

## BURSA İLİ'NDEN TOPLANAN YUMURTA ÖRNEKLERİNDE AĞIR METAL İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Aşkın BİRGÜL \*

Alınma: 15.06.2020; düzeltme: 20.07.2020; kabul: 04.08.2020

**Öz:** Bu çalışma, Bursa ilinden toplanan ve “organik yumurta ve/veya köy yumurtası” olarak satışı sunulan yumurta örneklerinde ağır metal konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve risk değerlendirmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yumurta örnekleri 7 farklı örnekleme noktasından toplanmıştır. Yumurtaların ak ve sarılarında ayrı ayrı Cd, Hg, Pb, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn ve As metallerine bakılmıştır. Analizler indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometre (ICP-MS) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Toplanan yumurta örneklerinde tespit edilen ağır metallerin ortalama konsantrasyon seviyeleri ağır metalin türüne bağlı olarak yumurta sarısında 0,0012 ile 0,390 µg/g arasında, yumurta beyazında ise 0,00123 ile 193 µg/g arasında değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan risk karakterizasyonu işlemi neticesinde toplanan yumurta örneklerinin THQ değerlerinin yumurtanın sarı kısmı için  $1,1 \times 10^{-3}$  ile 0,637 arasında, yumurtanın beyaz kısmı için  $1,91 \times 10^{-4}$  ile 0,01438 arasında değişim gösterdiği ve herhangi bir risk oluşturmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bursa, Yumurta, Ağır Metal, Konsantrasyon, Risk Karakterizasyonu

### Determination of Heavy Metal Content in Egg Samples Collected from Bursa Province and Risk Assessment

**Abstract:** This study was carried out with the aim of determining the levels of heavy metal concentration in egg samples collected from Bursa province and presented as "organic eggs and/or village eggs" for exposure and risk assessment. Egg samples were collected from 7 different sampling points. The contents of Cd, Hg, Pb, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn and As in the yolk and albumen part of the eggs were examined separately. Analyzes were performed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The mean concentrations of heavy metals detected in collected egg samples were found to vary between 0.0012 and 0.390 µg/g in egg yolks and between 0.00123 and 193 µg/g in albumen depending on the weight of heavy metals. Risk characterization process showed that the THQ values of collected egg samples vary between  $1.1 \times 10^{-3}$  and 0.637 for the yolk and vary between  $1.91 \times 10^{-4}$  and 0.01438 for the albumen part of the eggs and do not pose any risk.

**Keywords:** Bursa, Egg, Heavy Metal, Concentration, Risk Characterization

\* İletişim Adresi (Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Mimarşinan Mah. Mimarşinan Bulvarı Eflak Caddesi No:177 16310 Yıldırım/BURSA)  
İletişim Yazarı: Aşkın BİRGÜL ([askin.birgul@btu.edu.tr](mailto:askin.birgul@btu.edu.tr))

## 1. GİRİŞ

Halk sağlığı açısından gıda güvenliği küresel bazda önemli bir husustur. Son on yılda, gıda güvenliğine ilişkin ortaya çıkan problemler, pestisitler, ağır metaller ve toksinler gibi kirleticilerin gıda maddeleri üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmaların artmasını sağlamıştır (D'Mello, 2003).

Ağır metal kirliliği oldukça önemli bir sorundur. Gerçekte ağır metal tanımı, fiziksel özellik açısından yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$  ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu gruba kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko olmak üzere 60 tan fazla metal dâhildir. Bu elementler doğaları gereği yer kürede genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde hapis olarak bulunurlar (Sarkawy ve Ahmed, 2002, Kahvecioğlu ve diğ., 2009, Güven ve diğ., 2009). Ağır metaller, genellikle biyolojik olarak parçalanmayan, yarı ömürleri oldukça uzun ve değişik organlarda birikme potansiyeline sahip istenmeyen yan etkilere yol açan kimyasallardır (Jarup, 2003; Sathawara ve diğ., 2004; Banerjee ve diğ., 2011).

Bitkiler; atmosferden, gübrelerden, atıksu ve çamurlardan veya tarımda kullanılan inorganik pestisitlerden toprağa bulaşmış olan ağır metalleri derişimlerine bağlı olarak biriktirme eğilimindedir. Bu nedenle, topraktaki ağır metallerin tolere edilir miktarlarının saptanmasına gerek vardır. Bitkiler, özellikle kadmiyum gibi bazı elementlere çok geniş sınırlar içinde tolerans göstermektedirler. Bundan dolayı tarım ürünlerinde insan ve hayvan beslenmesinde olumsuzluk oluşturacak düzeyde metal birikimi söz konusudur. Bu düzeye ulaşılmaya bile, artan dozlarda solunum veya başka kaynaklardan bünyeye alındığında gıdalardaki düşük dozlar bile risk faktörü olarak ele alınmalıdır (Liu ve diğ., 2013).

Ağır metal iyonları; gıdanın yapısında tabii olarak bulunmayan, çevreden (topraktan, sudan, havadan), gıdaların üretimi sırasında kullanılan metalik alet-ekipmanlardan, depolama ve dağıtım sırasında kullanılan ambalaj materyallerinden gıdalara bulaşmaktadır. Cıva, kadmiyum, nikel, kurşun, arsenik ve çinko gibi gıdalarda kirlilik etmeni olan ve önemli sorunlar oluşturan ağır metal iyonlarının su ve organizmalardaki dağılımının incelenmesi, çevresel kirliliği gösteren kriterlerden biridir. Entansif yetiştiricilikte besin zinciri (tavukların yiyeceği yem ve içecekleri su) kontrol altına alınabilmesine karşın, köy tavukçuluğunda yem ve suyu kontrol altına almak çok zordur. Tavuklar serbestçe dolaştığı, yem yediği ve su içtiği için çevresel kaynaklı ağır metal bulaşmalarından kolayca etkilenebilmektedirler (Şekeroğlu, 2002; Şekeroğlu ve diğ., 2007).

Ağır metaller, insanlar için oldukça önemli sağlık riskleri oluşturmakla birlikte, yüksek konsantrasyon seviyelerinde ölümcül olabilmektedirler (Gupta ve Gupta, 1998). Gıda ürünlerindeki ağır metallere maruz kalma ve bu maruziyetin insan sağlığına olan olumsuz etkileri günümüzde dünya çapında tartışılan konular arasındadır. Gıda zinciri içerisinde toksisiteye sebep olması, biyolojik olarak birikebilme potansiyeli ve biyolojik büyümeden dolayı ağır metallerin yarattığı kontaminasyon oldukça önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Demirezen ve Uruç, 2006). Gıda üretim ve işleme teknolojisindeki gelişmeler, gıdaların ağır metaller gibi çeşitli çevresel kirleticiler ile kontamine olma riskine yol açmaktadır. İlaveten, hayvanlar tarafından tüketilen yemlerin üretimi esnasında da farklı çevresel kirleticilere maruziyet söz konusu olabilmektedir. Kirleticilerin bulaştığı hayvan yemlerinin hayvanlar tarafından yenilmesi, ağır metallerinde arasında bulunduğu pek çok kirleticinin hayvanların bünyesinde kalıntı olarak kalmasına sebep olmaktadır (Sabir ve diğ., 2003; Alkhalaf ve diğ., 2010). Her ne kadar açık alanlarda otlayan yada beslenen hayvanlarda bu kirliliğin önüne geçilmesi güç olsa da, bu kirliliğin minimize edilmesi ve doğrudan hayvan sağlığı ve dolaylı olarak insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (SCAN, 2003).

Her ne kadar metallerin yoğunluk değeri üzerinden hareketle ekolojik sistem üzerindeki etkileri tanımlanmaya/gruplandırılmaya çalışılıyorsa da gerçekte metallerin yoğunluk değerleri onların biyolojik etkilerini tanımlamaktan çok uzaktır. Element ve minerallerin insan sağlığı ile

olan ilişkisini, insan vücudundaki her doku, sıvı, hücre ve organda dengelerini koruduğunu bilmenin insan sağlığını korumada temel olduğu açıktır (Selinus ve diğ., 2005).

Metallerin, özellikle de ağır metallerin yarattığı sağlık problemlerinin çoğu ileri derecede tanı ve tedavi olanakları gerektiren kronik hastalıklar ya da kanserlerdir. Ağır metal türlerinden biri olan kadmiyumun toksik etkileri arasında, böbrek fonksiyon bozuklukları, hipertansiyon, karaciğer hasarı ve akciğer hasarı gösterilebilir (John ve Jeanne, 1994). Teratojenik dozda kadmiyum klorür karaciğer ve böbrek enzimlerinin yapısının değişmesine yol açmaktadır (Ready ve Yellamma, 1996). Kurşun, metabolik zehir ve aynı zamanda nörotoksin olup, yaşam için gerekli olan enzimlere ve diğer hücresel komponentlere bağlanarak bunları inaktif hale getirmektedir (Cunningham ve Saigo, 1997). Kurşun, mide ve bağırsak sisteminde, böbrek sisteminde ve sinir sisteminde toksik etkiye yol açmaktadır (Baykov ve diğ., 1996; ATSDR, 2007). Kurşun nörotoksik olup akut ve kronik bazda zehirlenmelere yol açabilmekte (Gossel ve Bricker, 1990) bunun yanısıra çocuklarda ensefalopati denen beyin hastalığına yol açmaktadır (Carl, 1991). Çinko beslenme için gerekli bir element olup azlığı veya fazlalığı sorunlara yol açmaktadır. Günlük alınması gereken miktardan daha az miktarda çinko alımı gerçekleşirse insanlarda iştah bozukluklarına, koku ve tat alma duyularının azalmasına, bağışıklık sisteminde bozukluklara, yaraların geç iyileşmesine ve cilt yaralarına yol açmaktadır. Hamile olan bayanlar yeterince çinko almazlarsa bebeklerinin gelişmesi gecikme göstermektedir. Çinkonun zararlı etkileri bebekler, bayanlar ve erkekler için sırasıyla günlük alınması gereken değerler olan 5, 12 ve 15 mg değerlerinden 10 ila 15 kat daha fazla oranda çinko alındığında ortaya çıkmaktadır. Fazla miktarda çinko tüketimi mide kramplarına, bulantı ve kusmaya sebep olabilir. Uzun süre boyunca yüksek miktarda çinko tüketmek anemiye, pankreas hasarına ve yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterolünün (iyi kolesterol) seviyesinin azalmasına yol açmaktadır (ATSDR, 2004; EVS, 2005). En yüksek çinko konsantrasyonları et, karaciğer, balık ve yumurtada tespit edilmiştir (Janet ve Carl, 1994). Ağır metal türlerinin toksik etkileri incelendiğinde bakır eksikliği ve fazlalığının memelilerin bağışıklık sistemi üzerinde istenmeyen etkilere yol açtığı görülmektedir (Hostynek ve diğ.,1993). Çinko günlük gıdalarla alınabilen bir metal türü olup, bağışıklık sisteminin güçlenmesi, yaraların iyileşmesi, DNA ve protein sentezinde rol oynar. Hamilelik ve ergenlik döneminde normal gelişimi destekler (Prasad, 1995, Heyneman, 1996 ve Solomons, 1998). Bakır ise toksik etki seviyesinde bulunduğu Wilson hastalığına (fazla miktarda bakır karaciğer, beyin, böbrek ve korneada birikebilmektedir) ve Menke hastalığına (zekâ geriliği, nörolojik bozukluklar ve 3 yaştan önce ölüm) yol açmaktadır (Goyer, 1996).

Taze yumurta zengin protein içeriği nedeniyle günlük beslenmede en önemli ve besleyici gıdalar arasında yer almaktadır. Yumurta, en ucuz protein kaynaklarından biri olduğu için dünyanın pek çok bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de yaygın olarak tüketilmektedir. Ayrıca yumurta birçok gıda ürününün içerisinde farklı fonksiyonlarda yer almaktadır (Sharkawy ve Ahmed, 2002; Legli ve ark, 2010). Yumurta insan beslenmesinde özellikle çocukların beslenmesinde oldukça önemli rol oynamakta olup global ölçekte ağır metallerin yol açtığı kirlilik ve kirliliğin gıda maddelerinde yol açtığı metal kontaminasyonuna olan ilgi günden güne artmaktadır (IDF, 1991). Fakat bu iz elementlerin yumurtadaki seviyeleri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu elementlerin yumurta içerisindeki seviyeleri hem kanatlı hayvan yetiştiricilerini hem beslenme ve gıda uzmanlarını hem de çevre bilimcileri oldukça yakından ilgilendirmektedir (Nisianakis ve diğ.,2009).

Bu çalışma kapsamında, Bursa ilinde farklı bölgelerden toplanan “organik yumurta ve/veya köy yumurtası” olarak adlandırılan yumurta örneklerinde ağır metal konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve risk değerlendirmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

## 2. MATERYAL METOT

### 2.1. Yumurta Örneklerinin Toplanması

Çalışma kapsamında incelenen 190 adet yumurta örneği 2017 yılında Bursa İl'indeki 7 farklı örnekleme bölgesinden (Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB), Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi (NOSAB), Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSAB), Hasanağa Organize Sanayi Bölgesi (HOSAB), Kestel Organize Sanayi Bölgesi (KOSAB), Uludağ Yolu ve Teleferik) toplanmıştır. Toplanan yumurta örnekleri analiz edilinceye kadar buzdolabında saklanmıştır. Örnekleme noktaları olarak Bursa İl'inde kurulu bulunan değişik organize sanayi bölgeleri ile sanayi kirliliğinden uzak olan iki bölge örnekleme noktası olarak seçilmiştir.

### 2.2. Yumurta Örneklerinin Asitle Yakılması

Toplam ağır metal içeriğinin belirlenmesi amacıyla yumurta örneklerinin ak ve sarı kısımları ayrı ayrı asitle deriştirme işlemine tabi tutulmuştur. Asitle deriştirme işlemi Milestone marka Ethos One model mikrodalga yakma sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yakma hazneleri her bir yakma işleminden önce 5 ml konsantre nitrik asit ile temizlenmiştir. Yakma haznelerine 1 gr örnek ilave edildikten sonra üzerine 6 ml konsantre nitrik asit (HNO<sub>3</sub>, %65'lik) ve 2 ml hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ilave edilerek, örnekler mikrodalga yakıcıda (Milestone Ethos One) yakılmıştır. Yakma işlemi bittikten sonra numuneler soğumaya bırakılıp, 0.22 µm 13 mm PTFE filtreden geçirildikten sonra hacim ultra saf su (Purelab Flex marka cihazdan elde edilecek) ile 50 mL'ye tamamlanıp ICP-MS'te analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır. Yumurta örneklerinin asitle yakma işleminde kullanılan mikrodalga yakma sisteminin çalışma şartları şu şekildedir: 2 dak 250 W, 2 dakika süre ile 0 W, 6 dak süre ile 250 W, 5 dak süre ile 400 W, 8 dakika süre ile 550 W ve 8 dak süre ile havalandırma (Soylak ve ark., 2005, Soyлак ve ark., 2006). Kontrol amacıyla sertifikalı referans BCR632-1EA (Butter Fat-Reference Material) 1 gr tartılarak analiz edilmiştir.

### 2.3. ICP-MS Analizi

Enstrümantal analiz Agilent 7700 model indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometre (ICP-MS) cihazı kullanılarak yapılmıştır. ICP çoklu element stok çözeltisi kullanılarak 9 noktalı bir kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. İnternal standart olarak Bizmut (Bi), Germanyum (Ge), İndiyum (In), Lityum (Li), Lutedyum (Lu), Rodyum (Rh), Skandiyum (Sc) ve Terbiyum (Tb) içeren karışım kullanılmıştır. Genel işletim parametreleri: integrasyon zamanı: 0,1 s, örnekleme zamanı: 0,31 s, veri toplama zamanı: 22,76 s; RF gücü: 1550 W, RF voltajı: 1,78 V; taşıyıcı gaz: 0,9 L/dk; make up gaz: 0,1 L/dk; nebulizer pompası: 0,1 rps, He gaz akışı: 4,5 mL/dk. Cihaz okumaları 3'er tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır.

Tavuk yumurtası örneklerinde mevcudiyetleri sıklıkla rapor edilen Kadmiyum (Cd), Cıva (Hg), Kurşun (Pb), Vanadyum (V), Krom (Cr), Mangan (Mn), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Arsenik (As) elementlerinin tayini yapılmıştır. 1-100 ppb ve 1-500 ppb konsantrasyon aralıklarında hazırlanan kalibrasyon çözeltilerinin analizi ile elde edilen kalibrasyon eğrilerinin R<sup>2</sup> değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1. Multi element kalibrasyon standardının ICP-MS ile okunması sonucunda elde edilen R<sup>2</sup> değerleri**

Metaller	Cd	Hg	Pb	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As
1-100 ppb	0,99991	0,99867	0,99939	0,99918	0,99889	0,99990	0,99956	0,99991	0,99814	0,99980	0,99988
1-500 ppb	0,99991	0,99634	0,99767	0,99992	0,99978	0,99981	0,99980	0,99968	0,99965	0,99920	0,99982

## 2.4. Kalite Kontrol/Kalite Güvence

Analiz esnasında kullanılan tüm malzemeler ilk önce Alconox deterjan içeren suda en az 2 saat bekletilmiş, daha sonra kromik asit çözeltisinden geçirilmiş (5 g K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>+5 mL saf su+100 mL derişik sülfürik asit) daha sonra 1 saat süre ile saf suda bekletilmiş olup, kullanımdan önce saf su ve ultra saf sudan geçirilerek kullanılmıştır. Mikrodalga yakma hücrelerinin temizliği %10 nitrik asit içeren çözelti içerisinde en az 2 saat bekletme, saf su ile durulama yoluyla yapılmıştır. Kalite kontrol ve kalite güvenirlik işlemlerinde hedef analitlerin geri kazanım verimini tespit etmek amacıyla, şahit örnekleri ve referans madde analizi gerçekleştirilmiştir. Normal numunelere uygulanan analiz işlemleri kullanılarak şahit numunelerinin analizi gerçekleştirilmiştir.

## 2.5. Risk Karakterizasyonu

EPA yöntemlere uygun olarak, hassas kişilerde, kanserojenik olmayan etki riski maruz kalma sonucu oluşan dozun oranı olarak ifade edilmektedir. Bu oran Tehlike Oranı (Hazard Quotient-HQ) olarak ifade edilmektedir. HQ değeri 1'den az ise kanserojenik olmayan etki açısından önemli bir risk oluşturmamaktadır. Eğer HQ değeri 1'i geçerse, kanserojenik eğilim artmakta olup bu artış değerinin artması ile artma eğilimi göstermektedir (USEPA, 2001).

Yetişkinler ve çocuklar için sağlık riskleri kirletici medyaya maruziyet yolları ile farklılık göstermekte olup yaşa bağlı olarak değişmektedir. Dolayısı ile yaş grupları ve yaşanan çevreye bağlı olarak sağlık risklerinin belirlenmesinde tutarsızlık olabileceği belirtilmiştir (Wang ve ark., 2005). Bu nedenle yiyecekler vasıtasıyla kalınan maruziyet aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$D_{\text{yemek}}=C \times (E_F E_D F_{IR}) / (W_{AB} T_A) \times 10^{-3}$$

Burada D yiyecekler ile maruz kalınan doz ( $\mu\text{g/g.gün}$ ); E<sub>F</sub> maruziyet sıklığı (365 gün/ yıl); E<sub>D</sub> maruziyet süresi ortalama yaşam süresine eş (70 yıl) (Bennett ve ark., 1999); F<sub>IR</sub> gıda maruziyet oranı 37,2 g/kişi/gün; C gıdadaki metal konsantrasyonu ( $\mu\text{g/g}$ ); W<sub>AB</sub> ortalama vücut ağırlığı (Yetişkinler erkek için 75,8 kg, bayan için 66,9 kg) (TÜİK, 2010), ve T<sub>A</sub> ise kanserojenlere maruz kalınan ortalama süre (365 gün/yıl x maruz kalınan yıl, bu çalışmada 70 yıl olarak kabul edilmiştir). Hedef Tehlike Oranı olan THQ (Target Hazard Quotient) ise HQ baz alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Wang ve ark., 2005; Chien ve ark., 2002).

$$THQ=C \times (E_F E_D F_{IR}) / (W_{AB} T_A R_f D) \times 10^{-3}$$

Burada R<sub>fD</sub> oral referans doz (mg/kg/gün) olup bu çalışmada ağır metaller için Amerikan Çevre Koruma Ajansı tarafından belirlenmiş olan R<sub>fD</sub> değerleri (Cd:0,001, Pb:0,0035, V:0,009, Zn:0,3, As:0,0003, Mn:0,014) kullanılmıştır (USEPA, 2018).

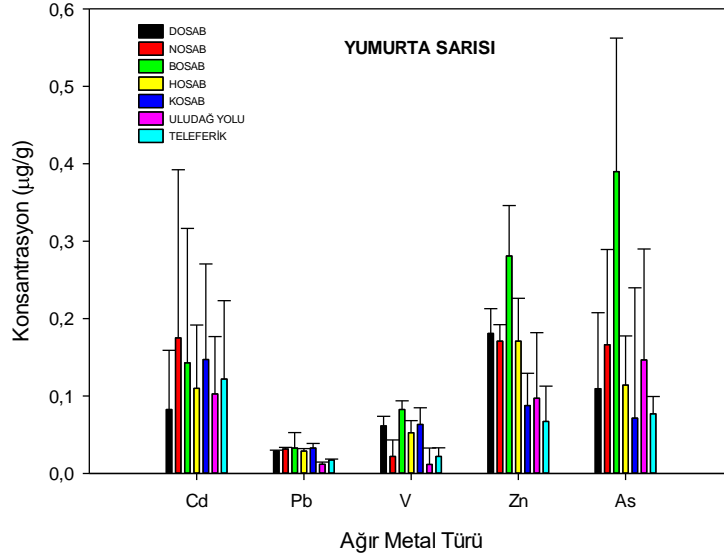
THQ ise tehlike indeksi (Hazard Index (HI)) oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. Tehlike indeksi kimyasal bileşenlerin karışımının meydana getirebileceği potansiyel sağlık risklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bir kimyasal karışım risk teşkil etsin veya etmesin belirli hedefler (doku, organ yada organ sistemleri) üzerinde tek tek yada birleşik olarak etki edebilmektedir (USEPA, 1999).

## 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

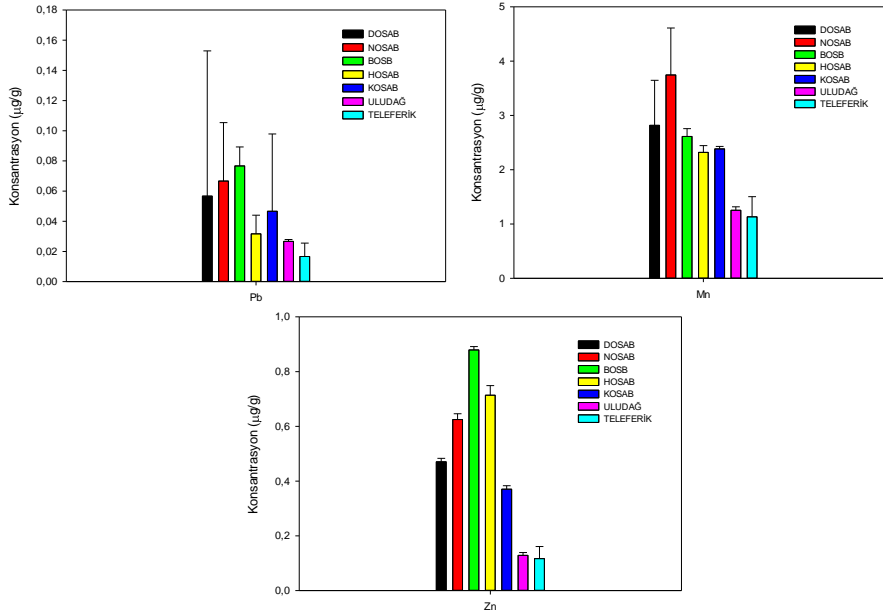
### 3.1. Ağır Metal Konsantrasyonları

Toplanan yumurta örneklerinde tespit edilen ağır metallerin ortalama konsantrasyon seviyeleri ağır metalin türüne bağlı olarak yumurta sarısında 0,0012 ile 0,3899  $\mu\text{g/g}$  arasında, yumurta beyazında ise 0,00123 ile 193,085  $\mu\text{g/g}$  arasında değiştiği tespit edilmiştir. Örnekleme

bölgelerine göre yumurta sarısı ve beyazında tespit edilen ağır metal konsantrasyon seviyeleri Şekil 1 ve 2'de gösterilmektedir.



**Şekil 1:**  
Örnekleme bölgelerine göre yumurta sarısında tespit edilen ağır metallerin konsantrasyon seviyeleri (µg/g)



**Şekil 2:**  
Örnekleme bölgelerine göre yumurta beyazında tespit edilen ağır metallerin konsantrasyon seviyeleri (µg/g)

Tablo 2’de çalışma kapsamında tavuk yumurtalarında tespit edilen ağır metal konsantrasyon seviyelerinin farklı bölgelerde tespit edilen konsantrasyon seviyeleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

Genel olarak tavuk yumurtası örneklerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonları literatürde yapılmış çalışmalarda bildirilen değerlere oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yumurta beyazında tespit edilen ağır metal konsantrasyon değerleri yumurta sarısında tespit edilen değerlere nazaran daha yüksektir. Mn konsantrasyonuna ait değerler yumurtanın beyaz kısmında tespit edilirken, Cd’ye ait konsantrasyon değerleri yumurtanın sarı kısmında tespit edilmiştir.

Yumurta sarısında ağır metal konsantrasyonlarının bölgesel dağılımı incelendiğinde en yüksek konsantrasyon seviyelerinin, BOSAB, DOSAB ve NOSAB civarından alınan tavuk yumurtalarından elde edildiği görülmektedir. Yumurtanın beyaz kısmında Pb, Mn ve Zn için tespit edilen en yüksek konsantrasyon seviyeleri BOSAB civarından alınan yumurta örneklerinde tespit edilmiştir. Örnekleme bölgesinin karakteristiği ve örneklenen iz elementin türüne bağlı olarak örnekleme bölgelerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyon seviyeleri değişiklik göstermektedir. Yumurta sarısında konsantrasyon seviyeleri en yüksek ağır metal türleri Zn, Cd, As iken Zn, Pb ve Mn yumurta beyazında en sık rastlanılan ağır metal türleri olmuştur.

**Tablo 2. Çalışma kapsamında tavuk yumurtalarında tespit edilen ağır metal konsantrasyon seviyelerinin literatürde yapılmış diğer çalışmalar ile karşılaştırılması**

Metal (µg/g)	DOSAB	NOSAB	BOSAB	HOSAB	KOSAB	Uludağ	Teleferik	A	B	C						
										Bu çalışma						C1
Cd	Sarı	0,0825	0,1751	0,1428	0,1098	0,1471	0,1027	0,1218	1,61	-	0,069	0,288	0,227	0,262	0,103	0,057
	Beyaz	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,93	-						
Pb	Sarı	0,0288	0,0315	0,0327	0,0289	0,0327	0,0117	0,0174	-	28,74	2,56	0,842	1,55	3,43	1,26	0,54
	Beyaz	0,0567	0,0667	0,0767	0,0317	0,0467	0,0267	0,0167	-							
V		0,0614	0,0219	0,0825	0,0525	0,0633	0,0116	0,022	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	Sarı	0,1807	0,1707	0,281	0,1707	0,0876	0,0971	0,0671	36,8	4,67	-	-	-	-	-	-
	Beyaz	0,4707	0,625	0,879	0,714	0,3707	0,129	0,117	6,4							
As		0,1095	0,1663	0,3899	0,114	0,0715	0,1466	0,077	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	Sarı	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,9	0,16	3,06	2,65	2,60	3,64	2,66	2,50
	Beyaz	2,8183	3,7462	3,0859	2,6138	2,3211	1,3844	1,2547	2,0							

nd: belirlenemedi

A: Demirulus, 2013

B: Şekeroğlu ve Akmaz, 2009

C: Gochfeld 1997 (C1: Huckleberry Island C2: Canarise Pol C3: Ruffle Bar C4: Shooter’s Island C5: Lavallette C6: Log Creek)

### 3.2. Risk Karakterizasyonu Değerlendirmesi

Toplanan yumurta örnekleri için Bölüm 2.5’te belirtilen şekilde risk karakterizasyonu işlemi yapılmıştır. Yapılan karakterizasyon işlemi neticesinde toplanan yumurta örneklerinin sarı kısmı için tespit edilen THQ değerlerinin  $1,1 \times 10^{-3}$  ile 0,637 arasında değişmekte olduğu, yumurtanın beyaz kısmı için tespit edilen THQ değerlerinin ise  $1,91 \times 10^{-4}$  ile 0,01438 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. THQ değeri 1’den az ise kanserojenik açıdan herhangi bir risk oluşmamakta olup THQ değerinin 1’i geçtiği durumlarda ise kanserojenik eğilim artmakta ve bu artış değerinin artması ile artma eğilimi göstermektedir. Tablo 3’te toplanan yumurta örneklerinin sarı ve beyaz kısımları için hesaplanan THQ değerleri gösterilmektedir.

**Tablo 3. Yumurta örnekleri için hesaplanan THQ değerleri**

THQ Değerleri	DOSAB	NOSAB	BOSAB	HOSAB	KOSAB	Uludağ	Teleferik
<b>Yumurta Sarısı</b>							
Cd	0,0405	0,0859	0,0701	0,0539	0,0722	0,0504	0,0598
Pb	0,0040	0,0044	0,0046	0,0041	0,0046	0,0016	0,0024
V	0,0033	0,0012	0,0045	0,0029	0,0035	0,0006	0,0012
Zn	0,0003	0,0003	0,0005	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001
As	0,1791	0,2720	0,6378	0,1865	0,1170	0,2398	0,1260
<b>Yumurta Beyazı</b>							
Pb	0,0080	0,0094	0,0108	0,0044	0,0065	0,0037	0,0023
Mn	0,0017	0,0091	0,0686	0,0085	0,0031	0,0116	0,0092
Zn	0,0008	0,0010	0,0014	0,0012	0,0006	0,0002	0,0002

THQ değerleri incelendiğinde yumurta sarısı ve beyazında tespit edilen ağır metal türleri için herhangi bir kanserojen risk oluşumunun olmadığı tespit edilmiştir. Özellikle BOSAB, NOSAB ve DOSAB örnekleme bölgelerinde diğer örnekleme bölgelerine nazaran daha yüksek THQ değerleri elde edilmiştir. Cinsiyet, yaş, kişinin beslenme alışkanlığı ve bağışıklık sisteminin direncine bağlı olarak ağır metal kirliliğine maruz kalma oranları değişiklik gösterebilmektedir. Kişinin yaşamını sürdürdüğü bölgede ağır metallerin sebep olduğu bir kirliliğin var olup olmadığı tespiti ve buna bağlı olarak gıdalara bulaşma riskinin de incelenmesi gerekmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar göstermektedir ki tavuk yumurtalarındaki ağır metal konsantrasyon seviyeleri yumurtaların toplandığı bölgelere göre değişim göstermektedir. Sanayinin yoğun ve fazla olduğu bölgelerden toplanan yumurta örneklerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyon seviyeleri sanayinin olmadığı bölgelerden toplanan yumurta örneklerine nazaran daha yüksektir. Kümes hayvanlarının beslenme şekli ve beslendikleri alandaki toprakta var olan mevcut ağır metal kirliliğinin tespiti de oldukça önemlidir. Maruziyet riski incelendiğinde toplanan yumurta örneklerinde halihazırda ağır metal türleri için herhangi bir risk oluşumu söz konusu değildir.

Bu sonuçlar ışığında, gelecekte yapılacak benzer çalışmalar için aşağıdaki öneriler getirilebilir;

- Bu çalışma kapsamında sadece Bursa İli'nden örnekler alınmış olup yapılacak olan diğer çalışmalarda civar illerden de örnek toplama işlemleri toplanarak bölgesel bir kirlilik olup olmadığı tespit edilebilir.
- Çalışma kapsamında sadece yumurta analizi yapılmış olup, ileride yapılması düşünülen çalışmalarda yumurta örnekleri ile tavukların beslendiği alandan toprak numunesi ve tavuklara verilen yemlerden numuneler alınarak ağır metallerin besin zinciri içerisindeki hareketleri incelenebilir.
- Çocukların (6 yaşına kadar) ortalama vücut ağırlıklarının çok daha düşük olması sebebiyle beslenme yoluyla ağır metal kirliliğine maruz kalma oranları daha fazla olacaktır. Dolayısı ile farklı metaller için günlük maruziyet konsantrasyonu (Concentration of Daily Ingestion-CDI) değerleri çocuklar için daha yüksek olarak tespit edilecektir. Bu sebeple besin zinciri yoluyla maruz kalınan ağır metal kirliliğinin incelenerek insan sağlığının korunması gerekmekte ve bu durum toplum sağlığı açısından önem arz etmektedir.
- Ulusal Kalıntı İzleme Planı kapsamında 7 yumurta örneğinin incelendiği Bursa'dan daha fazla örnek alınarak sürekli denetim ve kontroller yapılması gerekmektedir.



- Günde 50 milyona yakın yumurtanın tüketildiği ülkemizde en temel besin kaynağı olan yumurta için organik adı altında yapılan satışların denetleme ve düzenleme işlemlerinin hassasiyet ile yapılması gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma finansal olarak Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 2016-01-004 proje numarası altında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Alkhalaf, N.A., Osman, A.K., Salama, K.A. (2010). Monitoring of Aflatoxins and Heavy Metals in Some Poultry Feeds, African Journal of Food Science, 4: 192-199. [doi:10.5897/AJFS.9000193](https://doi.org/10.5897/AJFS.9000193)
2. ATSDR. (2004). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology, Clifton Road, NE, Atlanta, GA., Retrieved from: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles>.
3. ATSDR. (2007). Toxicological profile for lead. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Retrieved from: <http://www.atsdr.cdc.gov>.
4. Banerjee, D., Kuila, P., Ganguli, A., Das, D., Mukherjee, S., Ray, L. (2011). Heavy Metal Contamination in Vegetables Collected from Market Sites of Kolkata, India, EJEAFCh, 10(4), 2160-2165. [doi:10.1007/s41207-017-0039-4](https://doi.org/10.1007/s41207-017-0039-4)
5. Baykov, B.D., Stoyanov, M.P., Gugova, M.L. (1996). Cadmium and lead bioaccumulation in male chickens for high food concentrations, Toxicol. Environ. Chem., 54: 155-159. [doi:10.1080/02772249609358308](https://doi.org/10.1080/02772249609358308)
6. Buttriss, J., Hughes, J. (2000). An update on copper: Contribution of MAFF-funded research, Nutr. Bull., 25, 271-280. [doi:10.1046/j.1467-3010.2000.00072.x](https://doi.org/10.1046/j.1467-3010.2000.00072.x)
7. Carl, M. (1991). Heavy metals and other trace elements. Monograph on residues and contaminants in milk and milk products, Special Issue 9101, International Dairy Federation "IDF", Belgium, 112-119. [ISSN 0958-6946](https://doi.org/10.1080/0958-6946)
8. Chien, L.C., Hung, T.C., Choang, K.Y., Choang, K.Y., Yeh, C.Y., Meng, P.J. (2002). Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan, Sci. Total Environ., 285, 177-185. [doi:10.1016/S0048-9697\(01\)00916-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00916-0)
9. Cunningham, W.P., Saigo, B.W. (1997). Environmental Science a Global Concern, 4<sup>th</sup> Edn., WMC Brown Publisher, New York, 389. ISBN-13: 978-0072830897, ISBN-10: 0072830891
10. D'Mello, J.P.F. (2003). Food Safety: Contaminants and Toxins, CABI publishing, Wallingford, Oxon, UK, Cambridge, MA. 480. ISBN-13: 978-0851996073, ISBN-10: 0851996078
11. Demirezen, D., Uruç, K. (2006). Comparative study of trace elements in certain fish, meat and meat products, Meat. Sci., 74, 255-260. [doi: 10.1016/j.meatsci.2006.03.012](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.03.012).
12. Demirulus, H. (2013). The heavy metal content in chicken eggs consumed in Van Lake territory, Ekoloji, 22, 86, 19-25. [doi:10.5053/ekoloji.2013.863](https://doi.org/10.5053/ekoloji.2013.863)
13. Gochfeld, M. (1997). Factors affecting susceptibility to metals, Environ. Health Perspect., 105, 817-822. [doi:10.1289/ehp.97105s4817](https://doi.org/10.1289/ehp.97105s4817)

14. Gossel, T.A., Bricker, J.D. (1990). Principles of Clinical Toxicology, 2<sup>nd</sup> Ed., Raven Press Ltd. New York. [doi:10.1002/jat.2550110115](https://doi.org/10.1002/jat.2550110115)
15. Goyer, R.A. (1997). Toxic and essential metal interactions, *Annu. Rev. Nutr.*, 17: 37- 50. [doi:10.1146/annurev.nutr.17.1.37](https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.17.1.37)
16. Gupta, U.C., Gupta, S.C. (1998). Trace elements toxicity relationships to crop production and livestock and human health: Implication for management, *Common Soil Sci. Plant Anal.*, 29, 1491-1522. [doi:10.1080/00103629809370045](https://doi.org/10.1080/00103629809370045)
17. Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Timur, S. (2009). Metallerin Çevresel Etkileri-III, [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi138/d138\\_6471.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi138/d138_6471.pdf).
18. Heyneman, C. A. (1996). Zinc deficiency and taste disorders, *Annal. Pharmacotherapy*, 30, 186-187. [doi:10.1177/106002809603000215](https://doi.org/10.1177/106002809603000215)
19. Hostynek, J.J., Hinz, R.S., Lorence, C.R., Price, M., Guy, R.H. (1993). Metals and the skin, *Crit. Rev. Toxicol.*, 23, 171–235. [doi:10.3109/10408449309117116](https://doi.org/10.3109/10408449309117116)
20. Janet, C.K., Carl, L.K. (1994). Zinc. In: Maurice, E.S.; A.O. James; S.L. Moshes and Febiger, (Eds.), *Modern nutrition in Health and Disease*, 8th Edn., Part I: 227-228. ISBN (Electronic):9781469816593, ISBN (Print):9781605474618
21. Jarup, L. (2003). Hazards of Heavy Metal Contamination, *British Med. Bull.*, 68, 167 – 182. [doi:10.1093/bmb/ldg032](https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032)
22. John, H.H., Jeanne, I.R. (1994). Food Additives, Contaminants and Natural Toxins. In: Maurice E.S.; A.O. James; S.L. Moshe and Febiger, (Eds.), *Modern Nutrition in Health and Disease*, 8th Edn., Part II, 1597-1598.
23. Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2009). Metallerin Çevresel Etkileri-I, *Metalurji*, 136.Sayı, [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf).
24. Leggli, C.V.S., Bohrer, D, Nascimento, P.C., Carvalho, L.M., Garcia, S.C. (2010). Determination of sodium, potassium, calcium, magnesium, zinc and iron in emulsified egg samples by flame atomic absorption spectrometry, *Talanta*, 80, 1282-1286. [doi:10.1016/j.talanta.2009.09.024](https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.024)
25. Liu, X., Song, Q., Tang, Y., Li, W., Xu, J., Wu, J., Wang, F., and Brookes, P.C., (2013). Human health risk assessment of heavy metals in soil vegetable system: a multi-medium analysis. *Science of the Total Environment*, 463, pp. 530-540. [doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.064](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.064)
26. Magkos, F., Arvaniti, F., Zampelas, A. (2003). Putting the safety of organic food in to Perspective, *Nutr. Res. Rev.*, 16 (2), 211-221. [doi:10.1079/NRR200361](https://doi.org/10.1079/NRR200361)
27. Nisianakis, P., Giannenas, I.A., Gavriil, G., Kontopidis, A., Kyriazakis, I. (2009). Variation in trace element contents among chicken, turkey, duck, goose, and pigeon eggs analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP- MS), *Biological Trace Element Research*, 128(1), 62-71, [doi:10.1007/s12011-008-8249-x](https://doi.org/10.1007/s12011-008-8249-x)
28. Prasad, A.S. (1995). Zinc: an overview, *Nutrition*, 11, 93-99. [PMID: 7749260](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7749260/)
29. Reddy, A.T.V., Yellamma, K. (1996). Cadmium chloride induced alteration in the detoxification enzymes of rat liver and kidney, *Pollut. Res.*, 15, 371-373.
30. Sabir, S.M., Khan, S.W., Hayat, I. (2003). Effect of Environmental Pollution on Quality of Meat in District Bagh, Azad Kashmir, Pak. *J. Nutr.*, 2(2), 98-101, [doi: 10.3923/pjn.2003.98.101](https://doi.org/10.3923/pjn.2003.98.101).

31. Sathawara, N.G., Parikh, D.J., Agarwal, Y.K. (2004). Essential Heavy Metals in Environmental Samples from Western India, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 73, 264-269. [doi:10.1007/s00128-004-0490-1](https://doi.org/10.1007/s00128-004-0490-1)
32. Scan. (2003). Scientific Committee on Animal Nutrition: Opinion of the Undesirable Substances in Feed, Retrieved from: [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scan/out126\\_bis\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scan/out126_bis_en.pdf).
33. Şekeroğlu, A. (2002). Serbest Yetiştirme (Free- Range) Sisteminin Beyaz ve Kahverengi Yumurtacı Genotiplerin Yumurta Verim Ve Kalitesine Etkisi, Basılmamış Doktora Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zooteknik Anabilim Dalı, Tokat.
34. Şekeroğlu, A., Akmaz, Y., (2009). Karayollarından uzaklığın yumurta ağır metal içeriklerine etkisi, *Anadolu Tarım Bilim. Dergisi*, 24(2), 103-107. [Print ISSN: 1308-8750 Online ISSN: 1308-8769](https://doi.org/10.1501/ISSN:1308-8750)
35. Şekeroğlu, A., Sarı H., Mendil D., Sarica M. (2007). The Effects of Housing Systems on Some Mineral Contents of Hen's Eggs, *Asian Journal of Chemistry*, 19(4), 2939-2944. [ISSN 0003-9098.](https://doi.org/10.1002/asjc.9098)
36. Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U., Smedley, P. (2005). Essentials of Medical Geology, impacts of the natural environment on public Health, 144, 890-891. [doi:10.1017/S0016756806002305](https://doi.org/10.1017/S0016756806002305)
37. Sharkawy, A.A., Ahmed, E.K.H. (2002). Determination of lead, cadmium, mercury and copper concentrations in hen's eggs at Assiut Governorate, *Assiut Veterinary Medicine Journal*, 48(95), 45-59.
38. Solomons, N.W. (1998). Mild human zinc deficiency produces an imbalance between cell-mediated and humoral immunity, *Nutr. Rev.*, 56, 27-28. [doi:0.1111/j.1753-4887.1998.tb01656.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01656.x)
39. Soylak, M., Çolak, H., Turkoglu, O., Dogan, M. (2006). Trace Metal Content of Snacks and Appetizers Consumed in Turkey, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 76, 436-44. [doi:10.1007/s00128-006-0940-z](https://doi.org/10.1007/s00128-006-0940-z)
40. Soylak, M., Tüzen, M. (2006). Diaion SP-850 resin as a new solid phase extractor for preconcentration-separation of trace metal ions in environmental samples, *J. Hazard. Mater.*, 137, 1496-1501. [doi:10.1016/j.jhazmat.2006.04.027](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.027).
41. Tosun, H., Kaya, S.B. (2010). Organik gıdalarda gıda güvenliği. *Gıda Tekn. Elekt. Dergisi*, 5(2), 48-58. [e-ISSN:1306-7648](https://doi.org/10.1007/s00128-006-0940-z)
42. USEPA. (1999). Human health and ecological risk. Assessment support to the development of technical standards for emissions from combustion units burning hazardous wastes background document, EPA/ 68-W6-0053; Washington (DC).
43. USEPA (2014). USEPA Regional Screening Level (RSL) Summary Table: November 2011, Available at: <http://www.epa.gov/regshwmd/risk/human/Index.htm>.
44. USEPA. (2018). Integrated Risk Information System (IRIS), Available at: <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/atoz.cfm>.
45. Wang, X., Sato, T., Xing, B., Tao, S. (2005). Health risk of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish, *Sci. Total Environ.*, 350, 28-37. [doi:10.1016/j.scitotenv.2004.09.044](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.044)

