



Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan süt örneklerinde bazı metal düzeyleri

Erdim Ozan Çakır^{1*}, Ender Yarsan²

¹ Pendik Veteriner Kontrol Enstitüsü, İlaç Kalite Kontrol Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye

² Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Ankara, Türkiye

Geliş Tarihi / Received: 22.02.2021, Kabul Tarihi / Accepted: 03.05.2021

Özet: Süt, yaşamın her evresinde önemli bir besin kaynağıdır. Sütün bileşimi, kalıtsal, fizyolojik ve çevresel faktörler ile yetiştirme koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Günümüzde endüstrideki hızlı gelişmeye bağlı olarak ortaya çıkan çevre kirliliğinin olumsuz etkilerinden birisi de insan ve hayvanların ağır metallere maruz kalmasıdır. Sütün kontaminasyonu, insan ve hayvan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Bu olası etkileri değerlendirmek amacıyla Marmara, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgelerinden, 2007 yılında üçer aylık dört dönemde temin edilen numunelerde, sütün yapısında bulunan demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) yanında sütte bulunması muhtemel kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) düzeyleri yönünden analizler yapıldı. Pb ve Cd analizleri Grafit Fırınlı Atomik Absorbsiyon Spektrometre (GF-AAS), Fe, Cu ve Zn analizleri ise Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometre (A-AAS) ile gerçekleştirildi. Pb yönünden örneklerin 10'unun (%8,3) maksimum kalıntı limitlerini aştığı, ancak genel ortalamanın bu değerin altında olduğu görüldü. Cd, Cu, Fe, ve Zn yönünden normal sınırlar içerisinde olduğu ve insan sağlığı yönünden risk oluşturacak düzeyde olmadığı tespit edildi.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, Atomik absorpsiyon spektrometre, süt, Türkiye

Some metal levels in milk samples which were collected from different regions of Turkey

Abstract: Milk is an important food source in every stage of life. The composition of milk varies greatly depending on the animal-source, hereditary, physiological and environmental factors and the husbandry conditions. Today, one of the negative effects of environmental pollution, which occurs due to the rapid development in industry, is the exposure of humans and animals to heavy metals. Milk contamination poses a threat to human and animal health. In order to assess these potential effects iron (Fe), copper (Cu) and zinc (Zn), which are generally found in the composition of the milk as well as possibly found lead (Pb) and cadmium (Cd) levels were analyzed in samples obtained from Marmara, Black Sea, Central Anatolia, Eastern Anatolia, Mediterranean and Aegean regions for four quarterly periods in 2007. Pb and Cd analyzes were performed with Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (GF-AAS) and Fe, Cu and Zn analyzes were performed with Flamed Atomic Absorption Spectrometer (F-AAS). It was seen that 10 (8.3%) of the samples exceeded the maximum residue limits in terms of Pb, but the average was below this value. Cd, Cu, Fe, and Zn were found to be within normal limits and not to pose a risk for human health.

Keywords: Atomic absorption spectrometer, heavy metal, milk, Turkey

Giriş

Süt, geniş anlamda bütün memeli hayvanların yavru lamalarından sonra meme bezlerinde oluşturdukları biyolojik salgı olarak tanımlanır (Tekinşen 2000). Çiğ süt ise, bir veya daha fazla inek, keçi, koyun veya mandanın sağılmasıyla elde edilen, 40°C'nin üzerinde ısıtılmamış veya eşdeğer etkiye sahip herhangi bir işlem görmemiş kolostrum dışındaki meme bezi salgısıdır (Anon 2011a).

Sütün bileşimi ve elementer içeriği, önemli ölçüde farklılık gösterir. Değişimler başlıca, ineğin fizyolojisi (laktasyon dönemi, gebelik, yaş, meme sağlığı) ile kalıtım ve çevre faktörlerine, bir ölçüde

de sağım sırası, arası ve sonrası işlemlere bağlıdır (Tekinşen 2000).

Süt ve süt ürünleri beslenme açısından, oldukça önemli bir besin grubu olup, yaşamlarının her evresinde insanlar için gereklidir. Bu durumun temel sebebi; süt ve süt ürünlerinin çeşitli besin öğeleri açısından iyi bir kaynak olmalarıdır.

Günümüzde endüstrideki hızlı gelişmeye bağlı olarak ortaya çıkan çevre kirliliğinin olumsuz etkilerinden birisi de insan ve hayvanların solunum ve beslenme yoluyla ağır metallere maruz kalmasıdır. Her çevre sorununun kökeninde hava, su ve topraktan en az birinin doğal bileşiminin bozulması

kirlenmesi yatmaktadır. Özgül ağırlıkları 5 g ve bu değerler üzerinde olan metaller, ağır metal olarak nitelenmekte (Ag, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn gibi) ve bunların çok yönlü zararları neden oldukları bilinmektedir (Algan 2002; Özrenk 2002).

Canlı organizmada çeşitli biyokimyasal işlevlere sahip olan ve gıdalar aracılığıyla alınan demir (Fe), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi elementler insan vücudu için gereklidir. Bununla birlikte tavsiye edilen miktar üzerindeki seviyeleri toksik hale gelebilir. Organizma için gerekli olmayan Kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi ağır metallerin ise bilinen biyolojik bir rolü yoktur, çok düşük konsantrasyonlarda toksik etkilere neden olabilir. Bu nedenle, gıdalar aracılığıyla ağır metallerle maruziyet, insan sağlığına tehdit oluşturmaktadır. Dekompozisyon için uygun olmamaları, parçalanmamaları, yaşam boyu maruziyet ve gıda zinciri aracılığıyla yüksek seviyede birikmeleri, ağır metalleri diğer bulaşanlardan ayırır (Boudebouz 2021).

Vücuda alınan kurşun, öncelikle hemoglobinin sentezini ALA-D (*delta- aminolevülinik asit dehidraz*) ve *hem sentetaz* enzimlerini inhibe ederek iki aşamada bloke eder. Anemiye sebep olur. Kurşun doğrudan alyuvarlarda parçalanmaya yol açar (Kaya ve Akar, 1998).

Kurşunun en önemli toksik zararlarından birisi de merkezi sinir sistemi üzerine olan etkisidir. Etkilenme nedeniyle özellikle çocuklarda zihinsel hasarlar, öğrenme yeteneğinde azalma ve davranış bozuklukları görülebilir (Özrenk 2002).

FAO/ WHO uzmanlar komitesi (JECFA) geçici tolere edilebilir haftalık alım miktarını 25 mg/L vücut ağırlığı olarak belirlemiştir. Kodeks Alimentarius Komisyonu (CAC) tarafından tavsiye edilen haftalık sınır ise, 0,05 mg/L vücut ağırlığıdır. Değişik analitik veriler dikkate alındığında sütteki normal kurşun miktarlarının 0.01–0.05 mg/L arasında değiştiği ifade edilebilir. Günde 1 litre ortalama seviyede kurşun içeren süt tüketildiğinde (ve / veya denk miktarda süt ürünleri), tolere edilebilir kurşun alınımında sütün etkisi %1'den az olmaktadır. 1881/2006 EC sayılı Avrupa Birliği Komisyon Tüzüğü çiğ süt için 0.02 mg/L düzeyinde sınırlama getirmiştir (Anon 2006).

Kadmiyum, endüstriyel kullanımı yaygın kanserojen, toksik bir elementtir. Uzun yarı ömrü (15-30 yıl) ve insan sağlığı üzerinde teratojenik, kanserojenik, hepatotoksik, nefrotoksik, iskelet ve üreme sistemlerine çok yönlü zararlı etkileri nedeniyle en toksik endüstriyel ve çevresel ağır metallerden biri kabul edilmektedir (Boudebouz 2021).

JECFA insanların her kg ağırlığı başına haftalık 0.007 mg/L kadmiyum almasına tolerans tanınmıştır. Öte yandan bazı özel yiyeceklerin alımı ile (örneğin böbrek ve keten tohumu) önerilen değerlerden daha fazla kadmiyum alınabildiği yapılan bir takım çalışmalarda gösterilmiştir. İnek sütünün kadmiyum içeriği 0,0002 mg/L ile 0,0008 mg/L (ortalama 0.0005 mg/L) arasında bulunmaktadır. Bazı ülkeler süt için Tablo 1'de belirtilen kendi kabul edilebilir değerlerini tespit etmiştir (Kıncık ve ark. 2001).

Tablo 1. Bazı ülkelerdeki sütte kabul edilebilir kadmiyum düzeyleri

Ülke	Miktar (mg/kg)
Almanya	0.005
Danimarka	0.01
Hollanda	0.005
Avustralya	0.05
Slovakya	0.01

Demir, Bakır ve Çinko toksikolojik etkilerinden ziyade, lipid oksidasyonu nedeniyle süt ve süt ürünlerinin tat ve aromasını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışma, Türkiye'nin farklı bölgelerinden temin edilen çiğ inek sütlerinde Fe, Cu, Zn, Pb ve Cd düzeylerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Marmara, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgelerinden örnekler alınmış, metal içerikleri uygun analitik metotlarla tespit edilerek özellikle mevsimsel değişiklikler literatür bilgileri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada, Türkiye'nin 6 farklı bölgesinden (Marmara, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Ege) 3'er aylık periyotlarla, 4 dönemde temin edilen çiğ inek sütlerinde kurşun, kadmiyum, demir, bakır ve çinko düzeyleri yönünden analizler yapıldı. Bu kapsamda her bölgeden 20 adet olacak şekilde, 120 örnek (Tablo 2) alındı. Örnekler 100 ml miktarda propilen kaplara konuldu. Örnek toplama işlemi, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın "Canlı Hayvanlar ve Hayvansal Ürünlerde Belirli Maddeler ile Bunların Kalıntılarının İzlenmesi için Alınacak Önlemlere Dair Yönetmelik" (Anon, 2011b) ilkeleri doğrultusunda yapıldı. Bu amaçla süt örnekleri süt toplama tanklarından doğrudan alındı ve plastik tüpler içerisinde laboratuvara getirildi. Alınan örnekler analiz edilinceye kadar derin dondurucuda -18° C'de muhafaza edildi.

Tablo 2. Süt numunelerinin toplandığı dönemler

Dönem	Numune Sayısı
1 Aralık 2006 – Şubat 2007	30
2 Mart 2007 – Mayıs 2007	30
3 Haziran 2007 - Ağustos 2007	30
4 Eylül 2007 – Kasım 2007	30

Yöntem

Süt Örneklerin Hazırlanması

Süt örneklerinde metallerin analizleri AOAC metot 999.10 (mikrodalga yakma metodu ile hazırlanan gıdalarda Pb, Cd, Fe, Cu ve Zn düzeyinin AAS ile tespiti) ile gerçekleştirildi (AOAC 2000).

Analiz aşamasında, oda sıcaklığına getirilen dondurulmuş süt örnekleri homojenleştirildi ve teflon kaplara 2'şer ml miktarda alındı. Örneklerin üzerine 5 ml HNO₃ (%65) ve 2 ml H₂O₂ (%30) (Merck, ABD) eklenerek kapakları kapatıldı. Berghof MWS-2 (Almanya) model mikrodalga fırına konulan örnekler Tablo 3'de belirtilen parametrelere göre işleme tabi tutuldu.

Tablo 3. Mikrodalga fırın parametreleri

Aşama	Sıcaklık (°C)	Güç (watts)	Süre (dakika)
1	160	0,8	15
2	210	0,8	15
3	100	0,8	15

İşlemin sonunda teflon kaplar, kapakları açılmadan 15 dakika süre ile çeker ocak altında soğumaya bırakıldı ve sürenin sonunda açılarak kapak ve teflon kap iç duvarı aşağı doğru deiyonize su ile yıkandı. İçerik süzgeç kâğıdından süzülerek 15 ml'lik propilen tüplere alındı ve üzeri 15 ml'ye kadar bidistile su ile tamamlandı. Bu şekilde örnekler AAS'de analiz edilebilecek forma getirildi, analiz yapılıncaya kadar +4°C'de buzdolabında bekletildi.

Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

Işık kaynağı olarak her metalin kendine özgü dalga boyunda ışıma yapan oyuk katot lambaları, Cd için ise elektrotsuz boşalım lambası kullanıldı. Alevle atomlaştırma için çok sayıda metalin analiz edilmesine uygun bir ortam ve yeterli sıcaklığı (2125–2400°C) sağlayan hava/asetilen karışımı, grafit fırınında ise inert gaz olarak argon kullanıldı. Pb ve Cd analizleri Grafit Fırını AAS (GF-AAS) ve Zeeman zemin düzeltici sistem ile, Fe, Cu ve Zn analizleri ise Alevli AAS (A-AAS) cihazı ile deuterium zemin düzeltici sistem kullanılarak yapıldı. Çalışılan metaller için kullanıcı parametreleri Tablo 4-7'de gösterildi.

Tablo 4. Alevli AAS için analiz parametreleri

Element	Dalga boyu (nm)	Slit açıklığı (nm)	Lamba akımı (mA)	Asetilen (L/dk)	Hava (L/dk)
Fe	248.3	0.2 H	30	2.0	17
Cu	324.8	0.7 H	30	44257	18
Zn	213.9	0.7 H	25	2.0	17

Tablo 5. Grafit Fırını AAS için analiz parametreleri

Parametreler	Pb	Cd
Lamba tipi	C-HCL	EDL
Dalga boyu (nm)	283.3	228.8
Slit açıklığı (nm)	0.7 L	0.7 L
Lamba akımı (mA)	30	230
Örnek hacmi (µl)	20	20
Modifier (µl)	5	5

Tablo 6. Kurşun elementinin sıcaklık programı

Basamak	Sıcaklık (°C)	Yükselme Süresi (s)	Tutma Süresi (s)	Argon Akışı (ml/dak.)
Kurutma1	110	5	15	250
Kurutma2	500	10	25	250
Külleleme	900	15	35	250
Atomizasyon	1800	0	1	0
Temizleme	2600	1	2	250

Tablo 7. Kadmiyum elementinin sıcaklık programı

Basamak	Sıcaklık (°C)	Yükselme Süresi (s)	Tutma Süresi (s)	Argon Akışı (ml/dak.)
Kurutma1	110	1	30	250
Kurutma2	130	15	30	250
Külleleme	500	10	20	250
Atomizasyon	1500	0	5	0
Temizleme	2450	1	3	250

Atomik Absorpsiyon Spektrometre bağıl bir metot olup bilinmeyen yoğunluğu standart çözeltilerle karşılaştırılarak bulunur. Bunun için cihaz, analiz edilecek her element için 1000 mg/L'lik stok çözeltisinden hazırlanan farklı yoğunluklardaki standartlar (High Purity, ABD) ile kalibre edildi.

Bu çalışmada incelenen Pb, Cd, Fe, Cu ve Zn miktarları Tarım ve Orman Bakanlığı Veteriner Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Biyokimya Laboratuvarı'ndaki Perkin Elmer AAnalys 800 AAS (ABD) ile ölçülmüştür. Okumanın yapıldığı AAS cihazı 0.001 µg/L hassasiyetle çalışmaktadır. Okuma değerleri bu değerden daha düşük olan veriler, sıfır olarak değerlendirildi ve istatistik analizlerde de eksik gözlem olarak kabul edildi. Fe, Cu, ve Zn düzeyleri Alevli AAS

cihazı ile doğrudan ölçüldü. Grafit Fırınlı AAS cihazı ile çalışmaya başlamadan önce örnek hacimleri, istenilen sıcaklığa ulaşma süresi ve bu sıcaklıkta kalma süresi, kurutma, külleştirme, atomizasyon ve grafit tüpün temizlenmesi aşamalarındaki sıcaklıklar analiz öncesinde en üst düzeyde verim sağlayacak şekilde ayarlandı. Kurşun için $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ve kadmiyum için $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ matrisi değiştirici (modifier) olarak kullanıldı. Her bir numuneden 20 µl olacak şekilde ve üzerine Pb ve Cd için 5µl matrisi değiştirici eklenerek, 3 tekrar analiz gerçekleştirildi ve sonuçların ortalaması alındı. Elde edilen veriler, bilgisayar programı kullanılarak takip edildi. Çalışma sonunda elde edilen verilerin istatistik değerlendirmesi SPSS (16.0.0) istatistik paket programı ile yapıldı. Bu kapsamda, aritmetik ortalama, standart sapma, en alt ve en üst değerler belirlendi. Genel olarak bölgeler ve dönemler arasındaki farklılıkların tespiti ise tek yönlü varyans analizi ve Duncan's testi ile gerçekleştirildi.

Bulgular

Analizlere başlamadan önce, AAS cihazı, her element için belirlenen konsantrasyonlarda standartlar kullanılarak kalibre edildi. Yöntemin duyarlılığını gösterecek geri kazanım çalışmaları sonucunda elde edilen değerler %92,2 – 110,2 aralığında bulundu. Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü dönemlere ait Pb, Cd, Fe, Cu ve Zn değerleri Tablo 8-11'de verilmiştir.

Tüm dönemlere ait numuneler bir bütün olarak değerlendirildiğinde Pb ortalama değeri $8,38 \pm 9,01$ µg/L olarak tespit edildi. Dönemlere göre en yüksek ortalama Pb değeri $11,57 \pm 13,69$ µg/L ile birinci dönem; en düşük Pb ortalama değeri ise $2,76 \pm 2,16$ µg/L ile ikinci dönemde tespit edildi. Dönem ve bölgelere göre elde edilen değerler.

Kadmiyum ortalama değeri $0,09 \pm 0,09$ µg/L tespit edildi. Dönemlere göre en yüksek ortalama Cd değeri $0,12 \pm 0,12$ µg/L ile birinci dönem; en düşük Cd ortalama değeri ise $0,06 \pm 0,04$ µg/L ile ikinci dönemde tespit edildi.

Bakır ortalama değeri $0,33 \pm 0,23$ mg/L tespit edildi. Dönemlere göre en yüksek ortalama Cu değeri $0,54 \pm 0,16$ mg/L ile ikinci dönem; en düşük Cu ortalama değeri ise $0,23 \pm 0,19$ mg/L ile üçüncü dönemde tespit edildi.

Demir ortalama değeri $0,23 \pm 0,10$ mg/L tespit edildi. Dönemlere göre en yüksek ortalama Fe değeri $0,29 \pm 0,11$ mg/L ile üçüncü dönem; en düşük Fe ortalama değeri ise $0,21 \pm 0,08$ mg/L ile dördüncü dönemde tespit edildi.

Çinko ortalama değeri $3,67 \pm 0,86$ mg/L tespit edildi. Dönemlere göre en yüksek ortalama Zn değeri $4,02 \pm 0,88$ mg/L ile birinci dönem; en düşük Zn ortalama değeri ise $3,18 \pm 0,68$ mg/L ile üçüncü dönemde tespit edildi.

Pb, Cd, Fe, Cu ve Zn ortalama değerleri Şekil 1-5'de verildi.

Tablo 8. Birinci dönem (kış) numunelerde tespit edilen metallerin bölgelere göre düzeyleri

Metal / Bölge	Pb (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cd (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Fe (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cu (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Zn (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)
İç Anadolu	$9,15 \pm 7,22^a$ (3,00–21,00)	<LOD	$0,25 \pm 0,04^a$ (0,22–0,33)	$0,05 \pm 0,07^a$ (0,01–0,19)	$3,98 \pm 0,42$ (3,60–4,52)
	$13,05 \pm 8,78^{ab}$ (4,50–27,00)	$0,08 \pm 0,02$ (0,07–0,10) (n:3)	$0,34 \pm 0,02^d$ (0,32–0,37)	$0,19 \pm 0,17^a$ (0,02–0,44)	$3,52 \pm 0,73$ (2,78–4,67)
Ege	$27,30 \pm 22,30^b$ (2,25–59,25)	<LOD	$0,24 \pm 0,02^a$ (0,22–0,27)	$0,11 \pm 0,12^{ab}$ (0,04–0,32)	$4,05 \pm 0,26$ (3,78–4,41)
	$13,12 \pm 13,28^a$ (3,75–32,25) (n:4)	$0,07 \pm 0,02$ (0,06–0,10) (n:2)	$0,25 \pm 0,04^a$ (0,19–0,30)	$0,28 \pm 0,14^b$ (0,14–0,51)	$4,68 \pm 1,13$ (3,37–5,72)
Karadeniz	$3,75 \pm 2,05^a$ (0,75–6,00)	<LOD	$0,18 \pm 0,04^b$ (0,11–0,23)	$0,47 \pm 0,18^c$ (0,34–0,66)	$3,66 \pm 0,80$ (2,99–4,98)
	$1,31 \pm 0,37^a$ (0,75–1,50) (n:4)	0,45 (0,45–0,45) (n:1)	$0,09 \pm 0,04^c$ (0,04–0,16)	$0,70 \pm 0,04^d$ (0,66–0,76)	$4,29 \pm 1,35$ (2,23–5,70)

a, b, c, d. Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen gruplar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir ($p < 0,05$).

Tablo 9. İkinci dönem (ilkbahar) numunelerde tespit edilen metallerin bölgelere göre düzeyleri

Metal / Bölge	Pb (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cd (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Fe (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cu (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Zn (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)
İç Anadolu	3,30±2,58 (0,75-7,50)	0,07±0,08	0,17±0,04 ^{ab} (0,13-0,23)	0,69±0,09 ^a (0,57-0,77)	3,95±0,74 ^{ab} (3,43-5,24)
Marmara	2,50±0,40 (2,25-3,00) (n:3)	0,06±0,04 (0,008-0,10) (n:4)	0,17±0,025 ^{ab} (0,15-0,21)	0,70±0,12 ^a (0,62-0,915)	3,31±0,52 ^a (2,55-3,93)
Ege	2,25± 2,03 (0,75-5,25) (n:4)	0,07±0,04	0,09±0,05 ^a (0,03-0,16)	0,58±0,02 ^b (0,56-0,62)	3,26±0,67 ^a (2,59-4,00)
Akdeniz	1,0 ±0,43 (0,75-3,75) (n:3)	<LOD	0,19±0,11 ^b (0,02-0,30)	0,58±0,52 ^b (0,50-0,63)	3,99±0,47 ^{ab} (3,66-4,76)
Karadeniz	3 (3,00-3,00) (n:1)	<LOD	0,28±0,04 ^c (0,22-0,32)	0,44±0,025 ^c (0,37-0,50)	3,57±0,33 ^a (3,22-4,06)
Doğu Anadolu	4,50± 3,43 (1,50-8,25) (n:3)	<LOD	0,34±0,04 ^c (0,30-0,41)	0,27±0,02 ^d (0,187-0,34)	4,61±1,10 ^b (3,76-6,46)

a, b, c, d. Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0,05).

Tablo 10. Üçüncü dönem (yaz) numunelerde tespit edilen metallerin bölgelere göre düzeyleri

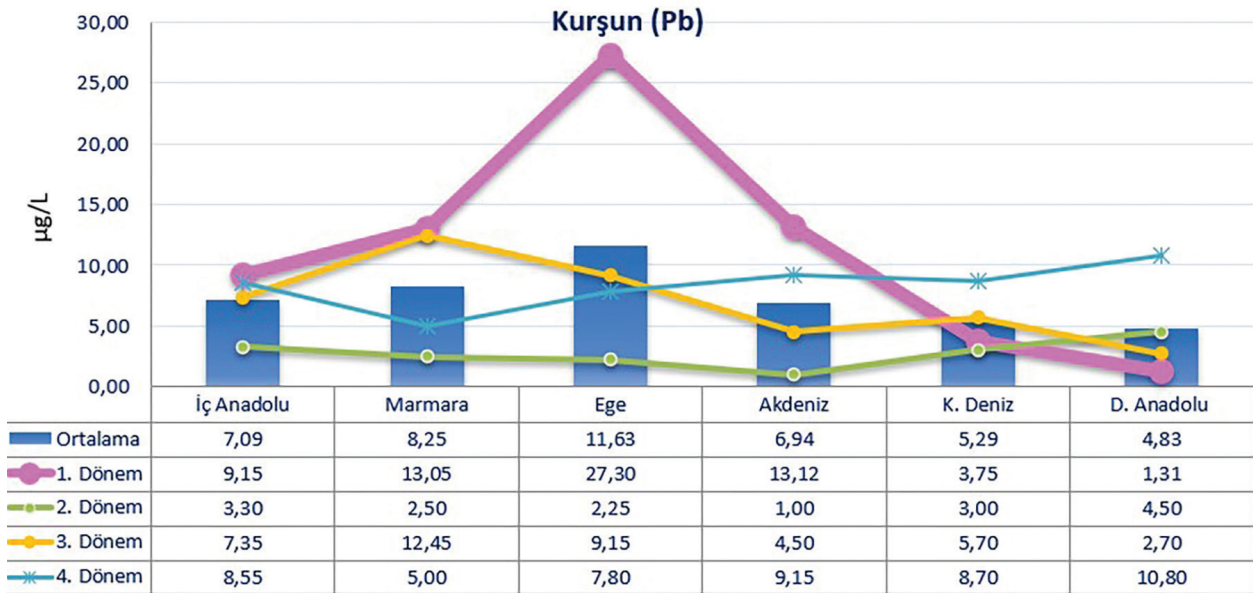
Metal / Bölge	Pb (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cd (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Fe (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cu (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Zn (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)
İç Anadolu	7,35±10,28 (0,75-25,50)	<LOD	0,36±0,02 ^a (0,33-0,39)	0,10±0,06 ^a (0,03-0,20)	3,44±0,83 ^{ab} (2,48-4,61)
Marmara	12,45±12,46 (3,75-34,50)	<LOD	0,44±0,04 ^c (0,38-0,49)	0,21±0,09 ^{ab} (0,10-0,33)	3,28±0,28 ^{ab} (2,84-3,55)
Ege	9,15± 4,05 (5,25-15,75)	<LOD	0,35±0,07 ^a (0,24-0,44)	0,15±0,17 ^{ab} (0,02-0,43)	2,93±0,42 ^{ab} (2,24-3,36)
Akdeniz	4,50±1,91 (3,00-7,50)	<LOD	0,21±0,09 ^b (0,14-0,36)	0,07±0,03 ^a (0,02-0,13)	2,55±0,70 ^a (1,92-3,46)
Karadeniz	5,70 ±5,2 (2,25-15,00)	<LOD	0,22±0,02 ^b (0,19-0,26)	0,52±0,09 ^c (0,37-0,59)	3,52±0,71 ^b (2,66-4,30)
Doğu Anadolu	2,70± 3,95 (0,75-9,75)	<LOD	0,18±0,03 ^b (0,13-0,23)	0,32±0,11 ^b (0,04-0,64)	3,37±0,79 ^{ab} (2,06-4,03)

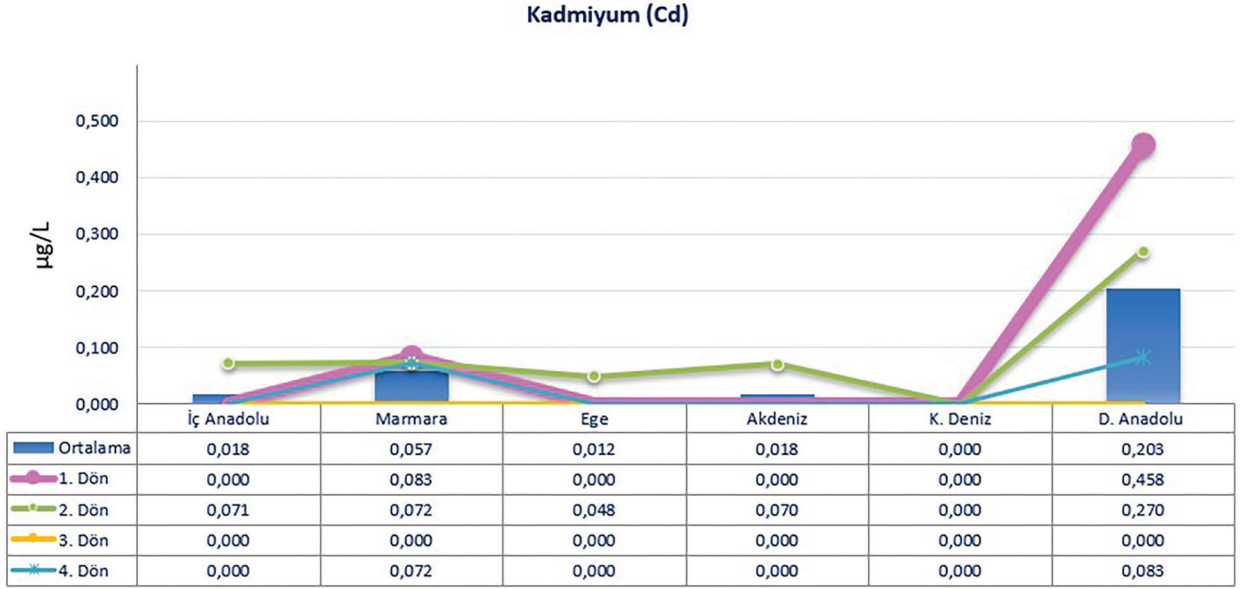
a, b, c, d. Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0,05).

Tablo 11. Dördüncü dönem (sonbahar) numunelerde tespit edilen metallerin bölgelere göre düzeyleri

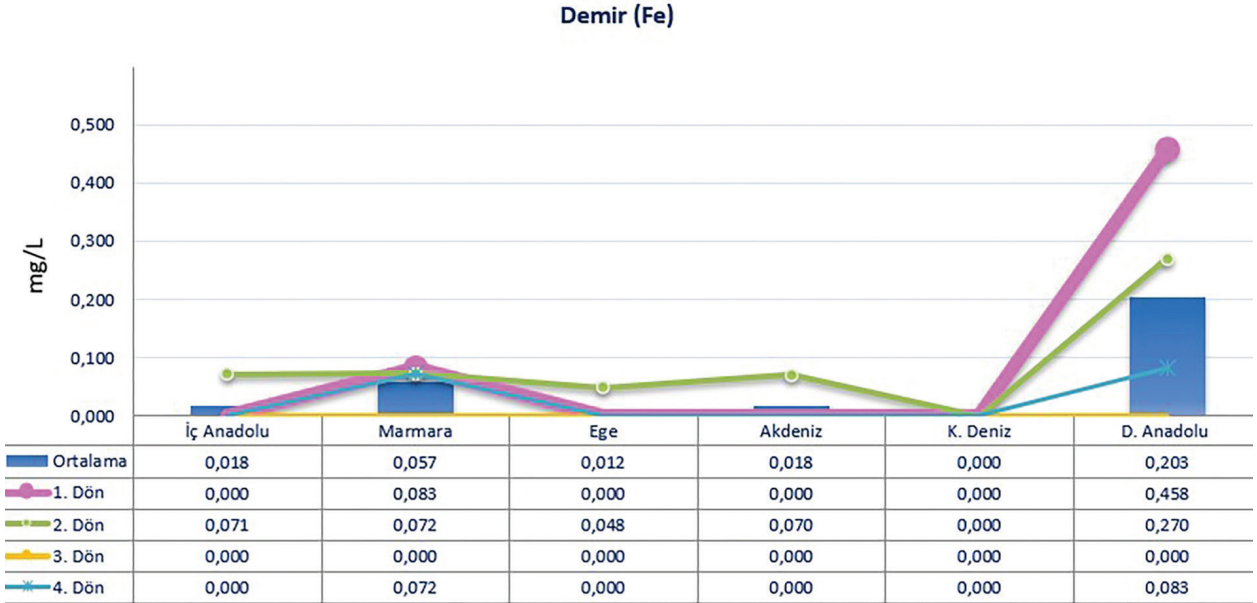
Metal / Bölge	Pb (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cd (ppb) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Fe (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Cu (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)	Zn (ppm) Ort. ± SD (En alt-En üst)
İç Anadolu	8,55±5,50 ^a (3,75–18,00)	<LOD	0,28±0,07 ^a (0,22–0,39)	0,25±0,19 ^{ab} (0,11–0,54)	3,30±0,40 ^{ab} (2,90–3,85)
Marmara	17,25±6,64 ^b (10,50–26,25)	<LOD	0,30±0,05 ^a (0,22–0,34)	0,41±0,15 ^b (0,21–0,56)	3,46±0,52 ^{abc} (2,76–4,16)
Ege	7,80± 2,98 ^a (5,25–12,00)	<LOD	0,27±0,06 ^{ab} (0,18–0,32)	0,15±0,10 ^a (0,2–0,26)	4,20±0,48 ^{bc} (3,82–5,02)
Akdeniz	9,15±3,84 ^a (3,00–13,50)	<LOD	0,15±0,34 ^c (0,11–0,20)	0,28±0,23 ^{ab} (0,03–0,53)	2,92±1,36 ^a (0,72–4,00)
Karadeniz	8,70 ±3,16 ^a (3,75–11,25)	<LOD	0,12±0,01 ^c (0,10–0,13)	0,35±0,21 ^{ab} (0,06–0,53)	4,48±0,40 ^c (3,88–4,89)
Doğu Anadolu	10,80± 3,77 ^a (0,75–1,50)	0,46 (n: 1)	0,19±0,05 ^{bc} (0,04–0,16)	0,22±0,04 ^{ab} (0,12–0,56)	3,93±0,85 ^{abc} (2,24–5,02)

a, b, c, d. Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0,05).

**Şekil 1.** Kurşun yönünden 1, 2, 3 ve 4. dönemlerde tespit edilen ortalama değerler (µg/L)

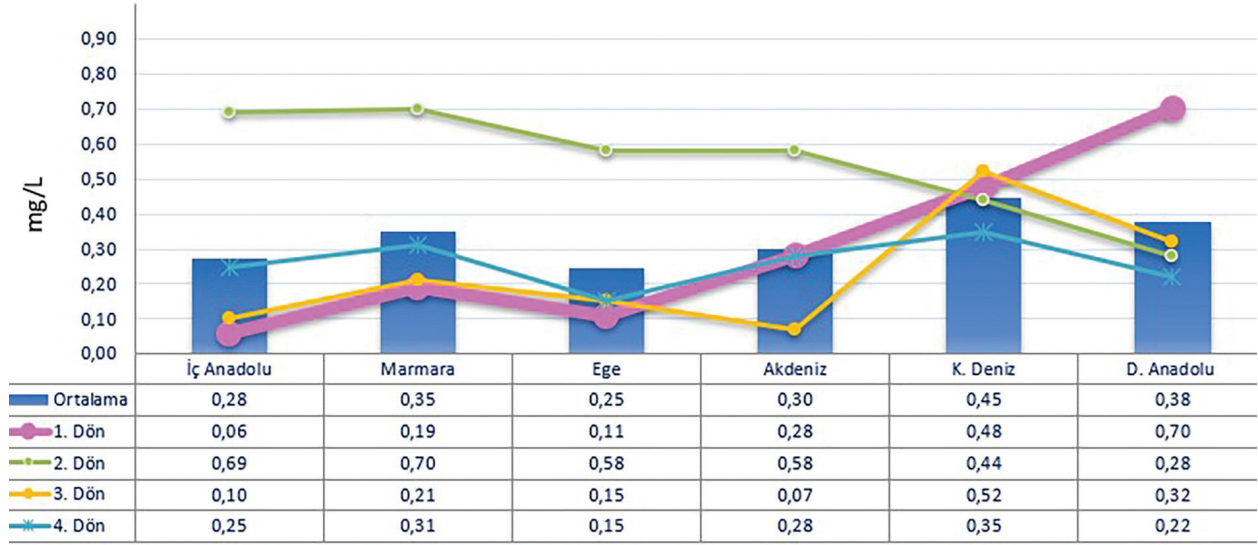


Şekil 2. Kadmiyum yönünden 1, 2, 3 ve 4. dönemlerde tespit edilen ortalama değerler (µg/L)



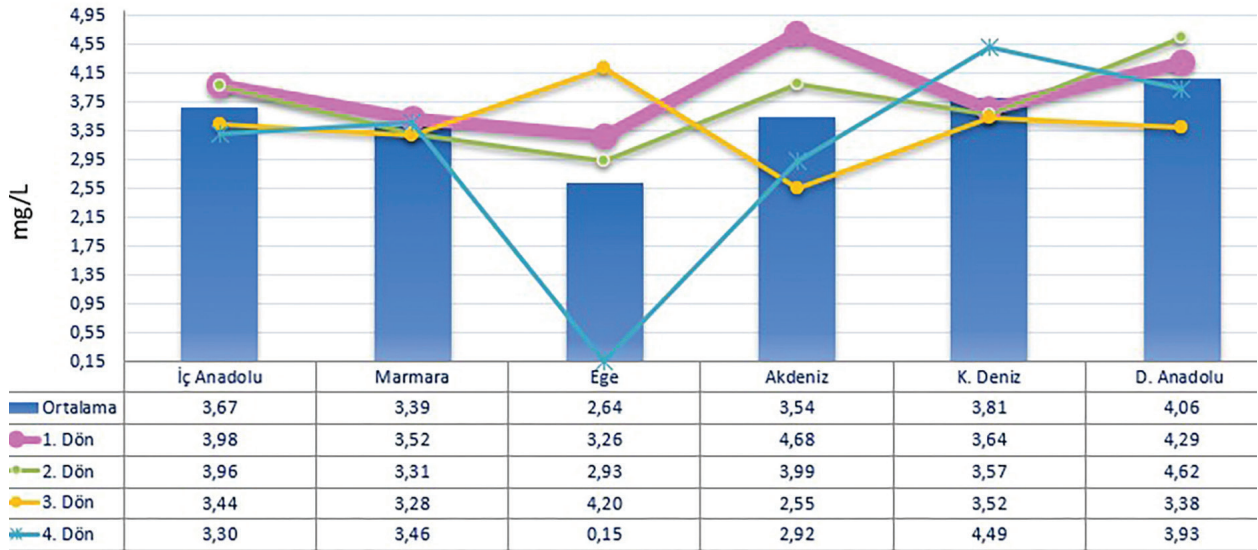
Şekil 3. Demir yönünden 1, 2, 3 ve 4. dönemlerde tespit edilen ortalama değerler (mg/L)

Bakır (Cu)



Şekil 4. Bakır yönünden 1, 2, 3 ve 4. dönemlerde tespit edilen ortalama değerler (mg/L)

Çinko (Zn)



Şekil 5. Çinko yönünden 1, 2, 3 ve 4. dönemlerde tespit edilen ortalama değerler (mg/L)

Tartışma ve Sonuç

Hızlı nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlere bağlı olarak, çevre ve besinsel kirlenme önemli halk sağlığı ve tarımsal problemleri beraberinde getirmektedir. Hayvan ve insan beslenmesinde önemli olan bazı besin maddeleri, canlılara zarar verebilecek düzeylerde metal kalıntıları içerebilmektedir. Fabrika baca

gazlarından ve maden ocaklarından çevreye, atmosfere, suya ve toprağa dolayısıyla insan ve hayvan besin zincirine toksik maddelerin karışımı mümkündür. Toksik element ve ağır metaller boya, otomotiv ve oyuncak sektörleri, inşaat, trafik ve metal endüstrileri ile tarımsal gübre yapımında yoğun olarak kullanılmaktadır (Vıcıl 2012).

Ülkemizde Ulusal Kalıntı İzleme Planında, B3c-Kimyasal Elementler kapsamında sadece kurşun düzeyleri konusunda izleme yapılmaktadır (Anon 2011b).

2006 yılı Ülkemizde Ulusal Kalıntı İzleme Planı kapsamında ağır metaller (Kurşun) için, 51 numune alınması planlanmış, 44 numune analiz edilmiş ve bunlardan 8'i Pb yönünden Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğde kabul edilen 20 µg/L olan maksimum kalıntı limitini aştığı belirlenmiştir. Geri izleme için yeni alınan numunelerde ise Pb düzeylerinin maksimum kalıntı limitlerini aşmadığı görülmüştür (Anon 2011c).

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde Türkiye genelinde 107 örneğe ait ortalama kurşun düzeyleri 0,008±0,009 mg/L bulundu. Örneklerdeki en yüksek kurşun değeri ise 0,059 mg/L olarak tespit edildi. Analiz edilen örnekten 10'unun (%8,3) Pb yönünden Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğde ve Avrupa Birliği 1881/2006 EC direktiflerinde kabul edilen 0,02 mg/L olan maksimum kalıntı limitlerini aştığı ancak genel Pb ortalamasının bu değerin altında olduğu görüldü. Diğer metaller yönünden herhangi bir kalıntı limiti belirlenmediği için bu yönde bir değerlendirme yapılmadı.

Bölgeler arası değerlendirmede istatistiki açıdan önemli farklılıklar belirlendi. En yüksek ortalama Pb değeri 12,29±9,46 µg/L ile Marmara Bölgesinde, en düşük ortalama Pb değeri ise 5,07±4,95 µg/L ile Doğu Anadolu Bölgesinde tespit edildi. Kurşun ortalama değeri bölgelere göre sıralandığında miktar yönünden azalan sırayla Marmara> Ege> Akdeniz > İç Anadolu> Karadeniz> Doğu Anadolu Bölgesi şeklinde tespit edildi.

Dönemler açısından değerlendirildiğinde ise en yüksek ortalama Pb değeri 11,57±13,69 µg/L ile birinci dönemde (kış), en düşük ortalama Pb değeri ise 2,76±2,16 µg/L ile ikinci dönemde (ilkbahar) tespit edildi. Pb ortalama değeri dönemlere göre sıralandığında miktar yönünden azalan sırayla kış> sonbahar > yaz> ilkbahar şeklinde ortaya çıktı.

Kadmiyum yönünden çeşitli Avrupa ülkelerinde belirlenen maksimum kalıntı limitlerinin altında kaldığı belirlendi. Kirliliğin insan sağlığı açısından tehdit edici seviyede olmadığı anlaşıldı. Cu, Fe, ve Zn yönünden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise bu metallerin de normal sınırlar içerisinde olduğu ve insan sağlığı yönünden risk oluşturacak düzeyde olmadığı tespit edildi.

Sütlerde kalite değerlendirmesi ve çevresel kirliliğin belirlenmesi amacıyla ülkemizde farklı araştı-

ricılar tarafından bazı çalışmalar Gültekin (1998); Algan (2002); Özrenk (2002); Şenol ve Özdemir (2003); Temurci (2006); Ayar ve ark. (2007); Temiz ve Soylu (2012); Kaptan ve ark. (2016); Bakırcıoğlu ve ark. (2018) yapılmıştır.

Gültekin (1998) tarafından yapılan çalışmada, Bursa ili ve çevresinden alınan 75 süt örneğinde trafik yoğun bölgelerde, sanayi bölgelerinde ve kırsal bölgelerde olma durumuna göre bazı mineral madde ve ağır metallerin tespiti yapılmıştır. Araştırma sonucunda, analiz edilen süt örneklerinde Pb düzeyi, trafik yoğun bölgelerde 0,032±0,002 mg/L (0,023–0,040 mg/L), sanayi bölgelerinde 0,049±0,001 mg/L (0,042–0,058 mg/L) ve kırsal bölgelerde 0,018±0,00 mg/L (0,017–0,021 mg/L), Cu düzeyi trafik yoğun bölgelerde 0,58±0,026 mg/L (0,47–0,70 mg/L), sanayi bölgelerinde 0,96±0,038 mg/L (0,77–0,96 mg/L) ve kırsal bölgelerde 0,39±0,012 mg/L (0,33–0,45 mg/L), Fe düzeyi trafik yoğun bölgelerde 1,78±0,16 mg/L (1,26–2,60 mg/L), sanayi bölgelerinde 4,27±0,26 mg/L (2,65–5,30 mg/L) ve kırsal bölgelerde 1,01±0,029 mg/L (0,80–1,01 mg/L), Zn düzeyi trafik yoğun bölgelerde 4,49±0,39 mg/L (2,30–6,46 mg/L), sanayi bölgelerinde 5,01±0,26 mg/L (3,75–6,45 mg/L) ve kırsal bölgelerde 3,77±0,18 mg/L (2,60–4,72 mg/L) olarak belirlenmiş, sanayi bölgesinden alınan örneklerde Fe ve Cu miktarı normal değerlerin üzerinde bulunmuştur. Pb için ise sanayi ve trafik yoğun bölgelerden alınan örneklerdeki Pb miktarı için Avrupa Birliği EC 315/93 direktiflerinde belirtilen 0.02 mg/L'in üzerinde bulunmuştur.

Algan (2002) tarafından yapılan çalışmada Konya yöresinden alınan 61 süt örneğinde bazı ağır metal miktarlarının tespitini yapmışlardır. Analiz edilen süt örneklerinde Pb 0,0001 µg/L, Cd 0,04 µg/L ve Zn 2,66 mg/L düzeylerinde tespit etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada Pb, Cd ve Zn yönünden normal sınırlar içerisinde olup bir kirlilik tespit edilmemiştir.

Özrenk (2002) tarafından yapılan Van ili ve çevre ilçelerinde üretilen inek sütlerinin ağır metal kirliliği ve bazı mineral içeriklerinin belirlenmesi çalışmasında, yaz mevsiminde 130, kış mevsiminde 130 toplam 260 örnekte çalışılmıştır. Analiz edilen süt örneklerinin 189'unda ortalama 0,002±0,01 mg/L (0,001–0,007) Pb tespit edilmiştir. Fe düzeyi 0,31±0,17 mg/L (0,050–0,890), Cu düzeyi 0,182±0,157 mg/L (0,10–0,830) ve Zn 3,00±1,09 mg/L (0,17–5,28) olarak tespit edilmiştir. Analiz edilen örneklerde ilçeler arası farklılık bulunmamasına rağmen, mevsimsel değişiklik tespit edilmiş ve bunun sebebinin Van gibi kış günlerinin soğuk ve uzun geçtiği bir ilde yakılan soba ve kaloriferlerin yanma süresinin uzun olması, kullanılan kömür miktarının fazla ve kalitesiz olması

gösterilmiştir. Özellikle Pb, Fe, Cu ve Zn düzeylerinin kışık yemlerde daha yüksek olduğu ve bu artışın kışık sütlerde de gözlemlendiği bildirilmiştir.

Şenol ve Özdemir (2003) tarafından yapılan Sakarya ili ve çevre ilçelerinde trafik yoğunluğu farklı (az yoğun, orta yoğun, çok yoğun) 3 bölgeden alınan 45 adet süt numunesinde çinko düzeyleriyle ilgili çalışmada Zn düzeyleri sırasıyla, 3,35 mg/L (1,26–6,56), 3,70 mg/L (1,79–5,24), 3,85 mg/L (2,78–5,41) tespit edilmiştir.

Temurci (2006) tarafından Ankara'da tüketime sunulan süt ve beyaz peynirlerde yapılan bir çalışmada 36 süt örneği kullanılmış, bu örneklerin hiç birinde Pb'ye rastlanılmamıştır. Cd düzeyi ise $0,11 \pm 0,03$ mg/L (0- 1,16), bakır düzeyi $4,30 \pm 0,36$ mg/L (1,5–13,66), Fe düzeyi ise $52,19 \pm 4,09$ mg/L (17,16–128,42) bulunmuştur.

Ayar ve ark. (2007) tarafından Konya'da tüketime sunulan süt ve ürünleri değişik süt işletmelerinden ve diğer satıcı marketlerden 4 ay süreyle farklı olacak şekilde 2 şer örnek, her birinden 8 adet olacak şekilde toplam 96 örnek alınmıştır. Pb düzeyi 0.103 ± 0.14 mg/L, Cd düzeyi ise 0.017 ± 0.010 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Temiz ve Soylu (2012) tarafından Samsun ilinde 144 adet örnekte indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometre ile gerçekleştirilen çalışmada 0.028–0.068 mg/L aralığında Pb, 0.001-0.013 mg/L aralığında Cd, 0.618-1.889 mg/L aralığında Cu, 0.12-0.64 mg/L aralığında Fe, 11.597-14.907 mg/L aralığında Zn tespit edildiği, Pb, Cd ve Cu yönünden yaz döneminde toplanan örneklerin kış dönemine göre daha yüksek olduğu, Pb, Cu, Zn yönünden bu sütlerin güvenilir olmadığı, çalışma alanındaki çevresel bulaşmanın yoğun endüstriye atfedildiği bildirilmiştir.

Kaptan ve ark. (2016) tarafından Çanakkale Biga İlçesinde 3 farklı bölge (yoğun endüstriye yakın, gıda üreten fabrikalara yakın, otoyola yakın) ve 3 farklı dönemde alınan örneklerde İndüklenmiş Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopi ile gerçekleştirilen çalışmada (0.503-1.859 mg/L arasında değişen düzeylerde olmak üzere 1.011 ± 0.36 mg/L ortalama Pb tespit edildiği, en yüksek kurşun düzeyinin otoyola yakın olan bölgedeki süt örneklerinde bulunduğu, $0.027-0.397$ mg/L Cd (0.124 ± 0.11 mg/L ortalama), $0.755-3.046$ mg/L olmak üzere 1.9005 mg/L ortalama Zn ve Cd'nin yine yoğun trafik bölgesindeki ineklerden toplanan örneklerde tespit edildiği, en yüksek Cu düzeyinin 1.564 µg/L ile yaz döneminde tespit edildiği, sütteki Cu düzeylerinin yaz sezonunda bitki koruma ürünü kullanımı

ve endüstriyel emisyonlar nedeniyle artabileceği, lüpit oksidasyonundaki katalitik etkisi yönünden süt ürünlerinde potansiyel risk oluşturan Fe için en yüksek konsantrasyonun 4.207 mg/L olarak yoğun trafik bölgesindeki ineklerden toplanan örneklerde tespit edildiği bildirilmiştir.

Bakırcıoğlu ve ark. (2018) tarafından İndüklenmiş Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopi ile Edirne ilinden toplanan 90 adet süt örneğinde gerçekleştirilen çalışmada doğal ürünlerde ortalama 0.138 ± 0.016 mg/L Cu, 3.1 ± 0.5 mg/L Fe, 3.4 ± 0.7 mg/L Zn, marketten alınan ticari örneklerde 0.138 ± 0.041 mg/L Cu, 2.2 ± 1.3 Fe, 3.5 ± 0.7 mg/L Zn tespit edildiği, bu bilgilere göre ticari ürünlerde doğal ürünlere göre daha yüksek düzeylerde bulunduğu bildirilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Pb yönünden Algan (2002); Özrenk (2002); Temurci (2006) ve Kaptan ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmalardan yüksek; Gültekin (1998); Ayar ve ark. (2007) ile Temiz ve Soylu (2012) tarafından yapılan çalışmalardan ise düşük bulundu. Gültekin (1998) tarafından yapılan çalışmada elde edilen trafik yoğun bölge ve sanayi bölgesi örnekleri, Ayar ve ark. (2007) ve Temiz ve Soylu (2012) tarafından analiz edilen tüm örneklerin kurşun düzeyleri kabul edilebilir limitin üzerindedir. Kurşun yönünden kabul edilebilir maksimum limitlerin üzerinde tespit edilen 10 örneğin dördünün Marmara, üçünün Ege, ikisinin İç Anadolu ve birinin de Akdeniz Bölgesine ait sütlerde tespit edilmesi, trafik açısından yoğun bölgeler ve sanayi bölgeleri örneklerindeki ağır metal kirliliği ile uyumlu bulundu. Sütlerde metal düzeyi toprağın yapısı, bitki örtüsü, iklim şartları ve endüstriyel faaliyet şartlarından etkilenmektedir. Dolayısı ile çalışmalar arasında böyle bir farklılığın olması bu sebepler bağlı olarak değerlendirilebilir.

Kadmiyum yönünden Özrenk (2002) tarafından yapılan çalışmadaki elde edilen sonucun yaklaşık iki katı yüksek; Temurci (2006); Ayar ve ark. (2007); Temiz ve Soylu (2012) ve Kaptan ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışma sonuçlarından ise oldukça düşük bulundu.

Demir yönünden Özrenk (2002) ve Temiz ve Soylu (2012) tarafından yapılan çalışmadaki elde edilen sonuçlardan biraz düşük; Gültekin (1998); Şenol (2004) tarafından yapılan çalışmalardaki elde edilen sonuçlardan düşük, Temurci (2006); Kaptan ve ark. (2016) ve Bakırcıoğlu ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışma sonuçlarından ise oldukça düşük bulundu.

Bakır yönünden Özrenk (2002) tarafından yapılan çalışmadaki elde edilen sonuçlardan yüksek; Gültekin (1998); Temiz ve Soylu (2012) ve Bakırcioğlu ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada elde edilen kırsal bölge sonuçları ile uyumlu, trafik yoğun bölge ve sanayi bölgesi örneklerinden düşük bulundu.

Çinko yönünden Gültekin (1998); Özrenk (2002); Şenol ve Özdemir (2003) ve Bakırcioğlu ve ar. (2018) tarafından yapılan çalışmada elde edilen kırsal bölge sonuçları ile uyumlu; trafik yoğun bölge ve sanayi bölgesi örnekleri ile Temiz ve Soylu (2012) düşük, Kaptan ve ark. (2016) çalışmalarından yüksek bulundu.

Uluslararası alanda sütlerde kalite değerlendirilmesine yönelik veya çevresel kirliliğin belirlenmesi amacıyla yapılmış çok sayıda çalışma Vidovic ve ark. (1997); Lawal ve ark. (2006); Bilandžić ve ark. (2016); Qu ve ark. (2018); Norouzirad ve ark. (2018) ve Peinado ve ark. (2020) vardır.

Vidovic ve ark. (1997) tarafından Sırbistan'da yapılan bir çalışmada 1996 ve 1997 yılları arasında toprak, kuru ot ve süt örneklerindeki Pb, Cd ve Zn düzeylerini belirlemişlerdir. 1996 yılında 96 süt örneğinde, Pb düzeyi $0,078 \pm 0,042$ µg/l, 1997 yılında $0,089 \pm 0,046$ µg/l, Cd düzeyi 1996 yılında $0,008 \pm 0,004$ µg/l, 1997 yılında $0,007 \pm 0,003$ µg/l ve Zn düzeyi 1996 yılında $1,88 \pm 0,5$ µg/l, 1997 yılında $1,64 \pm 0,4$ µg/l düzeylerinde tespit edilmiş ve toprak, kuru ot ve süt arasında doğru orantı tespit etmişlerdir.

Lawal ve ark. (2006) tarafından Nijerya'da merada otlatılan sığırlara ait 24 süt örneğini Pb, Cd ve Cu yönünden incelemişlerdir. Pb düzeyi $0,53 \pm 0,29$ mg/L, Cd düzeyi $0,26 \pm 0,13$ mg/L ve Cu düzeyi $0,062 \pm 0,026$ mg/L bulunmuştur. Bulunan sonuçlara göre, Pb düzeyinin WHO tarafından belirlenen günlük kabul edilebilir en fazla doz olan $0,05$ mg/L vücut ağırlığı ve Cd düzeyinin de WHO tarafından belirlenen günlük kabul edilebilir en fazla doz olan $0,02-0,06$ mg/L vücut ağırlığı geçtiğini bildirmişlerdir.

Bilandžić ve ark. (2016) tarafından yayınlanan, Hırvatistan'ın kırsal alanlarındaki 249 adet inekten toplanan çiğ süt örneklerinde 2010-2014 yıllarını kapsayan, grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrometre ile gerçekleştirilen çalışmada kurşun miktarının $10.8-12.2$ µg/kg, en yüksek kurşun seviyesinin 131 µg/kg olduğu bildirilmiştir. Bu konsantrasyonların, izin verilen haftalık kurşun alımının % 1.37 katkı sağlayacağı, bu verilere dayanarak süt tüketiminin tüketici sağlığı yönünden risk oluşturmadığı sonucuna ulaşıldığı bildirilmiştir.

Qu ve ark. (2018) tarafından Çin'de 178 adet ineğe ait sütlerde indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometre ile gerçekleştirilen çalışmada 1.35 ± 0.32 µg/L düzeyinde kurşun tespit edildiği, kadmiyum tespit edilemediği bildirilmiştir. Tespit edilen kurşun düzeyinin tüketiciler yönünden sağlık riski oluşturmadığı bildirilmiştir. Bununla birlikte kurşun tüketimine bağlı risklerin bebekler ve genç yaştaki çocuklar için yetişkinlere göre daha ciddi olduğu ifade edilmiştir.

Norouzirad ve ark. (2018) tarafından 2015-2016 yıllarını kapsayan 118 adet ineğe ait sütlerde grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrometre ile gerçekleştirilen çalışmada ortalama 47.0 ± 3.9 µg/kg kurşun, 4.7 ± 1.0 µg/kg kadmiyum tespit edildiği, örneklerin % 82.2'sinin kurşun yönünden izin verilen 20 µg/kg limitinin üzerinde olduğu, çalışma sonuçlarına göre petrol yataklarına yakın bölgelerde kurşun ve kadmiyum maruziyeti yönünden sütlerin risk oluşturduğu belirtilerek izleme planlarına dahil edilmesi önerilmiştir.

Peinado ve ark. (2020) tarafından alevli atomik absorpsiyon spektrometre ile Peru'da La Oroya metalürjik kompleksi yakınındaki kırsal alanda yetiştirilen 20 ineğin kanlarında 0.38 ± 0.041 , sütlerinde 0.58 ± 0.018 mg/L kurşun tespit ettikleri, kurşun seviyesinin sütteki oranının kan konsantrasyonundan % 54 yüksek olduğu, kadmiyum seviyelerinin kanda 0.016 ± 0.002 , sütte 0.02 ± 0.007 mg/L olduğu, sütteki kadmiyum oranının kandaki konsantrasyondan % 28 yüksek olduğu bildirilmiştir. Günlük 200 ml'lik süt tüketiminin 0.12 mg kurşun ve 0.004 mg kadmiyum sağlayacağı; bu miktarların 180 gün sonra kümülatif olarak 216 mg kurşun ve 0.72 mg kadmiyum alımını temsil ettiği, insan tüketimi için uygun olmayan bu miktarın halk sağlığı yönünden ciddi risk oluşturduğu ifade edilmiştir.

Boudebouz ve ark. (2021) tarafından, 2010 yılından itibaren dünya çapında yayınlanmış 60 orijinal araştırmanın dahil edildiği sistematik derlemede en yüksek Cd seviyesinin Hindistan'da barit maden sahasında 12 mg/L, en yüksek Pb (60 mg/L), Cu (36 mg/L) seviyelerinin Hindistan'da granit ve granit gnaysdan oluşan alanlarından toplanan örneklerde, en yüksek Fe düzeyinin 37.02 mg/L yine Hindistan'da tespit edildiği bilgisi paylaşılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Pb yönünden Vidovic ve ark. (1997); Bilandžić ve ark. (2016); Qu ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmalardan yüksek; Lawal ve ark. (2004), Norouzirad ve ark. (2018) ile Peinado ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalardan düşük bulundu.

Kadmiyum yönünden Vidovic ve ark. (1997); Peinado ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalardan yüksek; Lawal ve ark. (2004); Norouzrad ve ark. (2018); Peinado ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalardan ise düşük bulundu.

Sonuçlar yurt dışı çalışmalarla karşılaştırıldığında, Sırbistan'dan yüksek bulunmasının sebebinin iklim özelliklerinin daha ılıman olması ve araştırma yapılan bölgelerin endüstriyel alanlardan uzak olması düşünülmektedir. Nijerya ve Peru'da yapılan çalışmadan düşük bulunmasının sebebi ise, Nijerya topraklarının metalleri yüksek yoğunlukta içermesi (özellikle demir ve alüminyum), petrokimya endüstrisinin gelişmiş olması ve çok sayıda rafineri bulunmasına bağlı olduğu, Peru'da yüksek bulunmasının sebebinin de büyük kapasitedeki bir metalürjik komplekse yakın olması düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bazı uluslararası limitlerle (Komisyon Direktifi EC No: 1881/2006) karşılaştırıldığında Pb yönünden örneklerin 10'unun (%8,3) maksimum kalıntı limitlerini aştığı, ancak genel ortalamanın bu değer altında olduğu görüldü.

Süt, çeşitli nedenlerle kontaminasyonlara duyarlı bir üründür. Süt sığırlarının merada beslenmeleri sırasında toprakta doğal olarak da bulunan ağır metaller, otlara bulaşan endüstriyel kalıntılar, çeşitli pestisit kalıntıları, hayvanların tedavisinde kullanılan çeşitli hormonlar ve ilaçlar, kalitesiz yemlerden süte geçiş yapan aflatoksin ve mikotoksinler, parazitler ve deterjan kalıntıları direkt olarak süte geçebilmektedir. Süt ve ürünlerinde bulunma olasılığı yüksek olan ve tüketici tarafından fazla bilinmeyen sağlığa zararlı kalıntı maddeler, toplum sağlığı açısından büyük tehlike oluşturmaktadır.

Kaliteli süt üretimi, ekonomik anlamda ve sağlık açısından çok önemlidir. Süt sığırcılığının ve süt sanayinin gelecekteki anahtarıdır. Süt üretim faaliyetlerinin muhtemel ağır metal kirliliğine yol açabilecek alanlardan uzak yerlerde yapılması daha uygun olacaktır. Ülkemizde Pb yönünden limit değerleri belirlenmekle birlikte Cd içinde limit değerinin Avrupa ülkeleri ile uyumlu olarak belirlenmesi gerekmektedir.

Gerek Pb gerekse diğer metallerin süt ve süt ürünlerindeki düzeyinin aşağıya çekilebilmesi için;

- Daha bilinçli ve daha kontrollü bir şekilde üretim işlemi gerçekleştirilmelidir.
- Çiftçi ve işletmecilerin bilgilendirilmesi bir zorunluluktur.
- Ağır metal kalıntılarının önemine ilişkin kamuoyu bilgilendirme çalışmaları yapılmalıdır.

• Bilgilendirmenin yanında etkin bir kontrol mekanizmasının devlet tarafından uygulanmaya konulması da bu metallerin kontaminasyonunun engellenmesinde önemli rol oynayacaktır.

• Ağır metal kalıntılarına ilişkin özellikle riskli bölgeler de göz önüne alınarak geniş ölçekte kalıntı analizleri yapılmalıdır.

• Analiz noktasında uygun laboratuvar şartları/ekipman sağlanmalıdır.

• Sadece süt üretiminin değil yem üretiminin de endüstriyel alanlardan uzak bölgelerde yapılması gereklidir.

Deney hayvanları kullanımı etik kurulu ve diğer etik kurul kararları ve izinler: Etik kurul kararına gerek bulunmamaktadır.

Maddi destek ve çıkar ilişkisi Çalışmayı maddi olarak destekleyen kişi/kuruluş yoktur ve yazarların herhangi bir çıkara dayalı ilişkisi yoktur.

Kaynaklar

- Algan G. (2002) Konya yöresi sütlerinde bazı ağır metallerin incelenmesi. Yüksek lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Anon. (2006) Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006R1881&from=EN>, Erişim tarihi: 12.02.2021
- Anon. (2011a) Hayvansal Gıdalar İçin Özel Hijyen Kuralları Yönetmeliği Resmi Gazete, 27.12.2011 Tarih ve 28155 Sayı Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111227-10.htm>, Erişim tarihi: 12.02.2021
- Anon. (2011b) Canlı Hayvanlar Ve Hayvansal Ürünlerde Belirli Maddeler İle Bunların Kalıntılarının İzlenmesi İçin Alınacak Önlemlere Dair Yönetmelik. T. C. Resmi Gazete, 17.12.2011 Tarih ve 28145 Sayı. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111217-4.htm>, Erişim tarihi: 12.02.2021
- Anon. (2011c) Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği T.C. Resmi Gazete, 29.12.2011 Tarih ve 28157 Sayı. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-8.htm>, Erişim tarihi: 12.02.2021
- Anon. (2019) Türk Gıda Kodeksi İçme Sütleri Tebliği, (Tebliğ No: 2019/12). Resmi Gazete, 27.02.2019 Tarih ve 30699 Sayı. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/02/20190227-5.htm>, Erişim tarihi: 12.02.2021
- AOAC. (2000) Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Ed., AOAC International Gaithersburg. Md, Usa Official Method 999.10. Chapter 9 p:16
- Ayar A, Sert D, Akın N. (2007) Konyada Tüketime Sunulan Süt ve Ürünlerinin Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 21 (41): (2007) 58-64
- Bakırcıoğlu D, Topraksever N, Yurtsever S, Kızıldere M, Bakırcıoğlu YK. (2018) Investigation of macro, micro and toxic element concentrations of milk and fermented milks products by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer, to improve food safety in Turkey, *Microchemical Journal*, Volume 136, 2018, Pages 133-138, ISSN 0026-265X, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.10.014>.
- Bilandžić N, Sedak M, Čalopek B. (2016) Lead Concentrations in Raw Cow and Goat Milk Collected in Rural Areas of Croatia from 2010

- to 2014. *Bull Environ Contam Toxicol* 96, 645–649 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1749-z>
- Boudebouz A, Boudalia S, Bousbia A, Habila S, Boussadia M, Guerou Y. (2021) Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. *Science of The Total Environment*, Volume 751, 141830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141830>.
- Gültekin R. (1998) Bursa ili çevresinden alınan çiğ süt örneklerinde bazı mineral madde ve ağır metallerin tespiti üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Kaptan B, Bilgücü E, Palabıyık İ, Öksüz Ö. (2016) The Effect of Environmental Factors on Heavy Metal and Mineral Compositions of Raw Milk and Water Samples. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (4).
- Kaya S, Akar F. (1998) Metaller, diğer inorganik maddeler ve radyoaktif maddeler. Veteriner Hekimliğinde Toksikoloji. Ed.: S. Kaya, İ. Pirinççi, A. Bilgili. 1. Baskı, Medisan Yayınevi, Ankara, s. 122-138.
- Kınık Ö, Uysal H R, Akbulut N. (2003) Süt ve Süt Ürünlerinde İz Elementler. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 549. E.Ü.Basımevi, Bornova, İzmir, 163s.
- Lawal AO, Mohammed SS, Damisa, D. (2006) Assessment of levels of Copper, Cadmium and Lead in secretion of mammary gland of cows grazed on open fields. *Science World Journal*. 1. 7-10. 10.4314/swj.v1i1.51689.
- Norouzirad R, Montaña JRG, Pastor FM, Hosseini H, Shahrouzian A, Khabazkhoob M, Malayeri FA, Bandani HM, Paknejad M, Foroughinia B, Moghaddam AF. (2018) Lead and cadmium levels in raw bovine milk and dietary risk assessment in areas near petroleum extraction industries, *Science of The Total Environment*. Volume 635, Pages 308-314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.138>.
- Özrenk E. (2002) Van ili ve çevre ilçelerinde üretilen inek sütlerinin ağır metal kirlilik düzeyi ve bazı mineral madde içerikleri. Doktora tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Peinado DMC ve Bedriřana JIC. (2020) Lead and cadmium blood levels and transfer to milk in cattle reared in a mining area. *Helvion*, Volume 6, Issue 3, e03579, <https://doi.org/10.1016/j.helivion.2020.e03579>.
- Qu XY, Zheng N, Zhou XW, Li SL, Wang JQ, Zhang WJ. (2018) Analysis and Risk Assessment of Seven Toxic Element Residues in Raw Bovine Milk in China. *Biol Trace Elem Res* 183, 92–101 <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1116-x>
- Şenol AS ve Özdemir S. (2003) Sakarya bölgesinde kırsal ve kentsel bölgelerden toplanılan sütlerde çinko düzeylerinin belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 7. Cilt 3. Sayı Eylül 2003, 194-196
- Tekinşen OC. (2000) Süt ürünleri teknolojisi (3.baskı). Konya: Selçuk Üniversitesi Basımevi, 329 s.
- Temiz H ve Soylu A. (2012) Heavy metal concentrations in raw milk collected from different regions of Samsun, Turkey. *International Journal of Dairy Technology*, 65: 516-522. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00846.x>
- Temurci H ve Güner A. (2010) Ankara'da Tüketime Sunulan Süt ve Beyaz Peynirlerde Ağır Metal Kontaminasyonu. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 1 (2) , 20-28. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunivbd/issue/2904/40261>
- Vıclı S, Erdoğan S, Uygur V. (2012) Akdağmadeni bölgesi toprak, bitki, koyun kan ve yün örneklerinde bazı esansiyel ve toksik element düzeylerinin saptanması. *Adana Veteriner Kontrol Enstitüsü Müdürlüğü Dergisi*. 2012,2 (2):15-21