinin arkasındaki temel sebebin diyagenetik faktörler olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan, Adramytteion popülasyonunda gözlenen yüksek Cu değerine karşın kemik/toprak oranının (1,44:1) düşük olması, bu toplumun yaşam biçimi ve madenlerle ilişkisi hakkında daha fazla çalışma yapılmasını gerektirmektedir.

Yer altı suyu ile diğer suların analizlerinde her bir metal için ortalama konsantrasyonların kemikler ve topraktaki konsantrasyonlardan göreceli olarak daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, örneklerdeki birikimlere suyun bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir.

Teşekkür

Yrd. Doç. Dr. Tülin Çoruhlu'ya gerek iskelet serilerinin çalışılmasına verdiği izin, gerekse kazı alanından sağladığı toprak ve su örnekleri için; Prof. Dr. Tülin Söylemezoğlu'na Ankara Üniversitesi Adli Bilimler Enstitüsü Toksikoloji Laboratuvarı'nı kullanımımıza açarak gerekli kimyasalları sağladığı için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Buikstra JE, Ubelaker DH. (1994) *Standards for data collection from human skeletal remains*. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey Research Series No: 44.
- Çoruhlu T. (2005) 2004 yılı Ören (Adramytteion antik kenti) kazı çalışmaları. *Kazı Sonuçları Toplantısı* (Cilt 1) 27:229-240.
- Duyar İ, Atamtürk D. (2006) Adramytteion (Örentepe) iskeletleri. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı* 22:71-82.
- Farnum J, Glascock M, Sandford M, Gerritsen S. (1995) Trace elements in ancient human bone and associated soil using NAA. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 196:267-274.
- Glen-Haduch E, Szostek K, Glab H. (1997) Cribra orbitalia and trace element content in human teeth from Neolithic and Early Bronze Age graves in Southern Poland. *American Journal of Physical Anthropology* 103:201-207.
- González-Reimers E, Velasco-Vázquez J, Arnay-de-la-Rosa M, Santolaria-Fernández F, Galindo-Martín L. (2001) Paleonutritional analysis of the Pre-Hispanic population from Fuerteventura (Canary Islands). *Science of the Total Environment* 264:215-220.
- González-Reimers E, Velasco-Vázquez J, Arnay-de-la-Rosa M, Alberto-Barroso V, Galindo-Martín L, Santolaria-Fernández F. (2003) Bone cadmium and lead in prehistoric inhabitants and domestic animals from Gran Canaria. *Science of the Total Environment* 301:97-103.
- Grattan J, Huxley S, Karaki LA, Toland H, Gilbertson D, Pyatt B, al Saad Z. (2002) 'Death... more desirable than life'? The human skeletal record and toxicological implications of ancient copper mining and smelting in Wadi Faynan, southwestern Jordan. *Toxicology and Industrial Health* 18:297-307.
- Grattan J, Abu Karaki L, Hine D, Toland H, Gilbertson D, al-Saad Z, Pyatt B. (2005) Analyses of patterns of copper and lead mineralization in human skeletons excavated from an ancient mining and smelting centre in the Jordanian desert: a reconnaissance study. *Mineralogical Magazine* 69:653-666.
- 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.
- Jurkiewicz A, Wiechula D, Nowak R, Gazdzik T, Loska K. (2004) Metal content in femoral head spongy bone of people living in regions of different degrees of environmental pollution in Southern and Middle Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 59:95-101.

- Kavrul C. (2006) Adramytteion-Ören antik kenti 2005 yılı arkeojeofizik çalışmaları. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı* 22:23-30.
- Lambert JB, Szpunar CB, Buikstra JE. (1979) Chemical analysis of excavated human bone from middle and late Woodland sites. *Archaeometry* 21:115-129.
- Martínez-García MJ, Moreno JM, 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 the Total Environment* 348:51-72.
- Millard A. (2006) Comment on Martínez-García et al. "Heavy metals in human bones in different historical epochs." *Science of the Total Environment* 354:295-297.
- MTA (2010) Balıkesir ili Mineral Haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü. Bak: http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/il_maden/pdf_2010/balikesir.pdf Erişim tarihi: Nisan 2012.
- Özdemir K, Erdal YS, Demirci S. (2010) Arsenic accumulation on the bones in the Early Bronze Age İkiztepe Population, Turkey. *Journal of Archaeological Science* 37:1033-1041.
- Pyatt FB, Pyatt AJ, Walker C, Sheen T, Grattan JP. (2005) The heavy metal content of skeletons from an ancient metalliferous polluted area in southern Jordan with particular reference to bioaccumulation and human health. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60:295-300.
- Wilson L, Pollard AM. (2002) Here today, gone tomorrow? Integrated experimentation and geochemical modeling in studies of archaeological diagenetic change. *Accounts of Chemical Research* 35:644-651.
- Zapata J, Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez MJ, Tovar P. (2006) Diagenesis, not biogenesis: two late Roman skeletal examples. *Science of the Total Environment* 369:357-368.