



T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ ET VE ET ÜRÜNLERİNDE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Diyetisyen Didem ÇAVUŞMİRZA DEMİRTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VETERİNER GIDA HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

Danışman
Prof. Dr. Fulya TAŞÇI

BURDUR - 2023

T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ ET VE ET ÜRÜNLERİNDE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Diyetisyen Didem ÇAVUŞMİRZA DEMİRTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VETERİNER GIDA HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

Danışman
Prof. Dr. Fulya TAŞÇI

Bu Araştırma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0783-YL-21 proje numarası ile desteklenmiştir.

BURDUR-2023

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yol gösteren, bilgi birikimini ve emeklerini esirgemeyen, gerek insani gerek de akademik olarak beni destekleyen, öğrencisi olmaktan daima gurur duyacağım tez danışmanın sayın Prof. Dr. Fulya TAŞÇI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine sunulmuş ve 0783-YL-21 numaralı proje olarak desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Projenin deneysel çalışmaları Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Değerli desteklerinden dolayı Merkez Müdür, Müdür Yardımcıları ile tüm merkez çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde emeği olan, sevgi ve desteklerini her daim hissettiğim canım ailem; sevgili annem Özlem ÇAVUŞMİRZA'ya, sevgili babam Tekin ÇAVUŞMİRZA'ya, sevgili kardeşlerim Fatma ve Sinem ÇAVUŞMİRZA'ya, hayatıma girdiği andan beri bana güç veren, beni destekleyen ve yanımda olan değerli eşim Serkan DEMİRTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK	i
KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
ETİK BEYAN	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER	vi
TABLolar	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Et ve Et Ürünlerinin Besin Değeri	4
2.1.1. Kırmızı Et	4
2.1.2. Tavuk Eti	6
2.1.3. Balık Eti	6
2.2. Ağır Metaller	7
2.3. Ağır Metallerin Bulaşma Yolları	10
2.4. Et ve Et Ürünlerinde Analiz Edilen Ağır Metaller	13
2.4.1. Bakır (Cu)	13
2.4.2. Cıva (Hg)	15
2.4.3. Çinko (Zn)	16
2.4.4. Demir (Fe)	17
2.4.5. Kadmiyum (Cd)	19
2.4.6. Kobalt (Co)	21
2.4.7. Kurşun (Pb)	22
2.4.8. Krom (Cr)	23
2.4.9. Nikel (Ni)	25
2.5. Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri	26
2.6. Yasal Düzenlemeler	30
2.7. Ağır Metallerin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	32
3. GEREÇ VE YÖNTEM	34
3.1. Gereç	34
3.1.1. Materyal	34
3.1.2. Kimyasallar ve Reaktifler	34
3.1.3. Stok Çözeltilerinin ve Kalibrasyon Standartlarının Hazırlanması	34
3.2. Yöntem	38
3.2.1. Örnek Hazırlanması	38
3.2.2. Kullanılan Cihaz ve Çalışma Koşulları	38
3.3. İstatiksel Analiz	39
4. BULGULAR	40
5. TARTIŞMA	45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER

Şekil 2.1	Periyodik tabloda ağır metallerin konumu	8
Şekil 2.2	İnsan vücudunda ki rollerine göre ağır metallerin sınıflandırılması	10
Şekil 2.3.	Ağır metallerin bulaşma kaynakları ve organizmalar üzerindeki etkileri	13
Şekil 2.4	Ağır metallere bağlı semptomlar	27
Şekil 3.1.	Bakır (Cu) çalışma kalibrasyon grafiği	35
Şekil 3.2.	Demir (Fe) çalışma kalibrasyon grafiği	35
Şekil 3.3	Nikel (Ni) çalışma kalibrasyon grafiği	35
Şekil 3.4.	Kadmiyum (Cd) çalışma kalibrasyon grafiği	36
Şekil 3.5.	Kurşun (Pb) çalışma kalibrasyon grafiği	36
Şekil 3.6.	Civa (Hg) çalışma kalibrasyon grafiği	36
Şekil 3.7.	Çinko (Zn) çalışma kalibrasyon grafiği	37
Şekil 3.8.	Krom (Cr) çalışma kalibrasyon grafiği	37
Şekil 3.9	Kobalt (Co) çalışma kalibrasyon grafiği	37
Şekil 3.10.	Mikroalga yakma cihazı (MilestoneStard D, Sorisole, İtalya)	39
Şekil 3.11.	İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi cihazı (ICP/OES) (Perkin Elmer Optima 8000, ABD) cihazı	39
Şekil 4.1.	Sığır eti ve kanatlı etlerinde maksimum limiti aşan kurşun yüzdesi	43
Şekil 4.2.	Balık eti çeşitlerinde maksimum limiti aşan kurşun yüzdesi	43
Şekil 4.3.	Kırmızı et ve et ürünlerinin ortalama krom, çinko, kurşun, demir düzeyinin karşılaştırılması	45

TABLÖLAR

Tablo 2.1	Ağır metal birikiminin insan sağlığı üzerindeki etkileri	29
Tablo 2.2	Etlerde ağır metaller için önerilen ulusal ve uluslararası maksimum kalıntı limitleri	30
Tablo 2.3	Ağır metal referans değerleri	31
Tablo 4.1	Et ve et ürünlerindeki ağır metallerin dalga boyları, dedeksiyon limiti (LOD), korelasyon katsayısı (R^2)	40
Tablo 4.2	Burdur’da tüketilen et ve et ürünlerinin ağır metal içeriği (mg/kg)	41

SİMGELER ve KISALTMALAR

AAS	Atomic absorption spectroscopy (Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi)
ANZFA	Australian and New Zealand Food Authority (Avustralya ve Yeni Zelanda Gıda Kurumu)
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı)
CAC	Codex Alimentarius Commission (Codex Alimentarius Komisyonu)
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
Co	Kobalt
Cr	Krom
°C	Degres Centigrade (Santigrat Derece)
DNA	Deoxyribonucleic acid (Deoksiribo Nükleik Asit)
EC	European Commission (Avrupa Komisyonu)
FDA	U.S. Food and Drug Administration (Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi)
Fe	Demir
Hg	Cıva
H₂O₂	Hydrogen Peroxide (Hidrojen Peroksit)
HNO₃	Nitric Acid (Nitrik Asit)
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (Gıda Katkı Maddeleri Ortak FAO/WHO Uzman Komitesi)
IARC	The International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry (İndüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometresi)
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi)
LOD	Dedeksiyon Limiti
MeHg	Metil cıva
MeHgCys	Metil cıva sisteinat kompleksi
Mg	Miligram
Ni,	Nikel
Pb	Kurşun
PMTDI	Provisional Maximum Tolerable Daily Intake (Geçici Maksimum Tolere Edilebilir Günlük Alım)
PTMI	Provisional Tolerable Monthly Intake (Geçici Tolere Edilebilir Aylık Alım)
PTWI	Provisional Tolerable Daily Intake (Geçici Tolere Edilebilir Günlük Alım)
R²	Korelasyon katsayısı
-SH	Aktif sülfhidril
Zn	Çinko

ÖZET

Çeşitli Et ve Et Ürünlerinde Ağır Metal İçeriklerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada Burdur ilinde tüketilen farklı zamanlarda rastgele olarak toplanan sığır eti, balık eti, tavuk eti ve et ürünleri olmak üzere toplam 96 adet örnekte ağır metal düzeylerinin belirlenmesi, elde edilen değerlerin ulusal ve uluslararası mevzuatlarla karşılaştırılması amaçlandı. Burdur ilinde tüketilen çeşitli et ve et ürünleri örneklerinde ağır metal - bakır (Cu), demir (Fe), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), cıva (Hg), çinko (Zn), krom (Cr), kobalt (Co)-varlığı ve düzeyinin belirlenmesinde organik yapılarının parçalanması ve cihazda analiz edilebilecek forma gelmesi için mikrodalga yakma kapalı sistemi kullanıldı ve daha sonra indüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) yöntemiyle analiz edildi. Bu çalışmada, kırmızı et, tavuk eti, balık eti ve et ürünlerinde ortalama kurşun düzeyi sırasıyla 0,487 mg/kg, 1,668 mg/kg, 0,453 mg/kg ve 1,101 mg/kg, balık etinde ise kadmiyum 0,051 mg/kg olarak tespit edildi. Ancak, cıva hiçbir örnekte saptanmadı. Sonuç olarak kırmızı et, tavuk eti, balık eti ve et ürünlerinde ortalama kurşun düzeyi, balık etinde ise ortalama düzeyi kadmiyum ulusal ve uluslararası mevzuatta bildirilen maksimum kalıntı limitlerinin üstünde belirlendi. Et ve et ürünlerinde kadmiyum ve kurşunun maksimum kalıntı limitlerinin üstünde belirlenmesi halk sağlığı açısından risk yaratmaktadır. Sonuç olarak, et ve et ürünleri çiftlikten sofraya tüm aşamalarda ağır metal kirliliğinin izlenmesi gerektiği kanısına varıldı.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metaller, Et, Et Ürünleri, ICP-OES

ABSTRACT

Evaluation of Heavy Metal Contents in Various Meat and Meat Products

In this study, it was aimed to determine the heavy metal levels in a total of 96 samples, including beef, fish meat, chicken meat and meat products, which were randomly collected at different times consumed in the province of Burdur, and to compare the obtained values with national and international legislation. In order to determine the presence and level of heavy metals - copper (Cu), iron (Fe), nickel (Ni), cadmium (Cd), lead (Pb), mercury (Hg), zinc (Zn), chromium (Cr), cobalt (Co)- in various meat and meat products samples consumed in Burdur province, microwave combustion closed system was used to break down the organic structures and to form them that can be analyzed in the device, and then analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) method. In this study, mean lead levels in red meat, poultry, fish and meat products were 0.487 mg/kg, 1.668 mg/kg, 0.453 mg/kg, and 1.101 mg/kg, respectively; in fish meat, cadmium was determined as 0.051 mg/kg. However, mercury was not detected in any of the samples. As a result, the average lead level in red meat, chicken meat, fish meat and meat products, and the average level of cadmium in fish meat were determined above the maximum residue limits reported in national and international legislation. The determination of cadmium and lead in meat and meat products above the maximum residue limits creates a risk for public health. As a result, it was concluded that heavy metal pollution should be monitored at all stages of meat and meat products from farm to fork.

Keywords: Heavy Metals, Meat, ICP-OES, Meat Products

1. GİRİŞ

Et ve et ürünleri; proteinleri, yağları, mineral maddeleri ve vitaminleri içeren insan beslenmesinde çok önemli besin kaynaklarıdır. Sağlığın korunması ve sürdürülmesi için et tüketimi hayati öneme sahiptir. Evcil hayvanlardan elde edilen et (balık, tavuk, keçi, koyun ve inek eti) ve et ürünleri (pastırma, sosis, salam) toplum için başlıca protein kaynaklarıdır ve yaygın olarak tüketilmektedir (Alturiqi ve Albedair, 2012; Wang ve ark., 2019).

Beslenme ve gıda güvenliği yakından birbiriyle bağlantılıdır. Güvenli olmayan yiyecekler başlıca küresel halk sağlığı problemidir. Özellikle bebekleri, küçük çocukları, yaşlıları ve hastaları etkilemekte, yetersiz beslenme ve hastalıklar döngüsü yaratmaktadır. Güvenli gıda tedariki, gıda ve beslenme güvenliğine katkıda bulunmanın yanı sıra, halk sağlığı kazanımlarını ve çevresel faydaları en üst düzeye çıkarmakta, ulusal ekonomileri, ticareti ve turizmi de destekleyerek sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmektedir (Güler ve Can, 2017; WHO, 2020). Et ve et ürünlerinin kalitesi ve güvenliği, çeşitli toksik kirleticilerin varlığıyla olumsuz etkilenmektedir (Wang ve ark., 2019). Özellikleri nedeniyle, kimyasal tehlikeler toksik, patlayıcı, yanıcı, kendiliğinden tepkimeye giren, oksitleyici veya aşındırıcı olabilmekte, ancak bunlarla sınırlı kalmamaktadır. Solunum, deri yoluyla emilim veya yutma dahil olmak üzere farklı yollarla bu maddelere maruz kalma, sağlık açısından olumsuz etkilere yol açmaktadır. Kimyasal tehlikeler; toksinler, tehlikeli kimyasallar, gıda ürünlerinin işlenmesinde fazla miktarda kullanılan kimyasal kalıntıları içermektedir (CDC, 2018). Gıdalarda bulunabilen kimyasal tehlikeleri; gıdaların doğal yapısında bulunan, katkı maddelerinden kaynaklanan, gıdaların üretiminde bulaşan, gıdaların pişirilmesi sırasında oluşan kimyasal tehlikeler olarak sınıflandırılabilir (Güler ve Can, 2017).

Et ve et ürünleri, sebzeler ve balık gibi gıda maddelerinde ağır metal kontaminasyonu son yıllarda eşi görülmemiş bir şekilde artmış, toksik metallerle maruziyet sonucu insan sağlığına yönelik en büyük tehditlerden biri haline gelmiştir. Etlerin ağır metallerle kontaminasyonu, besin zincirindeki toksisiteleri, biyolojik birikimleri ve biyomagnifikasyonları nedeniyle ciddi bir tehdittir (Aendo ve ark., 2020; Demirezen ve Uruç, 2006).

Metalik elementler veya ağır metaller stabiliteleri, kalıcılıkları ve toksisiteleri nedeniyle özel ekotoksikolojik öneme sahiptir. Bitkiler ve balıklar da dahil olmak üzere organizmalarda biyolojik olarak biriktikleri bilinmektedir. Çevrede metalik elementlerin varlığı, hem volkanik aktivite gibi doğal süreçlerin hem de fosil yakıt yakma ve tarımsal atık su gibi antropojenik aktivitelerin bir sonucudur (Norhazirah ve ark., 2020). Ağır metaller çevrede doğal olarak oluşan bileşenler olmasına rağmen, nüfus artışı, hızlı sanayileşme ve kentleşme nedeniyle konsantrasyonları giderek artmaktadır (Dhanakumar ve ark., 2016; Norhazirah ve ark., 2020; Odoh ve ark., 2016). Endüstriyel ve kentsel faaliyetlerin neden olduğu kirlilik sonucu çevrede toksik metallerin birikmesi, bu tür kimyasalların gıda zincirlerine girme riskleri nedeniyle küresel sağlık endişeleri yaratmaktadır (Odoh ve ark., 2016). Endüstriyel gelişmelerdeki önemli değişiklikler, kimyasal atıkların ekosisteme deşarjının artmasına ve dolayısıyla habitatın zarar görmesine neden olmaktadır (Al-Busaidi ve ark., 2011).

Ağır metaller; ağız, solunum ve deri yolu ile vücuda alınabilmekte ve eser miktarlarda alınsalar bile biyolojik olarak kolayca parçalanmamaktadır. Dolayısıyla insan ve hayvan dokularında birikmektedir (Aendo ve ark., 2020; Özbolat ve Tuli, 2016). Ağır metallerin vücutta oluşturacağı etkiler, ağır metalin derişimine, yapısına, çözünürlük değerine, kimyasal yapısına, redoks ve kompleks oluşturma yeteneğine, vücuda alınış şekline ve çevrede bulunma sıklığına göre değişmektedir. Ağır metallerin vücutta oluşturdukları toksik etkinin temel nedeni, hücre içi metabolik süreçlerde oluşturdukları bozukluklardır. Bu bozukluklar; DNA hasarı, oksidatif stresin artışına bağlı olarak oksidatif protein yıkımı, mitokondri hasarı ve apoptozisin indüklenmesi, otoimmün hastalıklar (ülseratif kolit, crohn hastalığı, romatizma vb.), organik hastalıklar (böbrek hastalığı, alerji, egzama, astım, vb) ve nörolojik bozukluklar (depresyon, migren, Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı) olarak belirtilmektedir. Özellikle yarattığı sağlık problemlerinin çoğu kronik hastalıklar ve kanserlerdir (Özbolat ve Tuli, 2016).

Et ve et ürünlerinde gıda güvenliği, çiftçiler, üreticiler tarafından yerine getirilmesi gereken mutlak bir gerekliliktir. Et ve et ürünlerindeki ağır metal kalıntıları insanlarda doğrudan ve dolaylı toksisitelere neden olmaktadır. İnsan sağlığını etkilemesine ek olarak, aynı zamanda yerel ve küresel ticareti ve bu ticarete katılan

Ülkelerin ekonomilerini de etkilemektedir. Burdur'da tüketilen et ve et ürünleri kısmen bu şehirde kısmen diğer şehirlerde üretilip burada tüketilen ürünlerdir. Halk sağlığını ve gıda güvenliğini sağlamak için Burdur ilinde tüketilen çeşitli et ve et ürünleri örneklerinde ağır metal - bakır (Cu), demir (Fe), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), civa (Hg), inko (Zn), krom (Cr), kobalt (Co)-varlığı ve düzeyi yönünden araştıırılması amaçlanmıştır. Böylece tüketimde önemli paya sahip olan et ve et ürünlerinin, ağır metal varlıkları ve miktarları belirlenerek ağır metal düzeylerini etkileyebilecek faktörlerin belirlenmesine ve elde edilen sonuçlar ile yerel ve küresel ticarete, ekonomiye katkı sağlaması beklenmektedir. Et ve et ürünlerindeki kontaminasyon kaynağının ipuçlarının belirlenmesi ve risk değerlendirmesi ile ağır metal yönetimi ve izleme politikalarının geliştirilmesi için bilimsel bir temel sağlamayı, elde edilen bilgilerle bölgedeki yetiştircilerin, üreticilerin ve tüketicilerin bilinçlendirilmesi, verimliliğin arttırılması hedeflenmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Et ve Et Ürünlerinin Besin Değeri

2.1.1. Kırmızı Et

Amerikan Et Bilim Derneği, etin tanımını insan tüketimi için sağlanan memeli, kuş, sürüngen ve su türlerinden elde edilen iskelet kası ve ilişkili dokuları olarak ifade etmiştir (Seman ve ark., 2018). Et, en az 3 milyon sene önce beslenmemize dahil olmuştur. İnsan evriminde etin tüketilmeye başlanması önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Günümüzde de et içerdiği makro ve mikro elementler ile insan beslenmesinde önemli bir yer tutmaktadır (Delgado ve ark., 2021). Dünya genelinde et ve et ürünleri insan beslenmesinin önemli bir bileşenidir (Halagarda ve Wójciak, 2022) ve birçok ülkede 1960'dan günümüze kadar et tüketiminin arttığı bildirilmektedir (González ve ark., 2020). Basu (2015), yaptığı çalışmada 1960-2010 yılları arasında et tüketiminin %204'e varan artış olduğunu, Katare ve ark. (2020), yapılan son incelemeler ile 1992-2016 yılları arasında et tüketimindeki artışın %500'e ulaştığını bildirmiştir. Bu durum son yüz yılda insan beslenmesinin önemli derecede değiştiğini göstermektedir.

İnsanlarda görülen mineral yetersizliği günümüzde küresel bir sorun haline gelmiştir. Mineral eksikliğinin çocuk gelişiminde, gebelikte, yaşlılık dönemlerinde genel sağlık üzerine olumsuz etkileri saptanmıştır. Demir ve çinkonun yetersiz tüketilmesinin anemi, büyüme sorunları, raşitizm gibi birçok soruna neden olması bu konuya verilebilecek örneklerdendir. Bununla birlikte bakır, selenyum, demir, çinko gibi bazı mineraller serbest radikaller ile mücadele eden enzimler için gereklidir (Cabrera ve ark., 2010). Sığır eti, biyoyararlanımı yüksek olan esansiyel minerallerin kaynağı olduğu için mineral yetersizliğine karşı insan beslenmesinde önemlidir. Proteinler, demir, vitaminler başta olmak üzere birçok gıda bileşeni açısından önemli bir besin kaynağıdır (Cabrera ve ark., 2010).

Günlük alınan toplam kalorinin %30'u, protein miktarının ise %58'i et ve et ürünlerinden sağlanmaktadır (Halagarda ve Wójciak, 2022). Kırmızı etin 100 gramında yaklaşık 20-24 gram (g) protein bulundurması ile yüksek kalite protein

kaynağı olduğu bildirilmektedir (Delgado ve ark., 2021). Et içerdığı temel amino asitler ile besin değeri yüksek bir gıdadır. Amino asitler proteinlerin bileşiminde bulunmaktadır. Günümüzde 200'e yakın amino asit bilinmektedir; fakat protein üretimi için yalnızca yirmi amino asite ihtiyaç vardır. Gerekli olan 20 amino asit arasından sekiz tanesi insanlar tarafından sentezlenemez ve gıdalar ile alınmaktadır. İnsan vücudu tarafından üretilemeyen amino asitlerin miktarı ve kalitesi gıdaların besin değerini belirlemektedir. Et, tüm esansiyel amino asitlerden zengin bir besindir (Pereira ve Vicente, 2013).

Et; vitamin ve mineraller açısından da zengin bir besindir. Günlük tüketilmesi gereken niasin, riboflavin, B₆ ve pantotenik asidin %25'ini, B₁₂ vitaminin üçte ikisini 100 gram kırmızı et karşılamaktadır. Kümes hayvanlarından tavuk göğsü B₃ vitamini için, hindi eti ise B₆ vitamini için iyi kaynaktır. Bunun yanında kırmızı et çinko, selenyum, demir ve fosfor bakımından da iyi kaynaklar arasında gösterilmektedir. Demir birçok farklı besinde bulunur; ama vücutta "hem" ve "hem olmayan" demir olarak iki farklı formda kullanılmaktadır. Biyoyararlılığı yüksek ve bağırsak tarafından kolay sindirilebilen hem demir yalnızca hayvansal kaynaklarda bulunmaktadır. Et hem demir açısından en iyi kaynak olarak gösterilmektedir (Pereira ve Vicente, 2013). Kırmızı etin beyaz etten en önemli ayırt edici yönü içerdığı yüksek demir ve miyoglobindir (Smet ve Vossen, 2016).

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), sınırlı kanıttan dolayı insan sağlığı açısından kırmızı etin potansiyel kanserojen (Grup 2A) ve eldeki veriler değerlendirildiğinde işlenmiş et tüketiminin insan sağlığı açısından kanserojen (Grup 1) olduğunu bildirmiştir (IARC, 2015). Yapılan son çalışmalar kırmızı et ya da işlenmiş et tüketiminin özellikle kolorektal kanser başta olmak üzere kanser riskini arttırdığını göstermektedir. Kanser riskinin önüne geçebilmek için günlük kırmızı et tüketiminin 50 gram altında tutulması gerektiği belirtilmiştir. Fazla kırmızı et tüketimi sadece kanser üzerinde değil diyabet, kronik böbrek hastalığı, kardiyovasküler hastalık riskinin de artışında rol oynamaktadır (González ve ark., 2020).

2.1.2. Tavuk Eti

Tüm et çeşitleri gibi kanatlı et tüketimi de artış göstermektedir. Kırmızı et tüketimi beyaz ete göre daha yüksek olsa da son zamanlarda beyaz et tüketimine eğilim artmıştır (Marangoni ve ark., 2015). Tavuk eti tüketimi sığır etine kıyasla, yüksek oranda protein, çoklu doymamış yağ asitleri ve düşük yağ içermesi yanı sıra düşük fiyatı ile çok fazla tercih edilen bir besindir. Ancak, bileşiminde bulunan yüksek oranda ki çoklu doymamış yağ asitleri oksidasyona uğrayarak raf ömrü kısalmaktadır (Chmiel ve ark., 2019).

Kanatlı etinin, diğer etler ve yumurta gibi yüksek kaliteli protein içeriğine sahip olduğu belirtilmektedir. Ayrıca derisiz hindi ve tavuk etlerindeki protein miktarları pişirme işlemiyle %60 arttığı bildirilmektedir. Kanatlı etinin sindirilebilirliğinin yüksek olması düşük kolajen içermesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü kolajen sindirilebilirliği zorlaştıran bir bileşendir. Tavuk ve hindi etinin yağ bileşimi, göğüs eti gibi az yağlı yerlerde %1 oranındayken; kanatlı gibi yağlı bölgelerde %17'ye kadar çıkabilmektedir. Bu durum kümes hayvanlarının yağ içeriğinin diğer et çeşitlerine göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Göğüs etinin 100 gramı 3 gramdan daha az yağ içerir, yağın yarısı tekli doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır ve tavuk eti trans yağ içermemektedir (Akbar ve ark., 2017). B grubu vitamin içeriği diğer et çeşitleriyle benzer miktarlardadır ve pişirme işlemiyle büyük kayıplar görülmemektedir. Aynı zamanda çok iyi bir selenyum kaynağıdır (Marangoni ve ark., 2015).

2.1.3. Balık Eti

Balık içerdiği yüksek kalite protein, vitaminler, mineraller, esansiyel aminoasitler ve yağ asitleri ile yetersiz beslenme sorununa yardımcı olabilecek önemli bir besindir (Marrugo-Negrete ve ark., 2020). Balık tüketimi, insan beslenmesi ve sağlığı üzerine gösterdiği olumlu etkilerden dolayı dünya genelinde önemli derecede artış göstermiştir. Balık, Dünya nüfusunun tükettiği hayvansal proteinin ortalama %17'sine ve tüm proteinin %6,7'sine katkı sağlayan yüksek kaliteli proteinin benzersiz kaynağı olarak gösterilmektedir (Atique Ullah ve ark., 2017).

Balık ve deniz ürünleri tarih boyunca insan beslenmesinde yer almıştır. Balık eti, sığır ve kümes hayvanları etine göre daha az doymuş yağ içermekle beraber daha az demir ve çinko minerali bulundurmaktadır. Balık ve diğer deniz ürünleri yüksek kalite protein, vitamin ve mineral kaynağı olarak gösterilmektedir (Bohrer, 2017). Balık tüketimi az olan toplumların omega 3 kaynakları et ve yumurta olmaktadır (Smet ve Vossen, 2016).

Balık proteini sindirilebilirliği yüksektir ve metionin, lizin gibi karasal et proteinlerinde sınırlı miktarda bulunan çeşitli peptitler, temel aminoasitlerden zengin bir besindir. Protein hidrolizatları, aminoasit bileşiminin çok iyi olması ve kolay sindirilebilir proteinler bulundurmasıyla beslenmeye yönelik üstün olarak gösterilmektedir (Tilami ve Samples, 2018). Balık etinin önemli bir özelliği de iyi bir D vitamini kaynağı olmasıdır. Balıklarda bulunan formu D₃ vitaminidir ve bu formu diğerlerine göre 3 kat daha etkilidir. D vitamini eksikliği raşitizm, osteoporoz, düşük kemik mineral yoğunluğu, diyabet, bazı kanser çeşitlerinin görülme sıklığının artması, kardiyovasküler ve otoimmün hastalık gibi birçok durumla ilişkisi olduğu belirtilmiştir (Tilami ve Samples, 2018).

Kemik sağlığında etkili olan bir başka mineral de kalsiyumdur. Deniz ürünleri iyi kalsiyum kaynaklarıdır. Diğer minerallere kıyasla besinlerden kalsiyum emilimi azdır. Deniz ürünleri içerdikleri kalsiyum miktarı ve bulundurdıkları emilebilir kalsiyum formu ile iyi bir kaynak oluşturmaktadırlar (Tilami ve Samples, 2018). Deniz ürünleri mikro besin maddesi olarak bilinen selenyumdan da zengindir. Selenyum insan sağlığı yönünden çok önemli bir bileşendir. Çeşitli antioksidan enzimlerin çalışması için kofaktör olarak, metil cıva toksisitesini azaltarak ve tiroid bezinin işleyişinde görev almakla beraber selenyum eksikliği kardiyovasküler hastalıklar, artan kanser vakaları, böbrek hastalıkları ile ilişkilendirilmiştir (Tilami ve Samples, 2018).

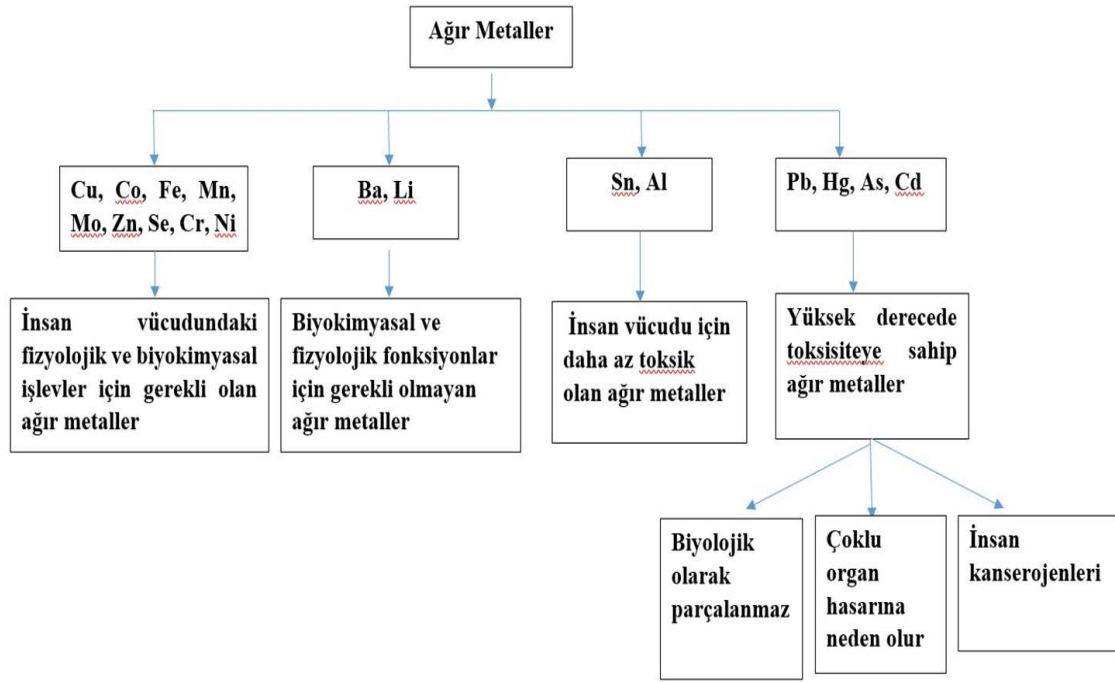
2.2. Ağır Metaller

Metaller elektrik iletkenliği yüksek, kendi isteğiyle katyon oluşturmak için elektronlarını kaybeden maddelerdir. Mevcut 35 doğal metal arasından 23'ü, atom ağırlığı 40,04'ten büyük olan 5 g/cm³'ün üzerinde yüksek özgül yoğunluğa sahiptir ve

genel olarak "ağır metaller" olarak adlandırılan metaller; antimon, tellür, bizmut, kalay, talyum, altın, arsenik, seryum, galyum, kadmiyum, krom, kobalt, bakır, demir, kurşun, cıva, manganez, nikel, platin, gümüş, uranyum, vanadyum ve çinko'dur (Engwa ve ark., 2019). Ağır metaller genellikle yoğunluğu 5 g/cm³'ten büyük olan metaller olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak, farklı bilim dallarında toksik, eser element, tehlikeli metal, esansiyel mineral gibi farklı terimlerde kullanılmaktadır (Ali ve Khan, 2018). Günümüzde ağır metal ifadesi yerine "metal eser element" terimi daha yaygın kullanılmaktadır. Çünkü metal eser elementler daha az toksik ağır element olan metaloidler ve toksik ağır metalleri kapsamaktadır (Sall ve ark., 2020). Ağır metal terimi ile ilgili tanımının yetersiz olması ve tutarsızlığından kaynaklı tartışmalar devam etmektedir (Ali ve Khan, 2018). Bakır (Cu), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), krom (Cr), kurşun (Pb), alüminyum (Al), baryum (Ba), nikel (Ni), arsenik (As), çinko (Zn) ağır metal sınıflandırması içindeki metaller olarak gösterilmektedir (Al Osman ve ark., 2019; Wang ve ark; 2020).

1																	18														
1 H Hydrogen 1.0079																	2 He Helium 4.0026														
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.0067	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984	10 Ne Neon 20.1797														
11 Na Sodium 22.98976	12 Mg Magnesium 24.3050											13 Al Aluminum 26.9815	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.9738	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948														
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.9559	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.9380	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.409	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.9216	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798														
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.9059	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.9064	42 Mo Molybdenum 95.96	43 Tc Technetium (99)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.293														
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.227	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	103 Lr Lawrencium (262)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (285)	111 Rg Roentgenium (289)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (284)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (288)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)														

yaşamımızda sıklıkla karşılaştığımız ağır metaller örneklerinden başlıcalarıdır (Briffa ve ark., 2020). Dünyanın var oluşumundan beri yer kabuğunda bulunan ağır metaller çevrede su, toprak gibi biyosfer alanlarında doğal olarak bulunabilecekleri gibi beşeri faktörlerin etkisi ile antropojenik kaynaklardan da salınabilmektedir (Briffa ve ark., 2020; Mitra ve ark., 2022). Yaşam için elzem olan ağır metaller, organizmalara gıda, hava ve su aracılığı ile girmektedir (Mitra ve ark., 2022). Atom yoğunlukları ve ağırlıkları sudan en az 5 kat daha büyük olduğunda çoğunlukla inorganik kimyasal kirlenici oluşturmaktadır (Chen ve ark., 2021; Oladoye ve ark., 2022). Kimyasal ürün bir organizmanın gelişmesine, yaşam süresine ve çoğalmasına engel olabilecek özellikte ise toksik olarak adlandırılmaktadır (Oladoye ve ark., 2022). Ağır metaller biyolojik olarak parçalanamaması, biyolojik yarılanma ömürlerinin uzunluğu ve çok düşük miktarlarda dahi toksik özellik göstermelerinden dolayı en tehlikeli çevre kirlenicilerinden birisi olarak kabul edilmektedir (Djahed ve ark., 2018). Ağır metallerin neden olduğu çevre kirliliği 1900'lü yılların başından itibaren artış göstermiştir. Sanayileşme ve kentleşmenin hızlı yükselişinin buna neden olduğu düşünülmektedir (Qin ve ark., 2021). Beşeri faktörlerin neden olduğu ağır metal kirliliği kalıcı olmakla beraber toprak ve su kirliliğine de sebep olmaktadır. Toprak ve su ile yetişen bitkiler tarafından bu kirlilik organizma içine alınmaktadır. Metaloidler ve ağır metaller bitki kökü aracılığıyla toprak tarafından kolayca absorpsiyon edilmektedir ve bitkinin yenilebilir kısmında toplanmaktadır. Bütün ekosistem içinde ağır metalleri en yüksek miktarda bulunduran grup topraktır (Chen ve ark., 2021). Ağır metaller ile kirlenen toprağın geri dönüşümü çok zor olmaktadır. Krom, cıva, kurşun, kadmiyum gibi metallerin toprakta yüksek oranda bulunması birçok bitki ve toprakta yaşayan organizmalar için toksiktir. Toprakta yetişen ürün verimini de etkileyen bu kirlilik insan sağlığında daha büyük problemlere yol açmaktadır (Qin ve ark., 2021). ABD Gıda ve İlaç Dairesi (U.S. Food and Drug Administration=FDA) gıda aracılığı ile ağır metal maruziyetini halk sağlığı sorunu olarak belirtmektedir (Wong ve ark., 2022). Bunun yanı sıra ağır metaller biyolojik sistemlerde metabolik, detoksifikasyon ve onarım süreçlerinde önemli rol oynayan enzimlerin ana bileşeni olarak görev almaktadır. İnsan sağlığı için tehdit oluşmaya başlaması, izin verilen maksimum tüketim düzeyinin üzerine çıktığında başlamaktadır (Oladoye ve ark., 2022).



Şekil 2.2. İnsan vücudundaki rollerine göre ağır metallerin sınıflandırılması (Filipoiu ve ark., 2022).

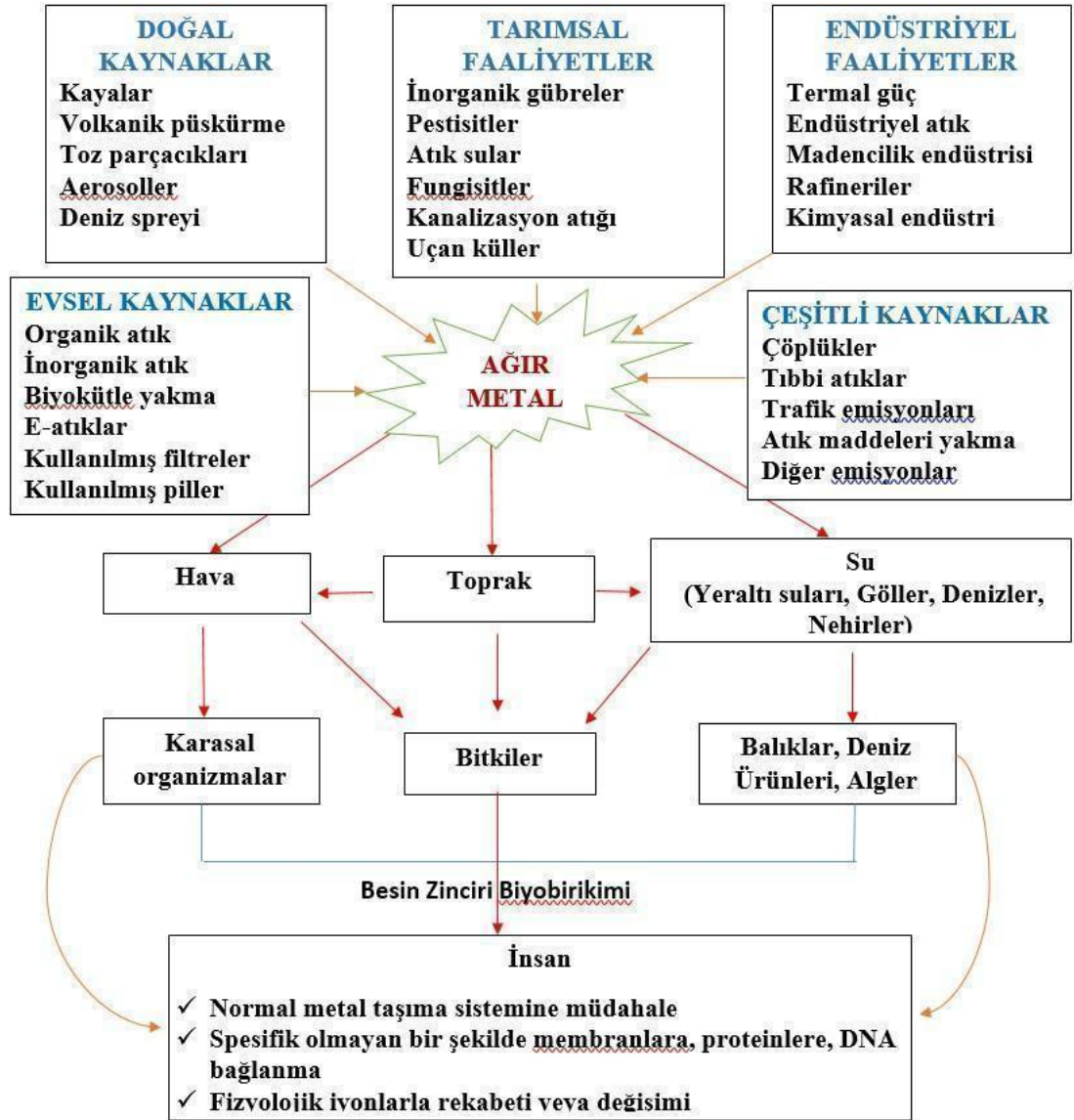
2.3. Ağır Metallerin Bulaşma Yolları

Çevre; insanların, hayvanların, bitkilerin ve mikroorganizmaların yaşam sürdüğü ortam olarak tanımlanmaktadır. Su, toprak ve atmosfer bileşenlerinden oluşan bu ortamın herhangi bir elemanında görülen kirleticilerin normal seviyelerinin üzerine çıkması çevre kirliliği olarak belirtilmektedir (Briffa ve ark., 2020). Günümüzde çevresel kirliliğin önemli bir nedeni olan kimyasal kirleticilerin, halk sağlığı ile yakın ilişkisinin endişe verici olduğu belirtilmektedir. Kirleticiler arasından ağır metallerin sebep olduğu kirlilik küresel dünyanın en önemli sorunlarından birisi olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kurşun, kadmiyum, cıvanın halk sağlığına yönelik tehditi ispat edilmiştir (Barone ve ark., 2021). Ağır metal kirliliğinin en önemli nedeni endüstri ve atık bölgelerinden metallerin toprağa sızması, hayvan gübreleri, tarım ilaçları, yol faaliyetleri gibi beşeri faktörlerin etkisiyle oluşmaktadır. Antropojenik kaynakların yanı sıra volkanik faaliyetler, toprak erozyonu, toprak ve sudan metal buharlaşması gibi birçok etken de ağır metal kirliliğini artıran doğal nedenler arasında gösterilmektedir (Briffa ve ark., 2020). Kirleticiler ekosisteme toprak, hava ve su

aracılığıyla ile girebilmektedirler. Toprak kirliliği, atık su ile yapılan sulamaların, böcek ilaçlarının, petrol-kömür artıklarından oluşabilmektedir. Ağır metaller bozulma göstermedikleri için toprakta uzun zaman bulunabilmektedir. Bunun yanında toprakta bulunan organik kirleticilerin biyolojik parçalama özelliklerini azaltarak ekosisteme daha çok zarar verdikleri bildirilmektedir. Besin zincirinde herhangi bir organizmanın zarar görmesi tüm zinciri etkilemektedir, özellikle insanlar bu zincirinde son aşaması olduğu için daha fazla hasar almaktadır (Briffa ve ark., 2020).

Ağır metal kirliliği, hızlı sanayileşme ve kentleşme doğrultusunda artış göstermiştir. Volkanik patlamalar, metal içeren kayaların parçalanması ağır metallerin çevreye yayılmasına sebep olan doğal kaynaklar olarak gösterilmektedir. Madencilik, böcek ilacı, fosfatlı gübre kullanılması gibi bazı tarımsal uygulamalar ise ağır metallerin çevreye yayılmasına yol açan antropojenik kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Ali ve ark., 2019). Yer kabuğunun doğal bileşeni olan ağır metaller su ve rüzgâr aracılığıyla doğal olarak çevreye yayılmaktadır. Antropojenik eylemler sonucunda yayılan ağır metal miktarı erozyon yoluyla doğal olarak yayılmasından daha fazladır (Hejna ve ark., 2018). Modern dünya hayat standartlarını devam ettirebilmek için ağır metallerden sıklıkla faydalanmaktadır (Jan ve ark., 2015). İnsanların ağır metal maruziyeti solunum, gıda tüketimi ve deri gibi çeşitli yollardan gerçekleşmektedir (Ali ve ark., 2019). Yaygın kullanımlarından ötürü insanların ağır metaller maruziyeti gün geçtikçe artmaktadır (Jan ve ark., 2015). Ağır metal kirliliğinden en fazla su, toprak ve havanın etkilendiği bildirilmektedir (Choudhury ve Chatterjee, 2022). Maden atıkları, pestisitler, gübre kullanımı, yanan kömür atıkları gibi birçok etken toprağın ağır metaller tarafından kirlenmesine neden olmaktadır. Topraktaki ağır metal kirliliği besin zincirine aktarılmakta ve bütün ekosistemi tehdit edici özellikte olmasından dolayı önemli bir problem olarak belirtilmektedir. Ağır metaller su kirliliğinin en önemli etmenlerinden birisi olarak gösterilmektedir. Su kaynaklarında çok az miktarda bulunsa bile çok toksik olan ağır metaller besin zinciri aracılığıyla tüm organizmalar için ciddi bir problem oluşturmaktadır. Toz fırtınaları, volkanik patlamalar gibi süreçler parçacıklı maddelerin havaya karışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle partiküllerin; solunum yolu enfeksiyonlarına, erken ölüm ve kardiyovasküler hastalıklara neden olabileceği bildirilmektedir (Masindi ve Muedi, 2018). Çeşitli kaynakların neden olduğu metal toksisitesi çevresel, evrimsel, beslenme

yönünden ciddi tehdit oluşturan bir sorundur (Jan ve ark., 2015). Ayrıca, endüstriyel ve kanalizasyon atıkları, kaza sonucu kimyasal atıkların dökülmesi, balıkçı teknelerinden gelen benzinler gibi çeşitli kaynaklar ağır metal kirliliğine sebep olmaktadır (Al-Busaidi ve ark., 2011). Endüstriyel bölgelerdeki veya otoyollara yakın tarım arazilerinin, otomobil egzozlarından kaynaklanan metal içeren partiküllerin havada birikmesi nedeniyle ağır metallerle büyük ölçüde kirlendiği ve bunun sonucunda mahsuller tarafından alındığı tespit edilmiştir. Çevrede bulunan ağır metaller, toprakları, akarsuları ve nehirleri kirlenme açısından ciddi çevresel tehlikeler oluşturmaktadır. Bazı tarımsal topraklar genellikle endüstriyel ve şehir atıklarıyla sulanır ve bu da bazı toksik elementlerin toprağa girmesine neden olmaktadır. Bunlar bitkiler tarafından alınır, otlayan hayvanların ve insanların dokularına aktarılmaktadır. Bu tür ağır metalle kirlenmiş bitkilerde otlayan ve kirli sulardan su içen hayvanlar, ağır metaller ile kirlenmiş sularda yaşayan deniz canlıları da bu tür metalleri dokularında ve emziriyorlarsa sütlerinde biriktirmektedir. İnsanlar ise ağır metallerle kontamine olan bitkileri, et, süt gibi hayvansal ürünleri tüketerek ağır metallerle maruz kalmakta ve bunların çeşitli biyokimyasal bozukluklara yol açtığı bilinmektedir (Odoh ve ark., 2016).



Şekil 2.3. Ağır metallerin bulaşma kaynakları ve organizmalar üzerindeki etkileri (Farcasanu ve ark., 2018; Rizvi ve ark., 2020).

2.4. Et ve Et Ürünlerinde Analiz Edilen Ağır Metaller

2.4.1. Bakır (Cu)

Bakır aerobik organizmaların tümünde yaşamın devamı için gerekli enzimlerin yapısında kofaktör olarak görev alan eser elementtir (Blades ve ark., 2021). Savunma sistemi ve nöropeptit üretimi başta olmak üzere birçok biyolojik süreçte rol oynamaktadır. İnsan vücuduna gerekli görülen miktarı 100 miligram (mg) olarak belirtilmektedir. İhtiyaç duyulandan fazla tüketilmesi oksidatif hücre hasarı ve hücre

ölümü gibi toksik etkilere neden olmaktadır (Bost ve ark., 2016). Vücutta bakır iyonlarının hem yetersiz hem de fazla olması organizmaya hasar verdiği için bakır dengesi sağlanmalıdır (Chen ve ark., 2020).

Bakır iyonu insan vücuduna beslenme yoluyla girmektedir (Chen ve ark., 2020). Bu mikro besin sert kabuklu yemişler, kırmızı et ve sakatat, çikolata, tahıllar, mantar, meyveler gibi bazı besinlerde yüksek orandan bulunmaktadır (Bost ve ark., 2016; Chen ve ark., 2020). Bireyin yaşı, cinsiyeti, tüketilen besinin çeşidi, beslenmedeki bakır miktarı ve oral kontraseptifler (doğum kontrol hapları) bakır emilimini etkileyen başlıca etkenlerdir. Kadınların bakır emiliminin erkeklere göre, bebeklerin bakır emiliminin yetişkinlere göre daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Bost ve ark., 2016). Bakırın en önemli emilim yeri ince bağırsağın proksimal bölgesinde gerçekleşmektedir ve portal ven ile karaciğere taşınmaktadır. Karaciğer tarafından %75'i alınan bakırın beşte bir oranı tekrar gastrointestinal sisteme gönderilmektedir. Geri kalanı seruloplazmine bağlanarak periferik iletilmektedir. Karaciğere alınmayan bakır ise albümine bağlanarak dolaşıma katılmaktadır. Vücuttan atılımı tükürük, mide sıvısı ve pankreas salgısı aracılığıyla gerçekleşmektedir (Bost ve ark., 2016).

Bakır zehirlenmesi kontamine su tüketimi, kalaylanmamış bakır tencerelerde pişirilen asidik yemekler aracılığıyla, yanık tedavilerinde kullanılan kremler aracılığıyla görülmektedir. Bakır zehirlenmesi karın ağrısı, diyare, kusma, hematemez (kusmayla beraber ağızdan kan gelmesi), sarılık gibi etkilerle ortaya çıkmaktadır. Glikoz-6-fosfat yetersizliğine sahip bireyler bakırın hematolojik etkileri açısından daha riskli görülmektedir (Royer ve Sharman, 2021). Birçok proteinin bileşiminde önemli görevleri olan bakırın fazla tüketilmesi durumunda serbest bakır iyonları hücreye hasar verebilmektedir. Bakır sülfatın 1 gramdan fazla tüketilmesi toksisite belirtilerine sebep olmaktadır (Royer ve Sharman, 2021). Bakırın fazla tüketilmesinin en belirgin kronik etkisi karaciğer hasarı olarak gösterilmektedir (Romaña ve ark., 2011).

2.4.2. Cıva (Hg)

Cıva, beşeri faaliyetler ya da doğal olayların sonucunda çevreye yayılmakta ve gösterdiği toksik etkiler ile küresel kirletici olarak tanımlanmaktadır (Ha ve ark., 2017; Sundseth ve ark., 2017). Hava ve su ortamlarında uzun mesafelere taşınabilmektedir (Sundseth ve ark., 2017). Mikroorganizmalar tarafından cıva, metil cıva (MeHg) formuna dönüştürülmektedir ve bu formu besin zincirinde insan sağlığı için toksik etkiler oluşturacak düzeylere kadar çıkabilmekte, biyolojik birikim özelliği gösterebilmektedir (Basu ve ark., 2022; Sundseth ve ark., 2017). İnsanlar ve birçok omurgalı organizmaya MeHg maruziyetinin birincil kaynağı deniz ve tatlı su ürünleridir (Anatone ve ark., 2020). Nörotoksisite tehlikesinin en yoğun olduğu cıva formu MeHg olarak bildirilmektedir (Okati ve ark., 2021). Cıvanın sağlık üzerindeki etkileri, Japonya’da gerçekleşen bir olay ile farkındalık kazanmıştır. Japonya’da 1950’li senelerde Minamata şehrinde kimyasal atıklar denize bırakılmış ve bu atıkların cıvanın daha kullanılabilir bir türü olan metil cıvaya dönüşerek balıklarda birikmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda temel gıda kaynağı olarak balık tüketen birçok popülasyon üzerinde olumsuz sağlık etkileri gözlemlenmiştir (Ha ve ark., 2017). Bunun yanında son yıllarda balık tüketiminden kaynaklı maruziyetin, bazı bölgelerde doğum öncesi metil cıva maruziyetinin önemli bir kaynağı olan pirinç tüketiminin gerisinde kaldığı bildirilmektedir (Sundseth ve ark., 2017). İnsanlar tarafından cıva maruziyetinin ana yolu balık tüketimidir ve özellikle de balığın kas dokularının (fileto) tüketilmesiyle meydana gelmektedir (Costa ve ark., 2020).

Solunum, sindirim ve deri altı yolları cıvanın insan vücuduna girebilme yolları arasında gösterilmektedir ve neredeyse herkesin cıva maruziyeti yaşadığı bildirilmektedir (Andreoli ve Sprovieri, 2017; Li ve Tse, 2015; Wang ve ark., 2021). Metil cıva formu vücuda bir defa girdiğinde alınan miktarın %95 oranı gastrointestinal sistemde emilmektedir. Ayrıca, MeHg inhalasyon yoluyla da emilebilir ve maruziyeten sonra yaklaşık %80’i alıkonmaktadır. Vücutta dolaşım sistemi içerisinde büyük nötr aminoasit aracılığıyla belirli gruplara kovalent olarak bağlanmakta ve doku proteinleri ile etkileşime girmektedir. MeHg, aktif sülfhidril (-SH) gruplarına, örneğin 1:1 oranında sistein veya glutatyona bağlanır ve ilk durumda, bu bileşiğin toksikolojik davranışından sorumlu olan tanımlanmış stokiyometriye sahip MeHg sisteinat (MeHg-

Cys) kompleksleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, kandan dokuya dağılım yavaştır ve denge maruziyetten yaklaşık dört gün sonra gerçekleşir. Enterohepatik dolaşım ile MeHg, karaciğerden esas atılım yolu olan safraya iletilmekte ve dışkı ile vücuttan uzaklaştırılmaktadır (Andreoli ve Sprovieri, 2017). Vücuda alınan metil cıvanın %10'dan daha düşük miktarının vücut tarafından atıldığı bildirilmektedir (Li ve Tse, 2015). MeHg'nin insan vücudunda yaklaşık 70-80 günlük nispeten uzun bir yarı ömrü bulunmaktadır ve sadece organik Hg'ye maruz kalma kan, kordon kanı veya saçta ölçüm yapılarak belirlenmektedir. MeHg konsantrasyonu beyin, karaciğer, böbrekler, plasenta ve fetüste, özellikle cenin beyinde, ayrıca periferik sinirlerde ve kemik iliğinde görülmektedir (Andreoli ve Sprovieri, 2017).

İnsan sağlığı açısından cıva, düşük miktarlarda bile toksiktir (Costa ve ark., 2020). Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (IARC) tarafından metil cıva bileşikler Grub 2B kanserojen olduğu; cıva ve inorganik cıva bileşiklerinin ise kanserojen olmadığı (Grup 3) bildirilmektedir (IARC, 2023). Cıvanın insanlar üzerindeki toksisitesi alınan dozu, türü, maruziyet durumuna göre farklılaşmaktadır (Kim ve ark., 2016). Bulantı, kusma, dispne ve göğüs ağrısı akut cıva buharı maruziyeti belirtileri olarak gösterilirken sinirlilik hali, dış eti iltihabı ve titreme uzun süreli maruziyet ile ilişkilendirilmektedir (Yang ve ark., 2020). Metil cıva maruziyetinin sinir sistemi, üreme sistemi, bağışıklık sistemi, kardiyovasküler sistemi ve böbrekleri etkilediği belirtilmektedir (Björklund ve ark., 2017; Li ve Tse, 2015).

2.4.3. Çinko (Zn)

Her yerde bulunabilen eser elementler arasında gösterilen çinko mikroorganizmalar, hayvanlar ve bitkiler için büyüme-gelişme sürecinde olması gereken mineral olarak belirtilmektedir (Chasapis ve ark., 2012). Çinko, 2000 transkripsiyon faktörü ve 300'den fazla enzim yapısında kofaktör olarak rol alarak insan vücudu için elzem mineraller arasında gösterilmektedir (Marreiro ve ark., 2017). İnsan vücudunda 2-4 gram olarak bulunan çinko, demirden sonra en çok bulunan ikinci metaldir (Maywald ve ark., 2017). Protein ve nükleik asitin metabolizmasının yanında hücrenin büyümesi, bölünmesi ve işleyişinde çinkonun vücutta yeterli miktarlarda bulunması gerektiği ifade edilmektedir (Plum ve ark., 2010). Çinko vücutta depolanma özelliği göstermediği için ihtiyaç duyulan miktarlarının günlük olarak alınması

gerekmektedir (Maywald ve ark., 2017). Çinko için önerilen miktar erkeklerde 11 mg/gün, kadınlarda 8 mg/gün olarak belirtilmektedir. Yetişkinlerde tolere edilebilir miktarın 40 mg/gün olduğu ifade edilmektedir (Ruz ve ark., 2019). İnsan vücudunda çinko yetersizliğinde koku ve tat almada eksiklik, iştahsızlık, anemi, damar sertliği gibi belirtilerin gözlenmesi yanı sıra bağışıklık sistemini de olumsuz olarak etkilemektedir (Chasapis ve ark., 2012).

Çinko insan vücuduna solunum, deri ve ağız yollarıyla girebilmektedir (Plum ve ark., 2010). Et ve et ürünleri, ıstiridye, tahıllar ve süt ürünlerinden çinkonun başlıca kaynaklarıdır (Chasapis ve ark., 2012). Çinkonun ağızdan tüketimi sonucunda emilimi ince bağırsaklarda gerçekleşmektedir. Buradan vücuda dağılmasında albümin, transferrin ve α -mikroglobulin gibi bazı proteinler görev almaktadır (Plum ve ark., 2010). İnsan vücudunda çinko birikmesini engelleyen bir kontrol merkezi olduğu belirtilmektedir (Chasapis ve ark., 2012). Çinko insan vücudu için ne kadar gerekli olsa da hücrede fazla miktarda bulunması halinde sağlık için olumsuz etkiler gösterebilmektedir. Bu olumsuz etkileri engellemek için çinko vücuttan uzaklaştırılır ya da hücredeki veziküllerde birikir ve bazı proteinlere bağlanarak zararlı etkileri yok edilmektedir (Baltacı ve ark., 2018). Fazla miktarda tüketilmesi durumunda vücutta bulantı, kusma, karın ağrısının yanı sıra anemi, uyuşukluk ve baş dönmesi ilk belirtileri arasında gösterilmektedir (Plum ve ark., 2010).

2.4.4. Demir (Fe)

Demir neredeyse bütün biyolojik mekanizmaların yapıtaşı ve yerkabuğunda en çok var olan dördüncü elementtir (Lynch ve ark., 2018). İnsan vücudunda oksijen transferi ve kullanımı, enerji üretimi, patojen yıkımı gibi birçok fizyolojik olayda demir rol oynamaktadır (Lynch ve ark., 2018).

Demir metabolizması, organizmadan demirin atılımı için ek bir mekanizma bulunmamasından dolayı diğer metallerin metabolizmasına göre farklılık göstermektedir. İdrar, deri, bağırsak, solunum aracılığıyla ve kadınlarda menstrüel döngü sırasında demir kayıpları görülmektedir (Hurrell ve Egli, 2010). Demir metabolizması, fazla demir tüketiminin neden olduğu hücresel hasarı ve demir yetersizliğinden kaynaklı gelişebilecek anemiyi önlemek için kontrol altında

tutulmaktadır (Cassat ve Skaar, 2013). Organizmadaki demir dengesi sistemik demir homeostazı ve hücrel demir homeostazının birlikte çalışmasıyla sağlanmaktadır. Sistemik demir dengesinde plazma demir düzeyi, hücrel demir dengesinde vücuda fazla alınan demirin depolanması düzenlenmektedir (Lynch ve ark., 2018). Demir dengesinin düzenlenmesinde, karaciğer tarafından salgılanan bir hormon olan hepsidin görev almaktadır (Abbaspour ve ark., 2014). Demirin vücut tarafından emilimi duodenumun proksimal bölgesinde gerçekleşmektedir (Cassat ve Skaar, 2013). Demir emilimi vücutun demire olan gereksinimine göre ayarlanmaktadır (Geissler ve Singh, 2011). Demirin duodenum tarafından gerektiği kadar emilmesi yaşam fonksiyonları için çok önemli olmasına rağmen beslenmeyle alınan demirin tamamı emilememektedir. Gastrik asit salgısının engellenmesi, antiasit kullanımı ve bazı şelatlayıcı ajan bulunması demir emilimini engelleyen nedenler arasında gösterilmektedir (Gharibzahedi ve Jafari, 2017). İnsan vücudunda fazla alınan demirin atılmasını sağlayacak fizyolojik yol olmadığı için demirin vücuda fazla alınması durumunda enterositler mukozal blok yaparak organizmada demir yetersizliği olsa dahi demirin bağırsağa iletilmesini azaltabilmektedir (Geissler ve Singh, 2011).

Demir besinlerde hem ve hem olmayan demir olarak 2 formda bulunmaktadır. Hem olmayan demir hayvan ve bitkilerde, hem demir ise sadece hayvansal ürünlerde bulunmaktadır (Geissler ve Singh, 2011). Hem demir hem olmayan demire göre emiliminin daha iyi olduğu belirtilmiştir. Karaciğer, yeşil yapraklı sebzeler, kırmızı et, fasulye, fındık ve tahıllar demir açısından zengin besinler olarak gösterilmektedir (Lynch ve ark., 2018). Demir emilimi fitik asit, polifenol, kalsiyum ve kısmen metabolize edilmiş proteinlerden iletilen peptit gibi bileşiklerin bulunmasıyla azalırken, askorbik asit ve kas dokusu emilimini arttıran faktörler olarak belirtilmektedir (Abbaspour ve ark., 2014).

Demir tüketiminin fazla olması ya da organizmada demirin yüksek konsantrasyonda olması yorgunluk, kilo kaybı, karaciğer hastalıkları, kardiyovasküler hastalık, kolorektal kanser, enfeksiyon ve nörodejeneratif bozuklukların riskini potansiyel olarak yükseltebileceği düşünülmektedir (Geissler ve Singh, 2011; Lynch ve ark., 2018). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), demir ve çelik dökümü (mesleki maruz kalma sırasında)'nü Grup 1 kanserojen, demir-dekstran kompleksini

ve metalik kobaltın implante edilmiş yabancı cisimleri, metalik nikel, %66-67 nikel, %13-16 krom ve %7 demir içeren bir alaşım tozları ise Grup 2B kanserojen olarak sınıflandırmıştır (IARC, 2023).

2.4.5. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum uzun zamandır mesleki ve çevresel potansiyel risk etmeni olarak görülen, kolay reaksiyona girebilen, mavi renkli, doğal olarak oluşan, bir ağır metaldir (Rehman ve ark., 2017; Schaefer ve ark., 2020; Young ve Cai, 2020). Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı tarafından çevresel kimyasal tehlikeler listesine 7. sıraya konulmuştur (ATSDR, 2012). Madencilik, nikel ve kadmiyum piller, stabilizatörler, fosfatlı gübre gibi farklı yollarla atmosfere dağılmaktadır (Schaefer ve ark., 2020). Dünya genelinde endüstride kadmiyum kullanımı kademeli olarak sonlandırılmış olsa da geçmişteki faaliyetlerden dolayı geniş bir çevreye yayılmıştır (Satarug ve ark., 2017). Kadmiyumun maruziyet yolları olarak kontamine besinin, içme suyunun, toprağın vücuda girmesi ve tütün dumanı, partikül madde solunması gösterilmektedir. Kadmiyum maruziyetinin birçok yolu olsa da asıl neden beslenme olarak gösterilmektedir (Schaefer ve ark., 2020). Topraktan bitkiye geçişi kolay olan kadmiyumun, gıda zincirine bulaşması ile oluşabilecek maruziyet endişe vermektedir. Bitki türleri, toprak çeşitleri ve üretim şartlarına göre tarımsal ürünlerdeki kadmiyum düzeyleri farklılık göstermektedir. Patates ve buğday gibi temel gıda ürünleri, marul ve ıspanak gibi bazı bitki çeşitleri, sakatatlar, özellikle somon balığı gibi az miktarlarda kadmiyum bulunduran balıklar en önemli diyet kaynaklarıdır (Satarug ve ark., 2017).

Yetişkin bireylerin uzun süreli kadmiyuma maruz kalması böbrek fonksiyonlarında bozulma, kardiyovasküler rahatsızlık, kanser gibi olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Anne sütü ya da plasenta aracılığıyla metallerin anneden bebeğe geçebileceği bilgisi doğrultusunda doğum öncesinde ve sonrasında metal maruziyeti endişe vermektedir. Doğum öncesi ve sonrasında kadmiyuma maruz kalınması çocuklarda esansiyel element yetersizliği, düşük doğum ağırlığı, fetal büyüme sorunlarına neden olduğu bilinmektedir (Young ve Cai, 2020).

Kadmiyum emiliminin büyük bir kısmı solunum yolu ile gerçekleşirken mide-bağırsak yolu ve deri teması ile nispeten daha az olmaktadır. Organizmaya giren

kadmiyum eritrositler ve albümin aracılığıyla kan dolaşımına girmekte ve bağırsakta, karaciğerde, böbrekte birirmektedir (Genchi ve ark., 2020a). Vücuda giren kadmiyumun emilimi ve birikimini etkileyen temel etkenler olarak maruziyet süresi, yaş, cinsiyet, beslenme ve maruziyete uğrayan kişinin sağlık durumu gösterilmektedir. Vücuttaki kadmiyum içeriği ileri yaş ve kadın olma durumu ile artış göstermektedir (Mezynska ve Brzóska, 2018). Beslenme ile demir, çinko ve kalsiyum tüketiminin az olması kadmiyum emilimini ve birikimini artırmaktadır (Jadán-Piedra ve ark., 2018; Schaefer ve ark., 2020). Yüksek lifli beslenme ve diyetle probiyotiklerin dâhil edilmesi de emilimi ve birikimi azaltmaktadır. Probiyotiklerin hem akut maruziyetlerde hem de uzun süreli tedavilerde olumlu etkileri olduğu bildirilmektedir (Jadán-Piedra ve ark., 2018). Aktif boşaltım sistemleri olmadığı için uzun yıllar doku ve organlarda tutulduktan sonra çok az miktarda vücuttan dışarı atılmaktadır (Satarug ve ark., 2017). Böbreklerde tutulan kadmiyumun yarı ömrünün 45 yıl olduğu tahmin edilmektedir (Jadán-Piedra ve ark., 2018). Vücuttan atılımı yavaş olmakla birlikte idrar, tükürük ve emzirme döneminde süt ile olmaktadır (Genchi ve ark., 2020a).

Ağır metallerin akut ve kronik zararlı etkileri vücudun farklı organlarına etki etmektedir. Ağır metallerin toksik etkisi antioksidan savunmanın inhibisyonu, reaktif oksijen türlerinin sentezi ve enzim aktivasyonunun engellenmesi ile gerçekleşmektedir (Balali-Mood ve ark., 2021). En toksik ağır metallerden birisi olarak belirtilen kadmiyumun insan sağlığı için olumsuz etkileri bilinmekte ve toksisite işleyişinin çok yönlü olduğu görülmektedir (Buha ve ark., 2019; Mezynska ve Brzóska, 2018). İdrar ve tam kan kadmiyum seviyeleri maruziyet ve birikim hakkında bilgi veren yaygın olarak kullanılan belirteçlerdir (Buha ve ark., 2020). Halk sağlığını korumak amacıyla çevrede ve besinlerde kadmiyum miktarlarına maksimum izin verilen konsantrasyon olarak da bilinen güvenlik sınırı uygulanmaktadır. İnsan beslenmesi için üretilen bir besin ürünü yetiştirilen topraklarda 3 mg/kg'lık, içme suyunda 3 µg/L'lik güvenlik sınırı belirtilmiştir (Satarug, 2018).

Kadmiyumun toksik etkileri kanser, doğum kusurları, cilt problemleri, sinir sistemi, bağışıklık sistemi, böbrek ve gastrointestinal fonksiyon bozukluklarına neden olabilmektedir. Krom, kadmiyum, arsenik gibi kanserojen metaller DNA yapımını ve onarımını bozmaktadır (Balali-Mood ve ark., 2021). Çok yüksek düzeyde olmayan

kadmiyum maruziyeti dahi kardiyovasküler ve serebrovasküler hastalıklara neden olan hipertansiyon, metabolik sendrom ve ateroskleroz ile bağdaştırılmaktadır. Kadmiyum ile tip 2 diyabet ve gestasyonel diyabet arasında bir bağlantı bulunmaktadır (Filippini ve ark., 2022). Pankreas üzerine gösterdiği toksik etkilerinin pankreasta birikme özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Buha ve ark., 2020). İdrar kadmiyum konsantrasyonunun 2,4 µg/g kreatinin üzerinde olması tip 2 diyabet ile ilişkilendirilmektedir (Filippini ve ark., 2022). Kadmiyum üreme sistemindeki organların çalışmasına yönelik spesifik bir etkisi olan aynı zamanda endokrin bozucu kimyasalları da belirten bir ağır metal türüdür (Tinkov ve ark., 2017). Kadmiyum ve kadmiyum bileşiklerinin insanlar için kanserojen (Grup 1) olduğu bildirilmiştir (IARC, 2023).

2.4.6. Kobalt (Co)

Kobalt sert ve gri renkli bir metaldir, demir ve nikel ile kimyasal özellikleri benzerdir (Leyssens ve ark., 2017). Kobalt çevrede doğal olarak bulunmasının yanı sıra antropojenik faaliyetlerin sonucunda da ortaya çıktığı bilinmektedir (Czarnek ve ark., 2015). B₁₂ vitaminin yapısında bulunan kobalt, ek olarak aminoasitler, belirli proteinler ve miyelin kılıf yapısında bulunmaktadır (Czarnek ve ark., 2015; Leyssens ve ark., 2017). Kobalt yetersizliğinde anemi ve tiroid çalışmasında sorunlar ve bebeklerde büyüme problemlerine neden olmaktadır. Kobalt yetersizliği insanlarda tespit edilmemiştir (Simonsen ve ark., 2012). Vücuda gereğinden fazla alındığı durumda olumsuz etkiler görülebilmektedir. Çevrede kolay bulunabilir olması insanların kobalta maruziyetini arttırmaktadır (Leyssens ve ark., 2017).

Kobaltın vücuda beslenme, solunum ve deri yolları ile girmektedir (Czarnek ve ark., 2015). Beslenmenin kobalt maruziyetinin esas yolu olduğu düşünülmektedir. Tereyağ, kahve, balık, çikolata, yeşil yapraklı sebzeler, bazı tahıllar kobalt açısından zengin olarak gösterilen bazı besinler olarak gösterilmektedir (Leyssens ve ark., 2017). Gıdalar ile vücuda alınan kobalt, ince bağırsakta emilmekte burada bazı proteinlerle birleşerek dolaşıma girmekte ve kan aracılığıyla organlara taşınmaktadır. Karaciğer, böbrek, pankreas ve kalpte birikme özelliği gösterebilen kobalt, idrar ile vücuttan uzaklaştırılmaktadır (Czarnek ve ark., 2015; Simonsen ve ark., 2012).

Kobaltın sağlık üzerine olumsuz etkilerinin kobaltın kimyasal türüne göre değiştiği belirtilmektedir. İnsanlar çoğunlukla kobalt patiküllerine çevresel ve mesleki ortamlarda maruz kalmakta iken kobalt iyonlarına tıbbi ortamlarda maruz kalmaktadır. Sağlık üzerine olumsuz etkiler gösterebilen ilk toksik türünün iyonize kobalt olduğu bildirilmektedir (Leyssens ve ark., 2017). Kobaltın fazla tüketilmesi durumunda fibrozis, astım, aşırı eritrosit yapımı, cilt hastalıkları ve bağışıklık sistemi bozuklukları gibi toksik etkiler ortaya çıkmaktadır (Czarnek ve ark., 2015; Simonsen ve ark., 2012). Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (IARC) tarafından kobalt (II) oksit ve kobalt bileşiklerini insanlar için Grup 2B; çözünür kobalt (II) tuzları ise insanlar için Grup 2A kanserojen olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2023).

2.4.7. Kurşun (Pb)

Kurşun mavimsi gri renkli, parçalanamayan, kolay şekillendirebilir ve arsenikten sonra ikinci en zehirli metal olarak kabul edilmektedir (Kumar ve ark., 2020; Rehman ve ark., 2017). Kurşun üretimi sanayi devrimiyle birlikte dikkate değer şekilde artış göstermiştir. Fosil yakıtların kullanılması, madencilik faaliyetleri, çimento yapımı, demir-çelik üretimi ve kurşun bulunduran ürünlerin kullanımı kurşunun çevreye dağılmasına neden olan beşeri kaynaklar arasında gösterilmektedir. Fizyolojik görevi bulunmayan ve düşük miktarlarda bile toksik bir metal olarak belirtilmektedir (Ludolphy ve ark., 2021). Organik ve inorganik olarak 2 şekilde bulunmaktadır. Organik formu genellikle benzinde bulunurken, inorganik formu toprak, boya gibi ürünlerde bulunmaktadır ve her iki formu da toksiktir (Kumar ve ark., 2020). Kurşun insanlar için muhtemelen kanserojen madde (Grup 2B) olarak bildirilmiştir (IARC, 2023). Uzun zamandır canlı organizmalar için toksik metal olarak görülen kurşun, sağlık üzerine birçok zararlı etkisi görülmekle beraber ölüme bile neden olabilmektedir (Xu ve ark., 2016). Çevrede kalıcılığı ve yaygın olarak bulunmasıyla dünya genelinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Monclús ve ark., 2020).

Kurşunun vücuda alımı genellikle kurşun ile kirlenmiş toprak ve tozun yutulması şeklinde görülmektedir (Laidlaw ve ark., 2017). Bunun dışında otomobil egzozu, kontamine su ve gıda, boya maruziyet yolları olarak gösterilmektedir. Ayrıca konserve endüstrisinde gıdalara bulaşmada önemli bir maruziyet kaynağı olarak

bildirilmiştir. Organizmaya alınan kurşunun %20-70'i absorbe edildiği için gıda alımı ana kaynak olarak düşünülmektedir. Ağızdan alınması da kontamine su, kontamine gıda ve hayvan dokularında biriken kurşunun hayvan eti tüketimi aracılığıyla olmaktadır (Kumar ve ark., 2020). Yetişkinlere kıyasla çocukların ve gebe kadınların kurşunu absorbe etme potansiyeli daha yüksektir (Kumar ve ark., 2020; Słota ve ark., 2022). Ayrıca çinko, kalsiyum ve demir yetersizliğinde kurşun emilimi artmaktadır (Słota ve ark., 2022).

Bağırsakta emilen kurşun böbrek, karaciğer ve kemiklere taşınarak birikmektedir. Farklı vücut dokularına aktarılması kırmızı kan hücreleri ile olmaktadır. Yarı ömrü kanda 35 gün, yumuşak dokuda 40 gün, kemikte 30 yıl olduğu düşünülmektedir. Kurşun, proteinlerin tiyol bileşenleriyle etkileşime girerek kurşun zehirlenmesinin enzimleri baskıladığı tahmin edilmektedir. Magnezyum, kalsiyum, çinko dengesini bozmakta, oksidatif strese neden olmakta, bağışıklık sistemini olumsuz etkilemektedir. Kurşunun vücutta sebep olduğu oksidatif stres, hücre savunma mekanizmasına zarar vermektedir. Çinko, β -karoten, selenyum, E, C ve B₆ vitaminlerinin oluşan bu oksidatif stresi engellediği düşünülmektedir (Kumar ve ark., 2020).

Yetişkinlerde kronik maruziyet belirtilerinin görülmesi haftalar hatta aylar sonra olabilmektedir. Bu belirtiler içinde kısa süreli hafıza sorunu, yorgunluk, uyku problemleri, abdominal ağrı ve anemi bulunmaktadır (Słota ve ark., 2022). Kurşunun öğrenme sorunları, otizm, davranış problemleri, büyüme geriliği, sinir sistemi, böbrek ve üreme gibi hastalıklara sebep olduğu bildirilmektedir (Kumar ve ark., 2020; Laidlaw ve ark., 2017).

2.4.8. Krom (Cr)

Krom doğada en çok bulunan metaller arasındadır (Sun ve ark., 2015). Krom doğal olarak bulunabilen bir metal olmasına rağmen endüstriyel kaynaklardan da çevreye salınmaktadır. Isınmak amaçlı yakıt kullanımı, tekstil endüstrisi, paslanmaz çelik yapımı, parlatma gibi işlemlerle krom düzeyi yükselmektedir. Aynı zamanda deniz kirleticisi olarak gösterilmektedir (Wang ve ark., 2017). Farklı metallere parlaklık verme ve sertlik gibi fonksiyonları ile endüstride sıklıkla kullanılmaktadır

(Alvarez ve ark., 2021). Kromun yapısı hücreye alınmasında ve toksik etkileri açısından farklılıklar göstermektedir (Des Marias ve Costa, 2019). Üç ve altı değerlikli formları en kararlı ve yaygın olan geçiş metalidir (Hamilton ve ark., 2018; Sun ve ark., 2015). Kromun altı değerlikli formu üç değerlikli formuna kıyasla 100 kat daha toksik olduğu bilinmektedir (Alvarez ve ark., 2021). Üç değerlikli formu insülin düzenlenmesi ve glikoz metabolizmasında rol oynadığı tahmin edilmektedir (Hamilton ve ark., 2018). Tip 2 diyabet tedavisinde kromun üç değerlikli formu insülin artırıcı olarak kullanılmıştır, ancak son zamanlarda DNA hasarına neden olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2017). Bunlara ek olarak beslenmede glikoz, protein ve yağların metabolizasyonunda görev aldığı için eser element olarak önemli bir yeri bulunmaktadır. Kepekli tahıllar, et, yumurta, süt ürünleri, somon balığı, brokoli gibi bazı besinler kromun üç değerlikli formunun iyi kaynakları arasında gösterilmektedir (Alvarez ve ark., 2021; Sun ve ark., 2015). Kromun üç değerli formu gıda takviyeleri ve multivitaminlerin yapısında da bulunmaktadır (Des Marias ve Costa, 2019). Altı değerlikli formu genellikle insan kaynaklıdır, toksiktir ve tüm çözünür yapıları kanserojen olarak bilinmektedir (Hamilton ve ark., 2018; Wang ve ark., 2017).

Maruziyet yollarından en önemlisi kontamine havanın solunması olurken bunun yanında deri teması, gıda ve su tüketim yolları da bulunmaktadır (Wang ve ark., 2017). Kromun 6 değerlikli formu vücuda alındığında gastrointestinal sistemde salgılanan sıvılar tarafından hücrenin mutajenitesini azaltmak amaçlı kromun üç değerlikli formuna dönüştürülmektedir (Alvarez ve ark., 2021). Bu dönüşüm sırasında reaktif hidroksil radikal bileşikleri ortaya çıkmaktadır. Bu durumda yüksek düzeyde altı değerlikli krom formunun bulunması karaciğer, böbrek ve kan hücrelerinde hasarlara sebep olmaktadır (Kim ve ark., 2015).

Kromun insan sağlığı üzerindeki etkileri alınan miktara, oksidasyon profiline ve maruziyet süresine göre değişebilmektedir (Ertani ve ark., 2017). Genellikle karşılaşılan sağlık problemleri arasında kanser, astım, dermatit, yüksek tansiyon, metabolik sendrom, hemoglobin farklılıkları ve DNA hasarı bulunmaktadır (Junaid ve ark., 2016). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından Krom (VI) bileşikleri insanlar için kanserojen (Grup 1); kobalt (II) oksit Grup 2B kanserojen

olarak sınıflandırılmıştır. Krom (III) bileşikleri Grup 3'de bulunmakta olup insanlar için kanserojen nedeni olarak sınıflandırılmamaktadır (IARC, 2023).

2.4.9. Nikel (Ni)

Nikel (Ni) yer kabuğunda en çok bulunan yirmi dördüncü, ağırlık açısından en çok var olan beşinci elementtir (Genchi ve ark., 2020b; Rehman ve ark., 2017). Atmosferde bulunan nikelin en önemli nedeni olarak fosil yakıtların kullanılması gösterilmektedir. Diğer nedenler olarak toprağın aşınması, aktif volkan faaliyetleri, orman yangınları, paslanmaz çelik, ucuz mücevherler ve tütün tüketimi olarak belirtilmektedir. Düşük fiyatı, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından nikel ve bileşikleri endüstriyel ve ticari alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Genchi ve ark., 2020b). Nikel enzim faaliyetleri ve üreme yeteneği üzerine olumlu etkiler oluşturmakta, düşük miktarlarda insan sağlığında mikro besin ögesi olarak gösterilmektedir. Buna karşın fazla miktarda tüketildiğinde insan vücudunda toksik etkiler oluşturmaktadır (Li ve ark., 2020).

Nikel organizmaya solunum, su ve gıda kaynaklı ağızdan tüketim ile girmektedir. Meslekle ilişkili solunum maruziyeti, bağışıklık mekanizmasında ve akciğerde nikel kaynaklı toksisitenin asıl yolu olarak gösterilmektedir (Genchi ve ark., 2020b). Ispanak, havuç, brokoli, yeşil fasulye, domates, kuşkonmaz, kakao, fındık ve kuruyemiş, konserve sebze-meyve gibi besinler nikel açısından zengin besinlerdir (Genchi ve ark., 2020b; Zambelli ve ark., 2016). Gıda kaynaklı maruziyete, paslanmaz çelik ürünlerinin gıda sanayisinde kullanımı ya da elden ağıza temas yoluyla taşınması ile gerçekleştiği ifade edilmektedir (Genchi ve ark., 2020b). Solunum ile vücuda alınan nikel, çoğunlukla solunum yollarına ve böbreklere dağılmaktadır. Solunum yoluyla alınan çözünür nikelin idrarda ayrıştırılırken bir miktarının da dışkı ile atılmaktadır. Oral yoldan alınan ve emilimi gerçekleşen nikel böbreklere, karaciğere, beyine ve kalbe dağılmaktadır. Gastrointestinal sistemde emilen nikelin atılımı genellikle idrar yoluyla, emilmeyen nikelin ise dışkı ile gerçekleşmektedir (Buxton ve ark., 2019).

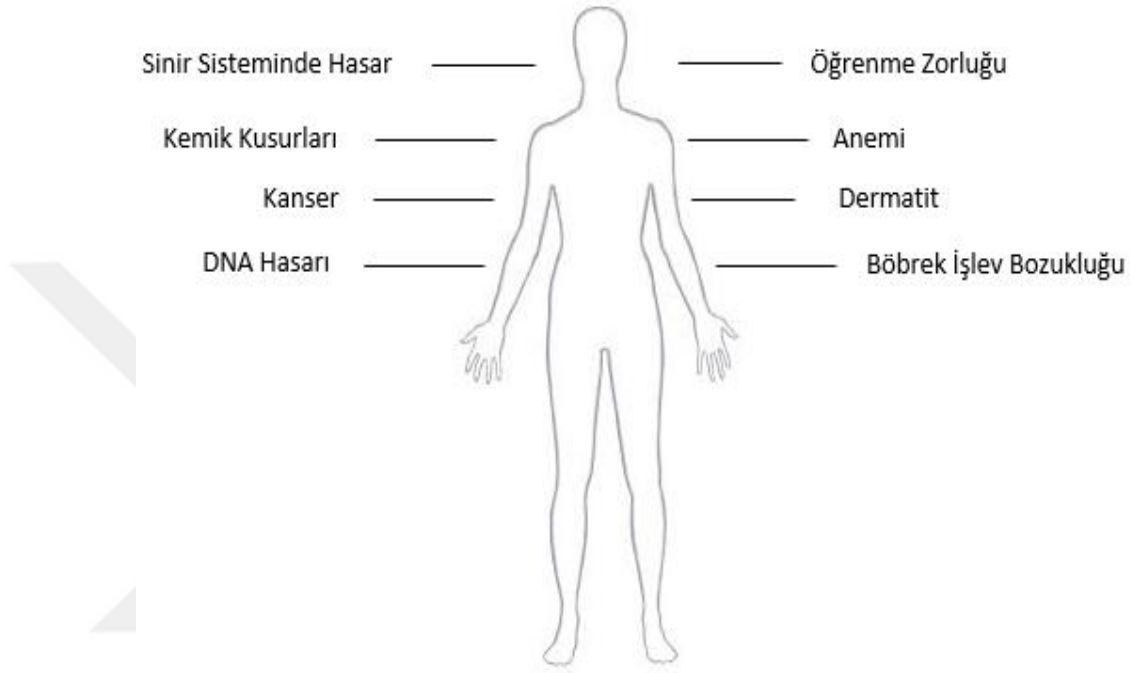
Yeryüzündeki nikel çokluğundan insanlar bu metala devamlı olarak maruz kalmaktadır. Gıdalarda da nikelin fazla bulunmasından dolayı nikel yetersizliği görülmemektedir (Genchi ve ark., 2020b). Nikelin, dokularda reaktif oksijen (ROS)

türlerini arttırması ve demir dengesini bozması toksisite nedenleri olarak tahmin edilmektedir. Toksikokinetik ve toksidinamik yapısından dolayı vücutta birçok dokuyu etkileyebildiği bildirilmiştir (Cubadda ve ark., 2020). Nikel ve bileşiklerine uzun süreli maruziyetin böbrek ve kardiyovasküler hastalıklar, akciğer fibrozu, solunum yolu kanseri gibi birçok olumsuz etkileri bulunmaktadır (Genchi ve ark., 2020b). Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı nikel ve alaşımlarını Grup 2B (insanlar için potansiyel kanserojen), çözünür ve çözünmeyen nikel yapılarını Grup 1 (insanlar için kanserojen) olarak değerlendirmektedir (IARC, 2012). Nikel ve bileşiklerinin toksik etkileri vücuda alınma şekli, fiziksel-kimyasal özellikleri, miktarı, maruziyet süresi ve maruziyet yollarına göre değiştiği belirtilmektedir (Genchi ve ark., 2020b).

2.5. Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri

Ağır metallerin yetersizliği ve toksisitesi arasındaki fark çok azdır, bundan dolayı düzenli kontrol edilmesi gereken bir durumdur (Huat ve ark., 2019). Ağır metaller birçok hormonun ve enzimin fonksiyonunu etkilemektedir (Briffa ve ark., 2020). Az miktarlarda elzem olmayan metaller, elzem metallerin işleyişini engelledikleri için önemli sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Huat ve ark., 2019). Lipid, protein ve karbonhidratın metabolik süreçlerini etkileyerek vücudun bağışıklığını düşürmektedir. Metal iyonları DNA ve nükleer proteinler ile tepkime göstererek DNA hasarı ve bunun sonucunda karsinogenez gibi problemlere yol açtığı bildirilmektedir. Metal toksisitesi serbest radikal oluşmasına da sebebiyet vermektedir. Serbest radikaller DNA baz değişimlerinin mutasyonuna yol açarak oksidatif hasar ve kanserojen etkiye neden olmaktadır (Briffa ve ark., 2020). Ağır metallerin karsinogenez özellikte olmasının bir başka nedeni de vücudun temel metabolik olaylarına müdahale ederek antioksidan yetersizliğine neden olmaktadır (Fu ve Xi, 2020). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı, insanlar üzerinde yapılan çalışmalarda verileri değerlendirerek ağır metalleri kanserojen olarak açıklamıştır (Hejna ve ark., 2018). Tüm bu olayların sonucunda ağır metallere uzun süreli maruz kalma böbrek işlev bozukluğu, akciğer kanseri, bağışıklık-sinir-hormon sistemlerinde fonksiyon bozukluğuna neden olabilmektedir (Hu ve ark., 2020). Çocukluk döneminde yaşanan maruziyet öğrenme zorluğu, sinir sisteminde hasar, hiperaktivite gibi sorunlara neden

olmaktadır. Bununla birlikte çocukların vücut ağırlıklarına kıyasla daha fazla miktarda besin tüketimlerinden kaynaklı yüksek doz metal maruziyetine neden olmakta, bu durumda beyinde geri dönüşümsüz zararlar bırakabilmektedir (Hejna ve ark., 2018). Bunun gibi olumsuz etkilere sebep olabilecek ağır metallerin başında kurşun, arsenik, kadmiyum, demir, alüminyum, cıva gelmektedir (Fu ve Xi, 2020).



Şekil 2.4. Ağır metallere bağlı semptomlar (Özbolat ve Tuli, 2016).

Ağır metaller insan vücuduna farklı şekilde girebilmektedir. Bunlar; kontamine olmuş gıda ve su tüketimi, havadan soluma, endüstriyel alanlardan deri teması ile olmaktadır. Metaller biyolojik olarak ayrışmamaktadır. Organizmalar metalleri dışkı yoluyla, aktif olan elementi bir protein içerisinde muhafaza ederek ya da hücre içinde uzun süre çözünmeyen halde tutarak arındırmaktadır. Herhangi bir yolla vücuda alınan ağır metaller organizmada biyobirikim özelliği göstermektedirler. Vücutta fazla miktarda bulunduğu bazı komplikasyonlara neden olan ağır metaller tehlikeli sınıfta değerlendirilmektedir (Briffa ve ark., 2020). Ağır metal toksisitesi maruziyet yoluna, tüketim miktarına, bireyin yaşı, cinsiyeti, genetik farklılığı ve beslenme durumu gibi farklı etmenlere göre değişmektedir. Tüketim miktarı ve süreye bağlı olarak kısa zamanda yüksek miktarda tüketim durumunda akut zehirlenme, uzun zamanlı maruziyet durumunda kronik zehirlenme ya da biyobirikim görülmektedir.

Ancak insanlar başta olmak üzere birçok organizmada hayati fonksiyonların devamı için gerekli olan metaller gereksinimleri az olduğu için mikro elementler olarak tanımlanmaktadır (Hejna ve ark., 2018). Asit-baz dengesinin korunması, kolloidal sistemde, temel enzimler ve hormonların yapısında bulunmak üzere birçok önemli görevleri vardır (Briffa ve ark., 2020).

Ağır metallerin olumsuz etkileri hayvanlar üzerinde doğrudan etkilidir. Hayvanların optimal bir diyet (ağır metal yoğunluğu Avrupa Birliği'nin izin verdiği maksimum değerlerin altında kalan) tüketimi sağlanırsa süt, yumurta, kas gibi hayvansal yapılara toksik metal geçişi düşük seviyede olmaktadır. Fakat toksik metal içeriği yönünden zengin bir diyet tüketimi durumunda karaciğer, böbrek, kemik gibi birikimin çok olduğu organlarda artış görülmüştür. Yumurta potansiyel bir ağır metal kontaminasyon kaynağıdır. Geleneksel yöntemlerle üretilen yumurtalara kıyasla gelişmiş kafeslerde serbest gezen tavukların yumurtalarında daha yüksek miktarda ağır metaller gözlemlenmiştir ve bunun sebebinin yüksek konsantrasyonda kirleticiler barındıran toprak kontaminasyonundan kaynaklandığı kanısına varılmıştır. İnsan sağlığına önemli protein ve omega 3 çoklu doymamış yağ asitlerini sağlayan balıklar da ağır metal maruziyet nedenlerinden gösterilmektedir. Arsenik ve cıva metallerini yüksek miktarda bulunduran balık dokuları yemlerdeki ağır metal yoğunluğuna bağlanmaktadır (Hejna ve ark., 2018).

Demir, bakır, çinko ve manganez gibi metaller biyolojik olarak önemli rol oynadıkları için esansiyel metallerdir. Oysa cıva, kurşun ve kadmiyum ise eser miktarlarda bile toksik olan maddelerdir (Alturiqi ve Albedair, 2012). İstenmeyen ağır metal maddeleri (Cd, Pb, Hg, As, Cr) yanı sıra esansiyel ağır metaller (Fe, I, Co, Cu, Mn, Mo, Se), hayvancılık üzerinde doğrudan olumsuz etkilere sahiptir (Hejna ve ark., 2018). Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As) ve nikel (Ni), temel olarak kontamine gıda tüketimi yoluyla insan vücuduna girebilen ve çeşitli toksikolojik sonuçlara yol açan başlıca toksik metallerdir (Darwish ve ark., 2018). Cıva (Hg), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve arsenik (As) dozaj şekline bağlı olarak toksik metaller olarak belirlenmiştir ve hatta bitkilerde, atmosferde, toprakta ve sudaki eser miktarda bulunan ağır metaller tüm biyotalarda ciddi etkilere neden olmaktadır (Aendo ve ark., 2020). İnsanların Pb'ye maruz kalması, sinir sistemi ve alyuvarların ciddi

komplasyonlara sebep olmaktadır. Ek olarak, çocukların yüksek Pb düzeylerine maruz kalmaları, bilişsel gelişimlerinde ve entelektüel performanslarında önemli bir azalma meydana getirdiği bildirilmektedir (EC, 2006). Cd alımı renal tübüler disfonksiyon, osteomalazi ve osteoporoz sebebi olup, ayrıca yüksek akciğer ve meme kanseri riski ile ilişkili olduğuna dair yeterli kanıtlar bulunmaktadır (JECFA, 2011). Diyetle yüksek konsantrasyonda As tüketilmesi dermatolojik, solunum, sinir, mutajenik ve kanserojen etkilere sahiptir (Lin ve ark., 2013).

Tablo 2.1. Ağır metal birikiminin insan sağlığı üzerindeki etkileri (Fahimirad ve Hatami, 2017; Hejna ve ark., 2018; Javaid ve ark., 2020; Verma ve Sharma, 2017).

Ağır metal (oid)ler	İnsanlar üzerindeki etkisi
Bakır (Cu)	Karaciğer hasarı, böbrek fonksiyon bozukluğu, bağırsak ve mide irritasyonu ve anemi
Demir (Fe)	Anemi, kalp hastalığı, kanser, diyabet, koroidit, retinit ve konjonktivit
Nikel (Ni)	Dermatit, nikel karbonil: miyokardit, ensefalopati, pulmoner fibroz, nazofarengeal tümörler, sperm sayısında azalma
Kadmiyum (Cd)	Akciğer hastalığı, böbrek fonksiyon bozukluğu, akciğer kanseri, kemik iliği kanseri, kemik kusurları (osteoporoz, osteomalazi), gastrointestinal bozukluk, bronşit, artmış kan basıncı ve böbrek hasarı
Kurşun (Pb)	Gelişimsel gerilik, çocuklarda konjenital felç sonucu zeka geriliği, ölümcül bebek ensefalopatisi, sensör nöral sağırılık, gastrointestinal hasar, epileptikler, merkezi sinir sisteminde akut ve daha sonra kronik hasar, karaciğer fonksiyon bozukluğu ve böbrek yetmezliği
Cıva (Hg)	Beyin hasarı, böbrek fonksiyon bozukluğu ve akciğer hasarı
Çinko (Zn)	Sinir sisteminde hasar, dermatit
Krom (Cr)	DNA hasarı, DNA'nın transkripsiyon ve replikasyonundaki değişiklikler
Kobalt (Co)	Kısırlık, saç dökülmesi, kusma, kanama, ishal, koma ve hatta ölüm

2.6. Yasal Düzenlemeler

Eser elementler gibi bazı ağır metaller biyolojik sistemdeki yaşam süreçleri için gereklidir. Diğer yandan, belirli bir miktarın üzerinde ise kirliliğe katkıda bulunmaktadır ve toksik veya kanserojen etkilere neden olmaktadır. Besin zinciri yoluyla insan sağlığı da tehlikeye girmektedir. Bu nedenle insan sağlığını korumak amacıyla ağır metallerin girişini tolere edilebilir bir düzeye indirmek için hem ulusal hem de uluslararası düzeyde düzenlemeler yapılmıştır (Schlutow ve Schröder, 2021). Etlerde ağır metaller için önerilen ulusal ve uluslararası maksimum kalıntı limitleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Etlerde ağır metaller için önerilen ulusal ve uluslararası maksimum kalıntı limitleri (CAC, 2019; EC, 2006; TKG, 2011).

Gıda	Uygulama Alanı	Kurşun (Pb) mg/kg yaş ağırlık	Kadmiyum (Cd) mg/kg yaş ağırlık	Civa (Hg) mg/kg yaş ağırlık	Kaynak
Sığır eti ve Kanatlı eti	Türkiye	0,10	0,050	-	TGK, 2011
	Avrupa Birliği	0,10	0,050	-	EC, 2006
	Uluslararası	0,1	-	-	CAC, 2019
	Türkiye	0,30	0,050-0,10 ^a	0,50-1 ^b	TGK, 2011
Balık eti	Avrupa Birliği	0,30	0,050	0,50-1	EC, 2006
	Uluslararası	0,3	-	- ^c	CAC, 2019

^a Balıkçılık ürünleri ve balık kas etleri 0,050 mg/kg olarak belirlenmiş ancak istavrit, sardalya, uskumru 0,10 mg/kg

^b Balıkçılık ürünleri ve balık kas etleri 0,5 mg/kg olarak belirlenmiş ancak uskumru 1 mg/kg

^c Tuna balığı için metil merkürü 1,2 mg/kg

Maruz kalma limitini ifade eden "referans değer" terimi kurumlara göre değişkenlik göstermekte olup "oral referans doz", "geçici toplam günlük alım" ya da

"minimal risk düzeyi" gibi farklı şekilde adlandırılmaktadır. Farklı isimlendirilebilen bu terimin, oluşturulma yöntemleri aynı olmasa da hedefi ortaktır (Wong ve ark., 2022). JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives= Gıda Katkı Maddeleri Ortak FAO/WHO Uzman Komitesi), kirleticiler için günlük ya da haftalık olarak tolere edilebilir tüketim miktarları belirlemiştir. Tolere edilebilir kavramı kirleticilerin tüketimini onaylamasından ziyade izin verilebilir olmasını ifade etmektedir. Kullanılan "geçici" terimi, JECFA kurulunun insan maruziyeti konusunda gözlemlediği seviyelerin güvenilir bilgilerin yetersiz olmasından kaynaklı değerlendirmenin geçiciliğini göstermektedir (WHO, 1987).

Tablo 2.3. Ağır metal referans değerleri

Metaller/Metaloidler	Referans Değer	Kaynak
Kadmiyum	PTMI 25 µg/kg*	CAC, 2019
	PTMI 25 µg/kg	JECFA, 2021
Kurşun	PTWI'nin artık sağlık koruyucu olmadığı kabul edilmiştir. **	CAC, 2019 JECFA, 2011
Bakır	PMTDI 0,5 mg/kg***	JECFA, 1982
Metil Cıva	PTWI 0,0016 mg/kg canlı ağırlık/gün	CAC, 2019
	PTWI 1,6 µg/kg	JECFA, 2007
	0,19 µg/kg/gün	EFSA, 2012
Çinko	PMTDI 0.3-1 mg/kg canlı ağırlık/gün	JECFA, 1982
Demir	PMTDI: 0.8 mg/kg canlı ağırlık/gün	JECFA, 1983

* PTMI Provisional Tolerable Monthly=Intake Geçici tolere edilebilir aylık alım

**PTWI Provisional Tolerable Daily Intake =Geçici tolere edilebilir günlük alım

*** PMTDI Provisional Maximum Tolerable Daily=Intake Geçici maksimum tolere edilebilir günlük alım

2.7. Ağır Metallerin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Gıda örneklerinde ağır metallerin doğru tespiti için yeterli hassasiyete sahip bir analitik teknik gereklidir. Ağır metal analizi için en yaygın kullanılan teknikler atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS), indüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES), indüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS)'dir (Ogut ve ark., 2016). ICP-OES, sulu çözeltilerdeki eser elementleri belirlemek için kullanılan bir spektrometrik tekniktir. Bir numune solüsyonu, ilgili analitlerin uyarılmış duruma, gaz fazı atomlarına veya iyonlarına dönüştürüldüğü indüktif olarak bağlanmış bir argon plazma deşarjına sürekli olarak aspire yani nebulize edilir. Uyarılmış durumdaki atomlar veya iyonlar temel durumlarına döndükçe, her bir elementin özelliği olan dalga boylarında ışık şeklinde enerji yayarlar. Seçilen dalga boyunda yayılan enerjinin yoğunluğu, analiz edilen numunedeki o elementin miktarı (konsantrasyonu) ile orantılıdır. Bu nedenle, bir numune tarafından hangi dalga boylarının yayıldığını ve bunların ilgili yoğunluklarını belirleyerek, verilen numunenin bir referans standarda göre elemental bileşimi nicelendirilebilir. Doğru sonuçlar için, doğrudan ICP-OES analizi yalnızca nispeten temiz, sulu matrisler (örneğin, önceden filtrelenmiş yeraltı suyu numuneleri) üzerinde yapılmalıdır. Diğer, daha karmaşık sulu ve / veya katı numuneler, analizden önce asit sindirimine ihtiyaç duyar; analist, uygun bir örnek yakma yöntemi seçilmelidir (EPA, 2018). Gıda örneklerinde ki ağır metalin kantitatif analizinde kullanılan tekniklerde malzemenin tamamen sindirilmesini gerekmektedir. Kompozit organik matrisi yok etmek için kullanılabilecek bir dizi yöntem bulunmaktadır. Genel olarak, örnek matriks ayrıştırması, kuru külleme veya yaş yakma prosedürleri ile gerçekleştirilmektedir. Örnek ayrışması, büyük ölçüde belirlenecek analitlerin türüne bağlıdır. Bu nedenle, özellikle uçucu element kuvvetinin analizi, yaş yakma yöntemlerine dayalı prosedürlerin kullanılmasını gerektirir. Yaş yakma yönteminin oksitleme gücü, en yaygın kullanılanları nitrik asit, sülfürik asit, perklorik asit, hidrojen peroksit gibi çok çeşitli kimyasal reaktiflerin (asitler ve oksidanlar) ve bunların kombinasyon kullanımına dayanmaktadır (Zukowska ve Biziuk, 2008).

ICP-OES, alınan örneklerin emisyon spektrumları aracılığıyla var olan elementleri saptama ve ölçmede yardımcı bir optik emisyon spektrometresi olarak tanımlanmaktadır (Sharma, 2020). Diğer spektrometrik yöntemlere göre daha az

kimyasal işlem ile daha kısa sürede karakteristik ve doğru saptamalar yapan ICP-OES tekniğinin çok yönlü hassas bir yöntem olduğu belirtilmektedir. ICP-OES, tespit etme imkanı ve çok yönlülüğü ile son zamanlarda satın alınabilen spektrometrik teknikler arasında öne çıktığı belirtilmektedir (Khan ve ark., 2022). Farklı analitik yöntemlerle saptanması zor olan elementler, ICP-OES yönteminde plazma kaynağının oluşturduğu yüksek sıcaklık sayesinde daha duyarlı ölçümlerle tespit edilmektedir (Novaes ve ark., 2016). Bu yöntemin çalışma mekanizması iyonların, atomların ve bu iyon ya da atomların meydana getirdiği fotonların radyo frekansı deşarjı ile uyarılarak iletilmesi olduğu açıklanmaktadır (Khan ve ark., 2022). İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometrisi ile metal analizinde önemli aşamaların; saptama sınırının teyit edilmesi, dalga boyu tercihi, görünüm, cihaz çalışma kontrolü olduğu bildirilmektedir. Çok sayıda elementin aynı zamanda sıralı saptanması, küçük miktarlardan büyük miktarda bilgi alınması, düşük algılama limitleri ICP-OES yönteminin en belirgin avantajlarından gösterilmektedir. Biyolojik incelemelerde metal analizi için ICP-OES yönteminin en ümit verici teknoloji olduğu belirtilmektedir (Sharma, 2020).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Gereç

3.1.1. Materyal

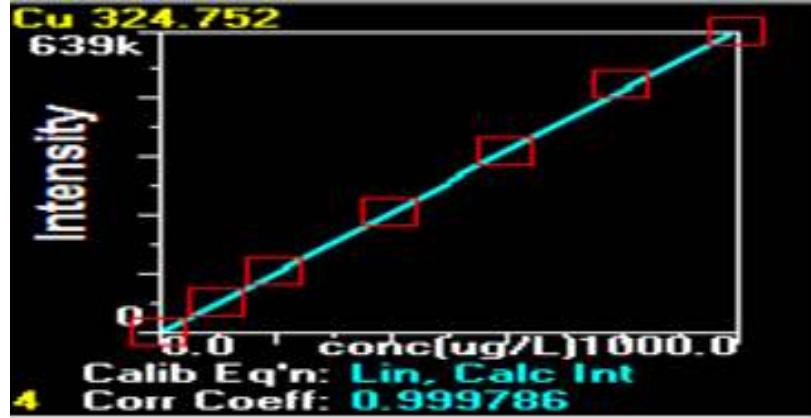
Materyal olarak Burdur ilinde tüketilen çeşitli markaların farklı zamanlarda rastgele olarak toplanan sığır eti ($n=18$), balık eti ($n=22$; 8 adet hamsi, 2 adet istavrit, 12 adet palamut), tavuk eti ($n=41$) ve et ürünleri (salam, sosis, sucuk) ($n=15$) olmak üzere toplam 96 adet örnek kullanıldı. Perakende satış noktalarından toplanan farklı markalara ait et örnekleri aseptik koşullarda alınarak soğuk zincir altında laboratuvara getirildi ve analizleri yapılana kadar -20°C 'de muhafaza edildi.

3.1.2. Kimyasallar ve Reaktifler

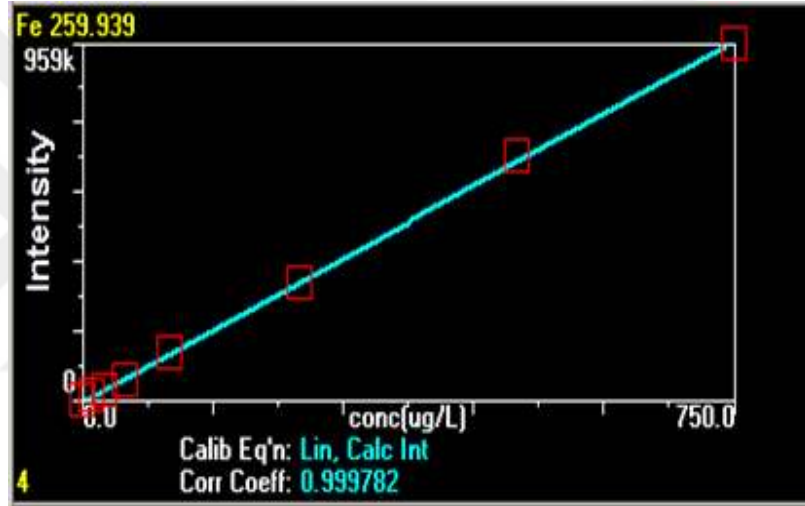
Tüm kimyasal maddeler ve çözücüler analitik saflıkta kullanıldı. Ağır metal standartları - bakır (Cu), demir (Fe), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), civa (Hg), çinko (Zn), krom (Cr), kobalt (Co) - $> \%95$ saflıkta Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO, ABD) sağlandı. Nitrik asit (HNO_3) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) $> \%95$ saflıkta Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO, ABD)/Merck'ten (Darmstadt, Almanya) temin edildi. Ultra saf su, $\text{H}_2\text{OPRO-VF-T/Arium}$ Ultrapure (Sartorius, Almanya) cihazı kullanılarak elde edildi.

3.1.3. Stok Çözeltilerinin ve Kalibrasyon Standartlarının Hazırlanması

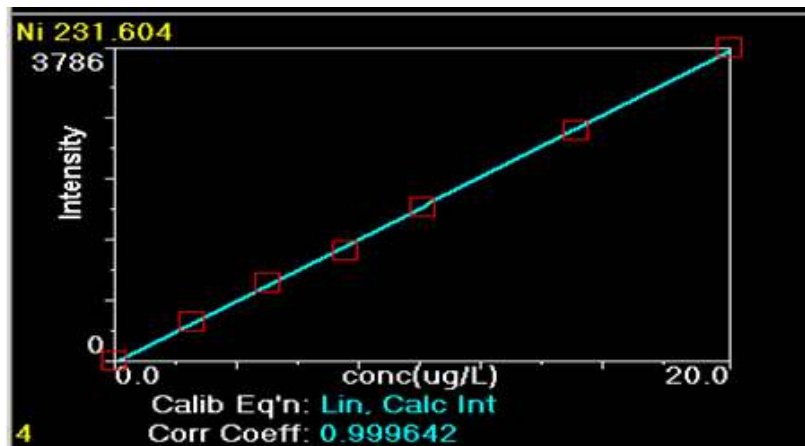
ICP-OES ile örneklerde belirlenmesi planlanan elementlerin her birinin et ve et ürünlerinde bulunabileceği konsantrasyon dikkate alınarak 10-1000 $\mu\text{g/L}$ derişimlerde standart çözeltisi hazırlanarak kalibrasyon grafiği oluşturuldu. Oluşturulan kalibrasyon eğrileri Şekil 3.1 ile Şekil 3.9'da verildi.



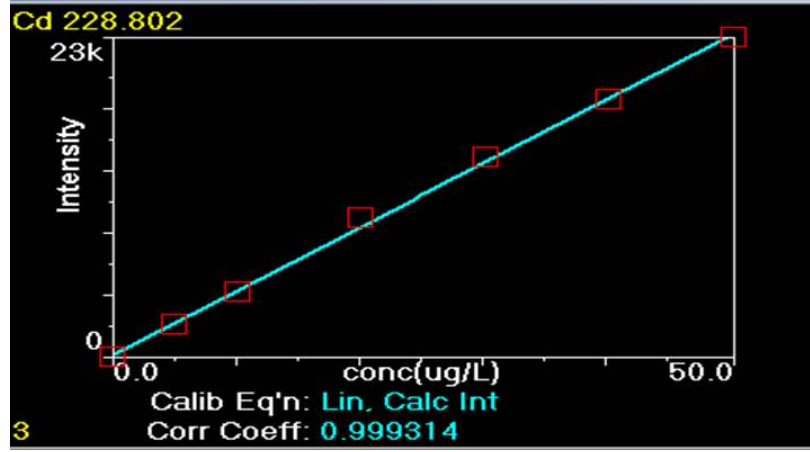
Şekil 3.1. Bakır (Cu) çalışma kalibrasyon grafiği



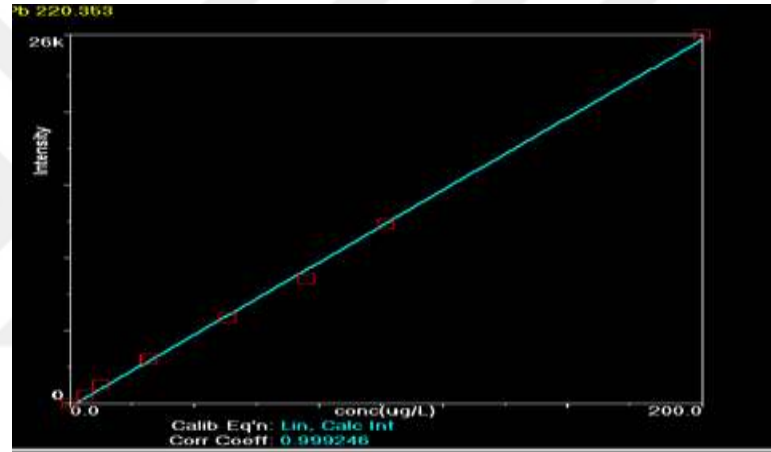
Şekil 3.2. Demir (Fe) çalışma kalibrasyon grafiği



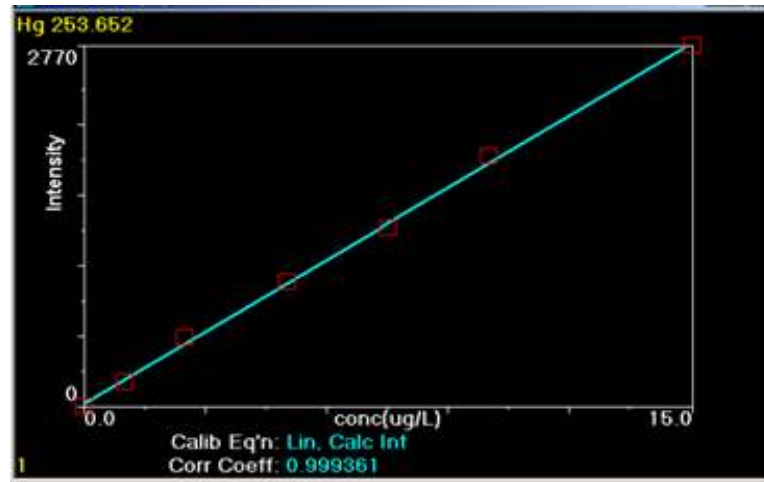
Şekil 3.3. Nikel (Ni) çalışma kalibrasyon grafiği



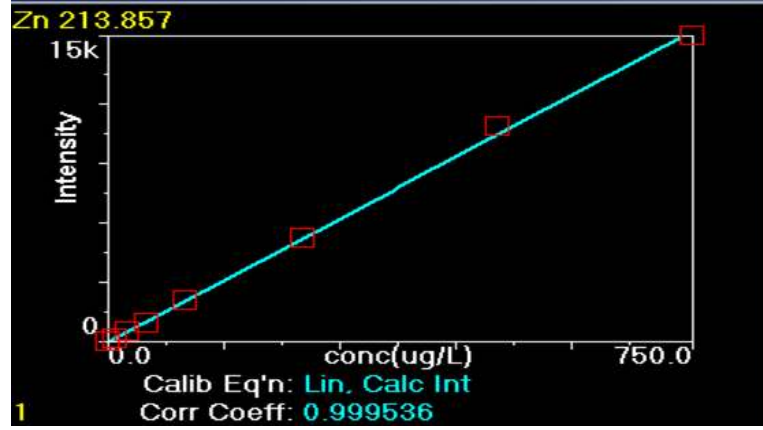
Şekil 3.4. Kadmiyum (Cd) çalışma kalibrasyon grafiği



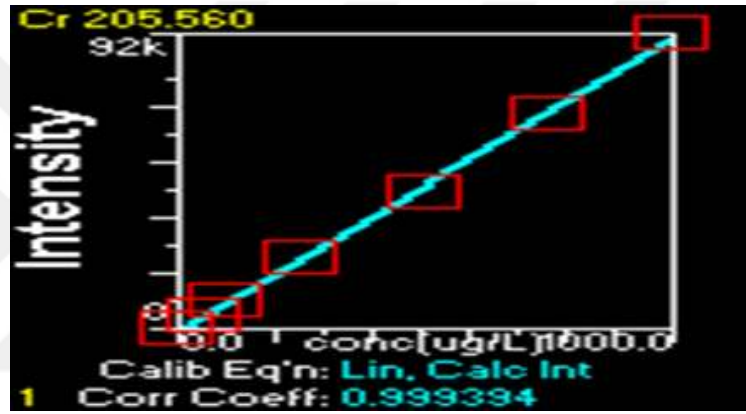
Şekil 3.5. Kurşun (Pb) çalışma kalibrasyon grafiği



Şekil 3.6. Civa (Hg) çalışma kalibrasyon grafiği



Şekil 3.7. Çinko (Zn) çalışma kalibrasyon grafiği



Şekil 3.8. Krom (Cr) çalışma kalibrasyon grafiği



Şekil 3.9. Kobalt (Co) çalışma kalibrasyon grafiği

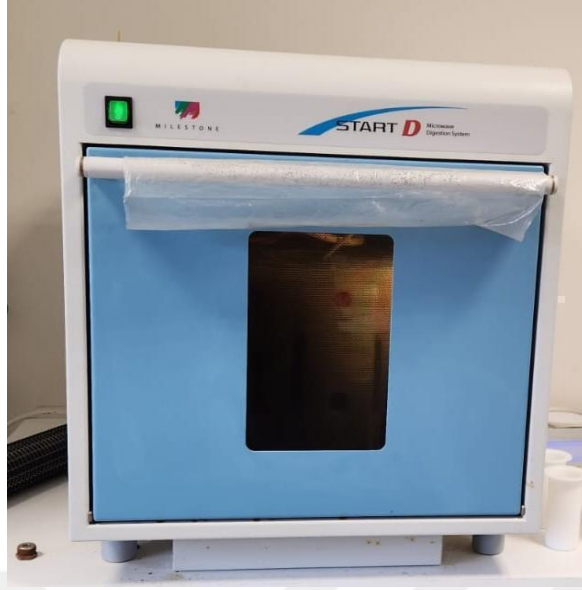
3.2. Yöntem

3.2.1. Örnek Hazırlanması

Et ve et ürünlerinin organik yapılarının parçalanması ve cihazda analiz edilebilecek forma gelmesi için yaş yakma işlemi ve mikrodalga yakma kapalı sistemi kullanıldı. Örneklerin yakma işlemi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Kimya laboratuvarında bulunan mikrodalga yakma cihazı (MilestoneStard D, Sorisole, İtalya) kullanılarak yapıldı (Şekil 3.10). Bu amaçla; homojen hale getirilen et örnekleri 1 g olacak şekilde tartılarak HP-100 teflon kap içerisine konuldu. Örneklerin üzerine 7 mL %65'lik nitrik asit (HNO_3) ve 1 mL %30'luk hidrojen peroksit (H_2O_2) eklenerek iyice karıştırıldı ve yaklaşık 20 dakika beklendikten sonra teflon kapların kapakları kapatıldı ve yaş yakma işlemi mikrodalga fırınında (MilestoneStard D, Sorisole, İtalya) gerçekleştirildi. Mikrodalga sıcaklık kontrollü olup yakma işlemi 2 adımda (110°C 'ye 15 dakika'ya ulaşmasından sonra 110°C 'de 15 dakika bekletilerek) yapıldı. Yakma işlemi sonunda teflon kaplar 10 dakikaya kadar bekletildi, yeterince soğuyan kaplar dikkatlice açılarak içerik, kapak ve teflon kap iç duvarı deiyonize su ile yıkanarak 50 mL'lik propilen balon jojelere alındı ve balon joje içeriği deiyonize su ile 50 mL'ye tamamlandı. Daha sonra, filtre (25/0,45 μm) edildi ve sonuçta ICP-OES'de analiz edilebilecek düzeye getirildi. Daha sonra ICP-OES cihazı kullanılarak okuma işlemi yapıldı. Her ağır metal için kalibrasyon eğrileri çizildikten sonra örneklerdeki ağır metal düzeyleri tespit edildi (EPA, 2018).

3.2.2. Kullanılan Cihaz ve Çalışma Koşulları

Et ve et ürünleri örneklerindeki ağır metal - bakır (Cu), demir (Fe), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), civa (Hg), çinko (Zn), krom (Cr), kobalt (Co)-varlığı ve düzeyi indüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP/OES) (Perkin Elmer Optima 8000, ABD) cihazı kullanılarak saptandı (Şekil 3.11). Analize hazırlanan örneklerin, ICP-OES cihazında her element için belirtilen dalga boyunda köre karşı okuması yapıldı.



Şekil 3.10. Mikrodalga yakma cihazı (MilestoneStard D, Sorisole, İtalya)



Şekil 3.11. İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi cihazı (ICP/OES) (Perkin Elmer Optima 8000, ABD) cihazı (Anon, 2018).

3.3. İstatiksel Analiz

Verilerin minumum, maksimum, ortalama $\pm$ standart sapma (SD) değerleri SPSS yazılımı kullanılarak belirlendi ve raporlandı. İncelenen et ve et ürünlerinde ağır metal içeriğindeki farklılıkları karşılaştırmak için One-way ANOVA testi kullanıldı. Anlamlılık seviyeleri $P < 0,05$ olarak kabul edildi.

4. BULGULAR

Burdur’da tüketime sunulan et ve et ürünleri örneklerinde ağır metal düzeyinin ICP-OES ile belirlendiği bu çalışmada, ağır metaller için et ve et ürünlerindeki ağır metallerin dalga boyları, dedeksiyon limiti (LOD), korelasyon katsayısı (R^2) Tablo 4.1’de verildi.

Tablo 4.1. Et ve et ürünlerindeki ağır metallerin dalga boyları, dedeksiyon limiti (LOD), korelasyon katsayısı (R^2).

Elementler	Dalga Boyu	LOD (ppb)	R^2
Cd	228,8	5	0,993
Pb	220,3	10	0,999
Cr	205,5	5	0,999
Fe	259,9	5	0,999
Ni	231,6	5	0,999
Cu	324,7	5	0,999
Co	228,6	5	0,999
Hg	253,6	1	0,999
As	188,9	5	0,999
Al	396,1	5	0,999
Zn	213,8	5	0,999

Burdur ilinde tüketilen çeşitli et ve et ürünleri örneklerinde ağır metal - bakır (Cu), demir (Fe), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), civa (Hg), çinko (Zn), krom (Cr), kobalt (Co)-varlığı ve düzeyi ICP-OES yöntemiyle araştırılmış ve sonuçları Tablo 4.2.’de verildi.

Tablo 4.2. Burdur’da tüketilen et ve et ürünlerinin ağır metal içeriği (mg/kg).

Ağır Metal	Kırmızı Et	Tavuk Eti	Balık Eti	Et Ürünleri
Cr				
Minimum	0,361	0,007	0,027	0,035
Maximum	4,393	8,340	1,180	6,650
Ortalama $\pm$ SD	1,561 $\pm$ 0,950	0,567 $\pm$ 1,327	0,345 $\pm$ 0,315	1,084 $\pm$ 2,123
<i>P değeri</i> <0,05				
Zn				
Minimum	83,900	13,980	15,385	20,095
Maximum	178,350	45,830	139,700	134,300
Ortalama $\pm$ SD	138,21 $\pm$ 25,78	20,406 $\pm$ 5,93	58,405 $\pm$ 34,91	72,369 $\pm$ 35,75
<i>P değeri</i> <0,05	4	9	3	7
Pb				
Minimum	0,007	0,297	0,040	0,810
Maximum	1,030	3,021	1,015	1,837
Ortalama $\pm$ SD	0,487 $\pm$ 0,340	1,668 $\pm$ 0,761	0,453 $\pm$ 0,280	1,101 $\pm$ 0,272
<i>P değeri</i> <0,05				
Cd				
Minimum	-	0,00	0,002	0,001
Maximum	-	0,206	0,206	0,019
Ortalama $\pm$ SD	-	0,015 $\pm$ 0,012	0,051 $\pm$ 0,077	0,006 $\pm$ 0,007
<i>P değeri</i> <0,05				
Ni				
Minimum	0,026	0,277	0,293	0,281
Maximum	0,353	1,384	4,770	1,402
Ortalama $\pm$ SD	0,174 $\pm$ 0,154	0,816 $\pm$ 0,554	2,531 $\pm$ 3,165	0,841 $\pm$ 0,792
<i>P değeri</i> >0,05				
Fe				
Minimum	1,945	0,309	0,626	0,200
Maximum	5,655	2,161	18,310	4,850
Ortalama $\pm$ SD	3,607 $\pm$ 1,248	0,745 $\pm$ 0,388	3,177 $\pm$ 4,110	2,182 $\pm$ 1,329
<i>P değeri</i> <0,05				
Cu				
Minimum	0,135	0,244	0,116	0,156
Maximum	0,880	2,049	7,875	1,818
Ortalama $\pm$ SD	0,526 $\pm$ 0,226	0,809 $\pm$ 0,396	1,463 $\pm$ 2,031	0,785 $\pm$ 0,464
<i>P değeri</i> <0,05				

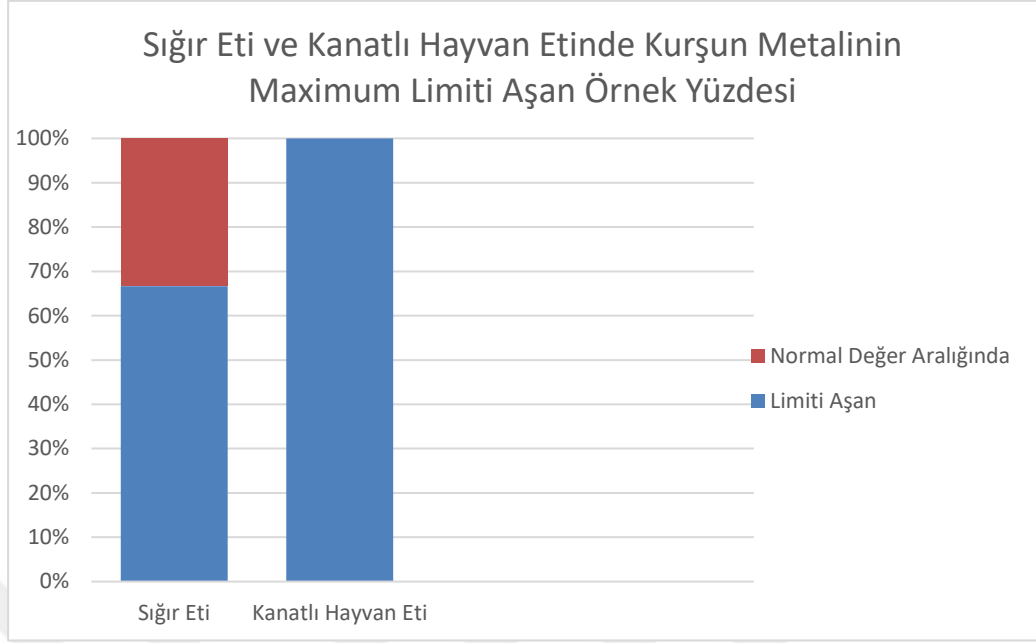
Tablo 4.2.(devamı) Burdur’da tüketilen et ve et ürünlerinin ağır metal içeriği (mg/kg).

Ağır Metal	Kırmızı Et	Tavuk Eti	Balık Eti	Et Ürünleri
Al				
Minimum	0,149	0,104	0,008	2,505
Maximum	39,680	1,635	13,515	21,880
Ortalama $\pm$ SD	6,387 $\pm$ 9,540	0,784 $\pm$ 0,557	1,945 $\pm$ 4,110	9,299 $\pm$ 6,811
<i>P değeri</i> <0,05				
Hg				
Minimum	-	-	-	-
Maximum	-	-	-	-
Ortalama $\pm$ SD	-	-	-	-

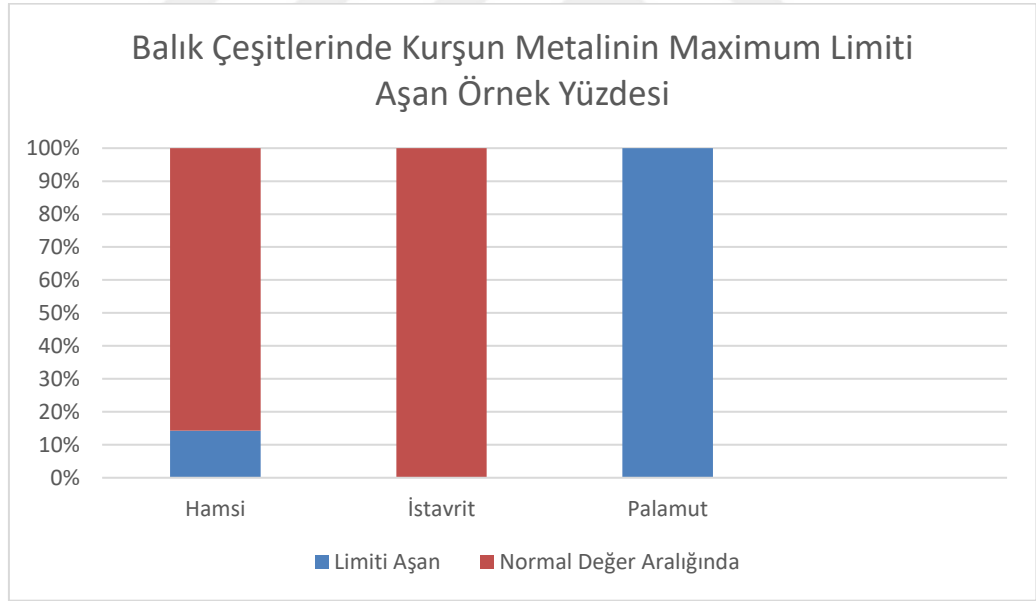
-: Belirlenmedi; SD: standard deviation=Standart Sapma

Ulusal ve uluslararası mevzuatlara göre sadece arsenik, kurşun, kadmiyum ve civa’nın maksimum kalıntı limiti belirtilmiştir (CAC, 2019; EC, 2006; TGK, 2011). Bu çalışmada, kırmızı et, tavuk eti, balık eti ve et ürünlerinde ortalama kurşun düzeyi, balık etinde ise kadmiyum maksimum kalıntı limitlerinin üstünde saptanmıştır. Ancak, civa (Hg) hiçbir örnekte tespit edilememiştir.

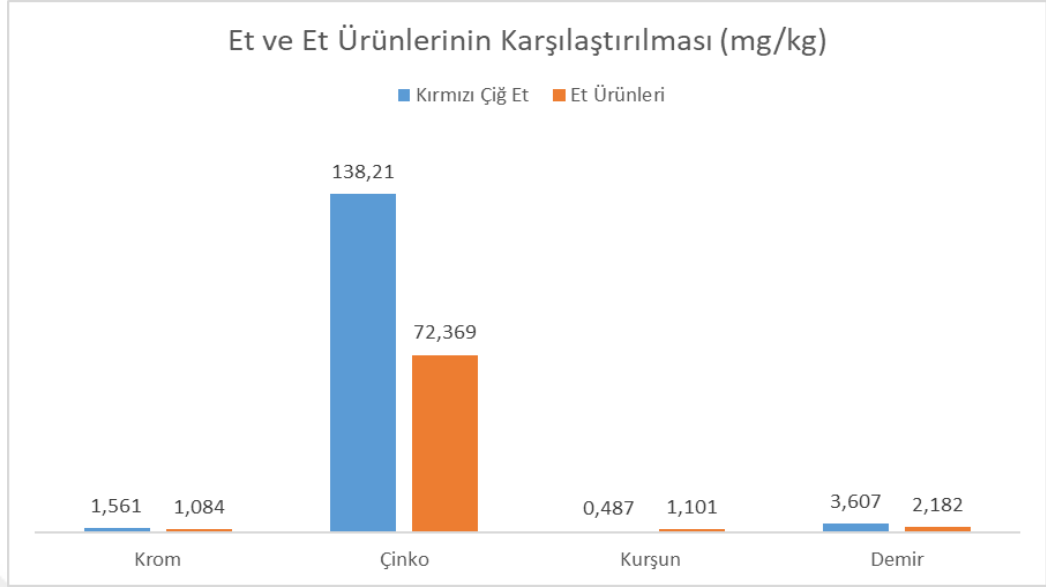
Sığır eti ve kanatlı etlerinde maksimum limiti aşan kurşun yüzdeleri Şekil 4.1.’de, balık eti çeşitlerinde maksimum limiti aşan kurşun yüzdesi Şekil 4.2.’de gösterilmiştir. Kırmızı et ve et ürünlerinin ortalama krom, çinko, kurşun, demir düzeyinin karşılaştırılması ise Şekil 4.3.’de belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Sığır eti ve kanatlı etlerinde maksimum limiti aşan kurşun yüzdesi



Şekil 4.2. Balık eti çeşitlerinde maksimum limiti aşan kurşun yüzdesi



Şekil 4.3. Kırmızı et ve et ürünlerinin ortalama krom, çinko, kurşun, demir düzeyinin karşılaştırılması

5. TARTIŞMA

Et ve et ürünleri enerji, protein ve esansiyel iz elementlerin vücuda alınmasında önemli rol oynayan besin gruplarıdır. Et tüketiminin insan gelişimi ile evrimleşmesinden kaynaklı diğer besin öğelerine kıyasla daha kuvvetli duygusal tepkiler meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Önümüzdeki yıllarda hayvansal besinlere olan yönelimin gelişmekte olan ülkelerde artarak devam edeceği, gelişmiş ülkelerde bu yönelimin azalacağı öngörülmektedir (Smet ve Vossen, 2016). Gıda zincirinde et ve et ürünlerinin ağır metal kontaminasyonu, toksik elementlere maruziyetin önemli aracıdır ve bazı sağlık problemlerine yol açmaktadır (Emami ve ark., 2023). Ağır metal kirliliği, önemli gıda kirleticileri ve yaygın çevre problemi olarak bilinmektedir. Aşırı miktarlarda uzun vadeli böcek ilacı, gübre kullanımı ve hızlı endüstriyel gelişmeler toksik maddelerin toprak, hava, suda birikmesine sebep olmaktadır (Zwolak ve ark., 2019). Cıva, kurşun, kadmiyum, arsenik ve gümüş gibi bazı metallerin canlılar için yaşamsal önemleri olmamalarının yanında zararları görülmektedir. Metal toksisitesi, besin zinciri aracılığıyla insanlarda ve hayvanlarda biyolojik birikime neden olan çevre problemi olarak görülmektedir. Yüksek miktarda ağır metalle kirlenen topraklar insan sağlığında gerilemeye neden olmaktadır. Ağır metallerin zararlı etkilerinin engellenmesi için atık yönetimi mevzuatının yürütülmesi ve geliştirilmesi önerilmektedir (Okereafor ve ark., 2020).

Dünya genelinde ve Türkiye’de çeşitli et ve et ürünlerinde ağır metal kalıntılarını belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır.

Sünbül (2019) tarafından Kahramanmaraş’ta on farklı balık türünden (sazan, gökkuşağı alabalığı, iskarmoz, levrek, hamsi, istavrit, çipura, kupes, Atlantik salmonu, barbun) beşer adet satın alınarak, örneklerin kas dokusunda 11 elementin (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonları ICP-OES cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Balık türleri arasında yalnızca barbun (0,15102 mg/kg) ve hamsiye (0,1041 mg/kg) ait ortalama inorganik As değerleri tespit edilmiş ve Çin Ulusal Gıda Güvenliği Standardı tarafından belirlenen maksimum izin verilen değerin (0,1 mg/kg) üzerinde görülmüştür.

de Souza Ramos ve ark. (2019) tarafından Brezilya’da yerel market ve kasaplardan temin edilen 15’i tavuk nugget, 15’i sosis, 14’ü dana hamburger, 14’ü tavuk hamburger olmak üzere 58 işlenmiş et ve 73’ü sığır eti, 75’i dana eti olmak üzere 148 çiğ et numunesi ICP-OES yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve tüm numunelerde kurşun ve bakır tespit edilmiştir. İncelenen tüm gıda ürünlerinde ortalama kurşun değeri 0,1 µg/g’ın altında bulunmuştur. Krom için en yüksek ortalama konsantrasyonlar, izin verilen sınırın üzerinde olan tavuk nuggetlarında ve dana hamburgerde sırasıyla 0,121 ve 0,105 µg/g olarak tespit edilmiştir. Ancak, belirlenen miktarların izin verilen maksimum seviyenin altında olduğu görülmüştür. Ayrıca işlenmiş etlerde arsenik ve kadmiyum saptanmamıştır. Analiz edilen işlenmiş et ürünleri tüketime uygun olduğu ve et ürünleriyle ilgili çeşitli bir diyet uygulayan nüfus için risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

Anjum ve ark. (2019), Pakistan’ın Peşaver bölgesinde satılan farklı et türlerine (balık, tavuk, sığır, koyun eti) uygulanan ızgara prosedürlerinin toksik maddeler üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yapmıştır. Yerel pazarlardan çiğ ve geleneksel prosedürle pişirilmiş (kömürde ızgara, gazlı ızgara, elektrikli ızgara) toplamda 240 et örneği toplanmıştır. Izgara işlemi uygulanmadan önce balık, sığır ve tavuk eti kişniş, kırmızıbiber tozu, tuz, sarımsak, kimyon ve yaygın kullanılan baharatlar ile marine edilmiştir. Koyun eti ise sadece tuz ile marine edilmiştir. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi yöntemi kullanılan bu çalışmada kurşun (3,18 µg/kg), nikel (3,15 µg/kg), kadmiyum (2,49 µg/kg) içeriği en yüksek balık etinde saptanmış. Dana etinde kurşun konsantrasyonu 1,81 µg/kg, nikel konsantrasyonu 1,70 µg/kg, kadmiyum konsantrasyonu 1,44 µg/kg olarak kaydedilmiştir. Tavuk eti ise en düşük kurşun (1,38 µg/kg), nikel (1,33 µg/kg) ve kadmiyum (1,33 µg/kg) içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. Analiz edilen tüm etlerin ağır metal içerikleri izin verilen seviyelerin üzerinde görülmüştür. Çiğ ve ızgara edilmiş et numuneleri kıyaslandığında çiğ gıda örneklerinin ağır metal içerikleri daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Çiğ marine edilmiş et örnekleri ile çiğ marine edilmemiş et örnekleri karşılaştırıldığında çiğ marine edilmiş gıda örneklerinin ağır metal içerikleri daha düşük seviyelerde saptanmıştır. Bu durum marinasyon işleminin toksik madde konsantrasyonunu düşürmesi ile ilişkilendirilmiştir.

Morshdy ve ark. (2019), Mısır'ın altı büyük şehrinden (Aswan, Damietta, Ismailia, Kafr El-Shiek, Sohag ve Zagazig) toplanan 120 adet tilapia, 120 adet kefal balığı olmak üzere toplam 240 adet numunede ağır metal incelenmiştir. Örnekler 6 gruba ayrılmıştır. Birinci kontrol grubu olarak tanımlanmış herhangi bir işlem yapılmamıştır. İkinci grup asit ile temas ettirilmiştir. Üçüncü grup yağda kızartılmış, dördüncü grup fırında pişirilmiş, beşinci grup kızartılmadan önce asit ile temas ettirilmiştir. Son grup asit temasından sonra sonra ızgara yöntemi ile pişirilmiştir. Atomik absorpsiyon spektroskopisi kullanılan bu çalışmada hem kefal hem de tilapi numunelerinde Damietta'dan temin edilen balıklarda ortalama kurşun konsantrasyonu 0,94 mg/kg, kadmiyum değeri 0,1 mg/kg, bakır seviyesi 1,66 mg/kg ile en yüksek metal seviyeleri görülmüştür. Bu balıkların, Mısır'da ağır metal kirliliği açısından tehlikeli bir konum olarak gösterilen Damietta Manzala Gölü'nden alınması dikkati çekmiştir. Kurşunun yüksek seviyelerde görülmesi madencilik faaliyetleri ve tarım arazilerinde pirinç samanının yakılmasının ardından tatlı su kütlelerine aktarılması gibi antropojenik etkinliklerle bağdaştırılmıştır. Pişirme yöntemleri ve askorbik asidin etkisi incelendiğinde, yarım saat %2 askorbik asitte bekletilmesi sonrasında tavada kızartılması metal yükünün azalmasında en etkili kombinasyon olduğu bildirilmiştir. Askorbik asit metallerin dokudan uzaklaştırılması, tavada kızartılması metallerin yağda çözünmesi ile ilişkilendirilmiştir.

Durmuş (2019), Türkiye'nin Orta Karadeniz sahil bölgesinden her sezonda 45 dişi ve 45 erkek istavrit örneği toplayarak ICP-MS ile metal analizi yapmıştır. Kadmiyum konsantrasyonu 0,18 ile 0,24 µg/g aralığında olduğu görülmüştür. Kurşun içeriği 0,16- 0,26 µg/g aralığında görülmüş ve her iki cinsiyette de en yüksek kurşun konsantrasyonu sonbaharda saptamıştır. Türkiye' de balık tüketim miktarları göz önüne alındığında istavritin insan sağlığı üzerine tehlike oluşturmadığı belirlenmiştir. Fakat insan sağlığı dışında ekosistemlerin devamı için Karadeniz'de yaşamını sürdüren balıkların metal seviyelerinin sistemli olarak incelenmesi önerilmiştir.

Seferoğlu (2020) tarafından Büyük Menderes Nehri üzerinde yaygın olarak bulunan kefal balığının ağır metal seviyesi Grafit Fırınli Atomik Absorbsiton Spektrofotometre incelenmiştir. Kurşun 67,02-2,79 mg/L, krom 10,66-0,95 mg/L, kadmiyum 0,20- 0,05 mg/L, nikel 4,21-0,05 mg/L, bakır ise 14,13-0,05 mg/L arasında

bulunmuştur. Büyük Menderes Nehri Batıköy Mevkii bölgesinde yapılan bir yıllık çalışma sürecinde kefal balıklarının tüm aylarda toksikolojik olarak insan tüketimine uygun olmadığı saptanmıştır.

Özvar (2020), İskenderun Körfezi'nde Samandağ, İskenderun ve Dörtöl'dan 4 farklı tür balıktan (barbun, çipura, istavrit, kolyoz) olmak üzere toplam 180 adet örnekte ağır metal (Cr, Cu, Ni, As, Zn, Fe, Cd, Pb) seviyelerini analiz etmiştir. Elde edilen veriler ışığında İskenderun Körfezi'nden temin edilen balıkların kas dokularındaki ağır metal seviyeleri krom ve arsenik dışında insan sağlığını tehdit edecek düzeyde olmadığı görülmüştür. İskenderun körfezinden alınan barbun balığı örneklerinde ortalama arsenik değeri 6,63 mg/kg, Dörtöl bölgesinden alınan çipura balığı numunelerinde ortalama arsenik değeri 5,28 mg/kg bulunmuştur. İskenderun bölgesinden alınan çipura balığı örneklerinde ortalama krom konsantrasyonu 4,22 mg/kg, Dörtöl bölgesinden alınan çipura balığı örneklerinde ortalama arsenik konsantrasyonu 5,41 mg/kg olarak kayıt edilmiştir. Özellikle İskenderun ve Dörtöl merkezlerinden temin edilen balıkların krom ve arsenik seviyelerinin yüksek görülmesinden dolayı bu istasyonların endüstriyel kirlilik açısından gözlemlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Di Bella ve ark. (2020), Güney İtalya'da 96 adet balık, 30 adet süt ve 30 adet et numunesi üzerinde ICP-MS cihazı ile ağır metal varlığını araştırmıştır. Çalışmada deniz ürünlerinde toplam Hg (ortalama 0,99 µg/g) ve Pb (ortalama 0,09 µg/g) değerleri diğer gıda kategorilerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Topal ve Onac (2020), yaptıkları çalışmada Ege (İzmir), Karadeniz (İstanbul, Düzce) ve Marmara (Bandırma) denizlerinden 4 farklı balık türünün (kefal, çipura, lüfer, levrek) ağır metal (bakır, çinko, cıva, arsenik, kurşun, kadmiyum, gümüş, nikel, manganez) ve pestisit içeriğini incelemişlerdir. ICP-MS cihazı kullanılarak yapılan bu çalışmada en yüksek kurşun konsantrasyonu (2,38 µg/g) Ege denizinden alınan çipura balığında saptanmıştır. Farklı bölgelerden toplanan kefal balığındaki yüksek kadmiyum konsantrasyonu (5,40, 4,98, 5,18 ve 5,04 µg/g) saptanmıştır. Kefal balığının kirli sularda yaşama yeteneği yüksek kadmiyum konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Balık numunelerinin iç organlarında yüksek bakır oranı

saptanması, örneklerin Türkiye'nin sanayi merkezlerinden alınmış olabileceği kanatine varılmıştır.

Kasozi ve ark. (2021) tarafından Uganda'da köylerdeki et satış merkezlerinden alınan 40 dana eti örneklerinde ağır metal içerikleri (bakır, çinko, kurşun, kadmiyum, kobalt, demir, nikel, krom) atomik absorpsiyon spektrofotometrisi ile araştırılmıştır. Ortalama bakır 1,45 ppm, çinko 44,43 ppm, kurşun 5,42 ppm, kadmiyum 0,41 ppm, demir 164,33 ppm, nikel 14,96 ppm ve krom 19,37 ppm düzeyinde bulunmuştur. Kadmiyum hariç diğer metal konsantrasyonlarının WHO kılavuzundaki maksimum değerlerin çok üzerinde olduğu görülmüştür.

El-Sherbiny ve Sallam (2021), Mısır'ın Akdeniz kıyılarında yakalanan 100 adet Avrupa sardalya (*Sardina pilchardus*) ve 100 adet Atlantik uskumru (*Scomber Scombrus*) balıklarının cıva, kadmiyum ve kurşun konsantrasyonlarını ICP-MS yöntemiyle incelemiştir. Cıva miktarı sardalyada 0,01-0,830 µg/g, uskumruda 0,011-0,622 µg/g aralığında tespit edilmiştir. Ortalama cıva konsantrasyonu karşılaştırıldığında uskumru cıva ortalaması (0,413 µg/g), sardalya cıva ortalamasından (0,272 µg/g) yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Kurşun içeriği sardalyada 0,020-0,507 µg/g, uskumruda 0,087-0,435 µg/g seviyelerinde saptanmıştır. Ortalama kurşun konsantrasyonunun uskumruda (0,252 µg/g), sardalyadan (0,194 µg/g) daha yüksek olduğu görülmüştür. Sardalya ve uskumruda ortalama kadmiyum konsantrasyonları sırasıyla 0,0471 µg/g ve 0,0392 µg/g olarak ölçülmüştür. Balıklar elektrikli fırında 220°C'de 20 dakika ızgara edilerek ağır metal içerikleri incelenmiştir. Ortalama cıva konsantrasyonu çiğ sardalyada 0,352 µg/g ve pişmiş sardalyada 0,344 µg/g, ortalama cıva konsantrasyonu ise çiğ uskumruda 0,433 µg/g ve pişmiş uskumruda 0,384 µg/g düzeyinde saptanmıştır. Kurşun miktarları ise hem sardalyada (çiğ 0,201 µg/g, pişmiş 0,242 µg/g) hem de uskumruda (çiğ 0,252 µg/g, pişmiş 0,363 µg/g) ızgara sonrası artış göstermiştir. Kurşun konsantrasyonundaki bu artış pişirme işlemiyle balık etinde görülen su kaybı ile ilişkilendirilmiştir. Izgara sonrası kadmiyum seviyesinde kurşun gibi her iki balık türünde de yükselmiştir ve bunun sebebi de su kaybına bağlanmıştır.

Mutlu (2021), Türkiye'nin Doğu Karadeniz kıyılarından 5 farklı şehrinin yerel balıkçılardan hamsi, palamut, barbun, istavrit ve mezgit balıklarından iki kg örnek alınarak ICP-OES yöntemiyle ağır metal içeriklerini incelemiştir. Ortalama kurşun seviyeleri yüksekten düşüğe doğru sırasıyla istavrit (1,07 µg/g), mezgit (1,02 µg/g), hamsi (1,01 µg/g), palamut (0,95 µg/g), barbun (0,72 µg/g) şeklinde tespit edilmiştir. Ortalama kadmiyum miktarları yüksekten aza doğru sırasıyla barbun (0,14 µg/g), hamsi (0,14 µg/g), istavrit (0,12 µg/g), mezgit (0,12 µg/g), palamut (0,11 µg/g) olarak ölçülmüştür. Çinko değeri en yüksek hamsi balığında (18,98 µg/g) görülürken en düşük mezgit balığında (6,14 µg/g) belirlenmiştir. Krom seviyesi 0,23-0,31 µg/g değerleri arasında bildirilmiştir. Kurşun seviyelerinin yüksek olması yoğun nüfus, liman işletmeleri ve maden yatakları ile ilişkilendirilmiştir.

Mathaiyan ve ark. (2021), Hindistan'ın Tamil Nadu eyaletinin 5 farklı büyük şehirlerden toplanan 150 adet tavuk etinin yenilebilir kısımlarında (göğüs eti, karaciğer, böbrek, boyun) ağır metal içeriklerini ICP-MS yöntemiyle incelemiştir. Göğüs etinde ortalama kurşun seviyesi en yüksek 1,962 mg/kg, en düşük 0,780 mg/kg tespit edilmiştir. Karaciğerde ortalama kurşun seviyesi en yüksek 1,169 mg/kg, en düşük 0,758 mg/kg olarak belirlenmiştir. Boyun etinde ortalama kurşun seviyesi en yüksek 1,260 mg/kg, en düşük 0,015 mg/kg bulunmuştur. Böbrekte ortalama kurşun seviyesi en yüksek 0,858 mg/kg, en düşük 0,0059 mg/kg olarak belirlenmiştir. Kadmiyum konsantrasyonu en yüksek Chennai şehrinden alınan boyun etinde 0,058 mg/kg gözlemlenmiştir. Chennai şehrinde kurşun kalıntılarının bu kadar yüksek miktarlarda olması egzos emisyonu, arıtma sanayisi ve yüksek miktarda kurşun içeren yemlerden kaynaklandığına bağlanmıştır. Kadmiyum konsantrasyonunun madencilik etkinliklerinin yoğun olduğu bölgelerde yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, kontaminasyonu azaltmak için atmosferik havanın ve kümes hayvan yemlerinin rutin analizi yapılması gerektiği önerilmiştir.

Bilandžić ve ark. (2021), Hırvatistan'ın çeşitli şehirlerindeki marketlerden alınan toplam 230 et, karaciğer ve et ürünü örneğinde ağır metal içerikleri incelemiştir. Ortalama kadmiyum içeriği sığır etinde 9,5 µg/kg, tavuk etinde 3,6 µg/kg, salam örneğinde 9,3 µg/kg, sosis örneğinde 3,5 µg/kg olarak belirlemiştir. Kadmiyum

seviyelerinin yüksek görülmesi fosfatlı gübre kullanımı ve üretim-ambalajlama aşamalarındaki faaliyetlerle ilişkilendirilmiştir.

Bat ve ark. (2022), Sinop'ta palamut balığının ağır metal seviyelerini ICP-MS yöntemiyle incelemiştir. Ortalama ağırlığı 700 g ve boyutu 39 cm olan balık numuneleri büyük boy, 590 g ağırlığı ve 29 cm uzunluğu olan balıklar ise küçük boy olarak ayrılmıştır. Kadmiyum seviyeleri büyük balıklarda ortalama 0,02 mg/kg, küçük balıklarda 0,01 mg/kg olarak ölçülmüştür. Kurşun değerleri büyük balıklarda ortalama 0,06 mg/kg, küçük balıklarda 0,04 mg/kg olduğu bildirilmiştir. Büyük balıklarda ortalama cıva düzeyi 0,03 mg/kg iken, küçük balıklarda 0,02 mg/kg olarak tespit etmiştir. Arsenik, alüminyum, bakır, demir ve çinko metalleri de büyük balıklarda küçük balıklara kıyasla daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür. İncelenen metallerin tümü ulusal ve uluslararası mevzuatların maksimum seviyenin altında olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sonucunda büyük boyutta balıkların küçük boyutta olan balıklara kıyasla daha yüksek seviyede metal biriktirdiği bildirilmiştir.

Han ve ark. (2022) tarafından Çin'de yerel pazarlarından alınan 184 adet sığır, 47 adet koyun, 511 adet domuz, 74 adet ördek, 250 adet tavuk eti olmak üzere toplam 1066 örnek ICP-MS yöntemiyle ağır metal (As, Cd, Pb, Hg, Ni, Cu, Cr) içerikleri araştırılmıştır. İncelenen 248 tavuk etinin 4'ünde kurşun içeriği (0,2 mg/kg) ve ortalama seviye (0,058 mg/kg) izin verilen maksimum limitin üzerinde bulunmuştur. Kurşun seviyelerinin yüksek olmasının nedeni olarak kümes hayvanlarının yapay yemlerle beslenmesinden kaynaklı olduğu ifade edilmiştir.

Raeeszadeh ve ark. (2022), İran'da 170 adet et (koyun, sığır, hindi, devekuşu) örneği alarak ICP-MS yöntemiyle ağır metal (selenyum, kurşun, kadmiyum, arsenik, kobalt, çinko, nikel, bakır ve krom) değerlerini araştırmıştır. Sığır etinde kadmiyum (4,31 mg/kg), çinko (234,6 mg/kg), kobalt (0,08 mg/kg) elementleri diğer et ürünlerine göre daha yüksek seviyelerde olduğunu saptamıştır.

Kalipci ve ark. (2023), Türkiye'nin Karadeniz kıyılarından 11 farklı ilin yerel balıkçılarından temin edilen barbun, mezgit, palamut, hamsi, lüfer balık türlerinin herbirinden 33 adet olacal şekilde toplam 165 örnekte ICP-MS yöntemiyle ağır metal

varlığını araştırmışlardır. Krom konsantrasyonu en yüksek 0,122 mg/kg ile barbun balığında en düşük 0,014 mg/kg hamsi balığında görülmüştür. Demir seviyeleri en yüksek barbun balığında (62,984 mg/kg) bunu sırasıyla hamsi (17,434 mg/kg) ve palamut (15,720 mg/kg) balığı takip etmiştir. Nikel içeriği en yüksek barbun balığında (0,193 mg/kg) en düşük palamut balığında (0,035 mg/kg) tespit edilmiştir. Bakır konsantrasyonu 1,541 mg/kg ile en yüksek palamut balığından daha sonra 1,319 mg/kg ile hamsi balığında bulunmuştur. En yüksek çinko değeri hamsi balığında (29,121 mg/kg) görülürken, en düşük çinko değeri palamut balığında (8,089 mg/kg) saptanmıştır. Kadmiyum en düşük palamut balığında (0,008 mg/kg) en yüksek hamsi balığında (0,063 mg/kg) ölçülmüştür. Ortalama kurşun içerikleri yüksekten düşüğe doğru sırasıyla barbun (0,131 mg/kg), lüfer (0,022 mg/kg), hamsi (0,020 mg/kg), palamut (0,013 mg/kg) ve mezgit (0,021 mg/kg) balığında belirlenmiştir. Toksik metalleri diğer balık türlerine göre daha yüksek miktarda bulunduran barbun balığı olmuştur, Bunun öncelikli nedeni beslenmelerinde daha yüksek miktarlarda metal yemlerle beslenen yumuşakçaların olması ve bu balık türünün dipte yaşaması gösterilmiştir. Bunun yanında yaşam alanlarının türü, metale maruziyet süresi, metalin sudaki dağılımı, beslenme şekli ve fizyolojilerinin farklı olması toksik metalleri bulundurma kapasiteleri üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir.

Bu çalışmada, ortalama kurşun seviyesi sırasıyla en yüksek tavuk etinde (1,668 mg/kg), et ürünlerinde (1,101 mg/kg), kırmızı et (0,487 mg/kg) ve balık etinde (0,453 mg/kg) tespit edildi. Kurşun seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulundu ($P < 0,05$). Sığır etlerinin %61 (11/18)'inde kurşun düzeyi limitlerinin üzerinde bulundu. Analiz edilen 41 kanatlı eti örneklerinin %100'ünde kurşun seviyesi ulusal ve uluslararası limitlerin üzerinde saptandı. Kurşun düzeyleri 0,007 - 3,021 mg/kg arasında tespit edildi. En yüksek ortalama kurşun seviyesi 1,668 mg/kg ile tavuk etinde bulunurken, bunu sırasıyla 1,101 mg/kg et ürünleri takip etmiştir. Palamut balığı numune sayısı 12, hamsi balığı numune sayısı 8, istavrit balığı numune sayısı 2 şeklinde dağılım gösteren toplam 22 balık eti numunelerinin 13 tanesinde kurşun seviyesi yönetmelikler tarafından belirlenen limitin üzerinde görüldü. Hamsi balığında kadmiyum maksimum limitleri aşan örnek yüzdesi %12,5, istavrit balığında %50, palamut da ise %25 olarak belirlendi. Örneklerdeki kalıntı seviyelerinin bu kadar

yüksek oranda bulunması halk sağlığı için tehlike oluşturmaktadır. Ağır metal kirliliğinin nedeni olarak su ve toprakta ağır metal düzeyinin yüksek olması veya et ve et ürünlerinin endüstriyel yoğunluğu yüksek olan bölgelerden temin edilmiş olabileceği kanısına varıldı. Yapılan diğer çalışmalarla (Sünbül, 2019; Durmuş, 2019; Di Bella ve ark., 2020, El-Sherbiny ve Sallam, 2021; Bat ve ark., 2022; Kalipci ve ark., 2023) kıyaslandığında bu çalışmadaki balık etinde kurşun oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmadaki tavuk eti kurşun kalıntısı Han ve ark. (2022)'nin yaptığı çalışmayla karşılaştırıldığında daha yüksek seviyede bulunmuştur. de Souza Ramos ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada kırmızı et de kurşun saptanmamıştır ama bu çalışmada kırmızı et de kurşun metali tespit edilmiştir. Han ve ark. (2022)'nin yaptığı çalışmada kırmızı et de kurşun kalıntısı bu çalışma ile karşılaştırıldığında daha düşük seviyede görülmüştür. Bu çalışmadaki kırmızı et de kurşun düzeyi kalıntısı Kasozi ve ark. (2021) tarafından yapılan inceleme sonucuna kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada tavuk etindeki kurşun düzeyi Bilandžić ve ark. (2021)'in yaptığı inceleme ile karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur. Balıklarda kurşun birikmesinin hem suyun kurşun konsantrasyonuna hem de suyun pH ve kalsiyum seviyesine bağlı olduğu bildirilmektedir. Suyun, düşük kalsiyum ve pH seviyesinin balık dokularında kurşun emilimini arttırdığı belirtilmiştir. Kadmiyum emilimi de kurşuna benzer şekilde olmaktadır, sulardaki düşük pH ve düşük kalsiyum konsantrasyonunun kadmiyum birikmesini arttırdığı ifade edilmiştir. Sıcaklık artışı tuz seviyesinde artışa neden olacağından kadmiyum ve kurşun gibi metallerin balık dokularına nüfus etmesini engelleyeceği bildirilmiştir (Moiseenko ve Gashkina, 2020). Kurşun'nun biyobirikiminin yanı sıra kurşun zehirlenmesi genellikle kronik bir hastalık olarak kabul edilmektedir ve insanlar için ana bulaşma yolu diyet olduğu bildirilmektedir. Bu nedenle Pb içeren bu besinlerin tüketimi ileride olumsuz etkilere neden olabilir (de Souza Ramos ve ark., 2019).

Kadmiyum esansiyel olmayan bir elementtir. Çok düşük konsantrasyonlarda bile çevrede uzun süreli kalıcılıkları ve biyolojik olarak parçalanamadıkları için suda yaşayan organizmalarda biyobirikim eğilimleri vardır ve sonuç olarak dokularda büyük miktarlarda konsantre olmaları nedeniyle çok tehlikelidir. İnsanlar, balıklar ve çevre için en toksik elementlerden biri olarak kabul edilir (Mahjoub ve ark., 2021). Bu

çalışmada kadmiyum kırmızı et numunelerinde tespit edilmezken, tavuk etinde ortalama kadmiyum seviyesi 0,015 mg/kg tespit edildi ve yönetmelikler tarafından belirlenen maksimum değerin altında belirlendi. Kadmiyum seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulundu ($P < 0,05$). Balık etinde ortalama kadmiyum 0,051 mg/kg düzeyinde ulusal ve uluslararası standartlar tarafından belirlenen sınır değerlerin üzerinde olduğu saptandı. Balıklar genellikle sucul ekosistemlerdeki trofik piramidin son seviyesidir ve bu nedenle ağır metaller için iyi biyoindikatördür. Ağır metaller, su ortamında kalarak ve balıkların yiyecek aradıkları bitki örtüsüne ve dip tortularına nüfuz ederek balık organizmalarına girerler veya bu diğer balıkları yiyen yırtıcı balıklar tarafından tüketilmesiyle dokularında birirmektedir (Chałabis-Mazurek ve ark., 2021). Hamsi balığında kadmiyum maksimum limitleri aşan örnek yüzdesi %12,5, istavrit balığında %50, palamut da ise %25 olarak hesaplandı. Bu çalışmadaki tavuk eti kadmiyum kalıntısının Bilandžić ve ark. (2021)'nın yaptığı çalışma verileri ile kıyaslandığında daha düşük olduğu görülmüştür. Bu çalışmada balık etinde kadmiyum seviyesi yapılan diğer çalışmalara (El-Sherbiny ve Sallam, 2021; Durmuş, 2019) göre daha düşük seviyede saptanmıştır. Bilandžić ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışma bulgularına kıyasla sosis ve salam numunelerinde kadmiyum düzeyi bu çalışmada daha düşük bulunmuştur. de Souza Ramos ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada et ürünlerinde kadmiyum tespit edilmemiştir ancak bu çalışmada et ürünlerinde kadmiyum metali saptanmıştır. Bu çalışmada balık etinde kadmiyum kalıntısı Kalipci ve ark. (2023)'nın yaptığı çalışma sonuçlarıyla kıyaslandığında bu çalışmada daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kırmızı et de kadmiyum kalıntısı saptanmamıştır fakat yapılan diğer çalışmalarda (Kasozi ve ark., 2021; Han ve ark., 2022) kadmiyum kalıntısı bulunmuştur. Genellikle merada yetiştirilen sığır ve koyunlar, intensive sistemler altında yetiştirilen devede ve hindilere göre endüstriyel ağır metal kontaminasyonuna (özellikle kurşun ve kadmiyum) daha fazla maruz kalmaktadır (Kasozi ve ark., 2021). Su ve toprak, endüstriyel faaliyetler ve tarımsal işlemler yoluyla kadmiyum ile kirlenebilmektedir. Kadmiyum yarılanma ömrü uzun olan en tehlikeli toksik metallerden biri olduğu için çiftlik hayvanlarının yemleri ve sudaki seviyesini kontrol etmek ve izlemek zorunluluktur (Raeeszadeh ve ark., 2022).

Bu çalışmada et ve et ürünlerinin hiç birinde cıva tespit edilememişken, Bat ve ark., (2022), Di Bella ve ark., (2020), Kalipci ve ark., (2023) tarafından balıklarda yapılan çalışmalarda cıva tespit edilmiş, ancak maksimum limitleri aşmadığı görülmüştür. Mathaiyan ve ark. (2021)'nin yaptıkları çalışmada tavuk etinde cıva miktarı 0,2702 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Ulusal ve uluslararası standartlarda tavuk etinde cıva bulunmasına izin verilmemektedir.

Ağır metal kontaminasyonunun izlenmesi, hayvansal kaynaklı gıda güvenliğinin sağlanmasında temel gereksinimlerden biridir. Pb, Cd ve Hg gibi ağır metaller, en yüksek birikim faktörü ile karakterize edilir, ancak gıdadaki varlığı büyük ölçüde çevrenin durumuna bağlı olan toksik elementlerdir (Chalabis-Mazurek ve ark., 2021). Toksik metaller ve yüksek konsantrasyonlarda diğer iz metalleri -çinko (Zn), demir (Fe), bakır (Cu), nikel (Ni), krom (Cr), alüminyum (Al)- içeren et ve diğer gıdaların günlük tüketimi, kronik alımları nedeniyle halk sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Bilandžić ve ark., 2020).

Bu çalışmada çinko (Zn) metalinin ortalama değerleri yüksekten düşüğe sırasıyla kırmızı et (138,21 mg/kg), et ürünleri (72,36 mg/kg), balık eti (58,40 mg/kg) ve tavuk eti (20,40 mg/kg) şeklinde saptandı. Çinko seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulundu ($P < 0,05$). Örneklerdeki Zn değerleri, Avustralya ve Yeni Zelanda Gıda Kurumu (ANZFA) tarafından belirlenen izin verilen sınırın (< 150 ppm) altında olduğu tespit edilmiştir. Örneklerdeki Zn'nin düşük olması çiftlik topraklarındaki Zn eksikliğine bağlanmaktadır (Emami ve ark., 2023). Zn toprakta en kolay bulunabilen ağır metallerden biridir ve aşırı seviyeleri fitotoksik etki göstermektedir. Sırasıyla mahsul kalitesini ve verimini büyük ölçüde etkiler ve hatta absorpsiyon veya Zn birikimi ve tüketim nedeniyle insanlar için sağlık riski oluşturmaktadır (Hussain ve ark., 2022). Bu çalışmada balık etinde çinko seviyesi yapılan diğer çalışmalarla (Sünbül, 2019; Kalipci ve ark., 2023) karşılaştırıldığında daha yüksek, Durmuş (2019) tarafından yapılan çalışmada ise düşük düzeyde bulunmuştur. Kırmızı ette ki çinko seviyesi Di Bella ve ark. (2020) ve Kasozi ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmalarla kıyaslandığında bu araştırmada daha yüksek olduğu saptanmıştır. Çinko birçok enzimin ve proteinlerin normal fonksiyonu ve düzenlenmesi için önemli ölçüde gerekli olan insan vücudu için biyolojik olarak

gerekli bir elementtir. Ancak, diyetle aşırı Zn alımı canlılar için akut ksisitesinin nedenidir (Hussain ve ark., 2022). Bu aynı zamanda bakır biyoyararlanımı için bir dengesizlik yaratır ve bakır eksikliğine yol açabilmektedir. Bu mekanizma muhtemelen bakır bağlayıcı metalotiyoninlerin Zn kaynaklı oluşumuna atfedilmektedir (Sandstead, 2013).

Bu çalışmada, ortalama demir seviyeleri karşılaştırıldığında 3,607 mg/kg ile en yüksek değerlerin kırmızı etde olduğu tespit edildi. Bunu balık etinde ortalama demir düzeyi 3,177 mg/kg takip ederken, balık etleri arasında en yüksek demir seviyesi 18,310 mg/kg ile palamut etinde saptandı. Demir seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulundu ($P < 0,05$). Ulusal ve uluslararası standartlarında balık örneklerinde maksimum demir seviyeleri hakkında bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada balık etinde demir seviyesi Kalipci ve ark. (2023)'nın yaptığı çalışmayla kıyaslandığında bu çalışmada daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kırmızı et de demir içeriği bu çalışma sonuçlarına kıyasla Kasozi ve ark. (2021) tarafından yapılan incelemede daha yüksek bulunmuştur. Demir yaşam ve beslenmemiz için gerekli bir mineraldir. Bir eser mineral olarak kabul edilse de, demirden yoksun diyetler anemi olarak bilinen demir eksikliğine neden olmaktadır. Demir eksikliği hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde hayat boyu süregelen önemli halk sağlığı problemidir. Ayrıca, demir eksikliğinin anne-çocuk ölümlerinde, yetişkinlerde fiziksel performans veriminde, çocuklarda bilişsel ve fiziksel gelişim sürecinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Geissler ve Singh, 2011). Bunun yanı sıra yüksek miktarlarda Fe'nin akut alımı sonucunda, gevşek dışkı, kan kaybı, hipovolemik şok, zarar verici sistemik yetmezlik ve ölüme yol açan bağırsak mukozasının korozyif hemorajik nekroz görülmektedir. Kronik Fe alımı ise oksidatif ve fonksiyonel doku hasarına neden olarak kardiyomiyopati, artropati, diabetes mellitus ve nörolojik hastalıklara neden olmaktadır (Bilandžić ve ark., 2020).

Bu araştırmada ortalama alüminyum (Al) konsantrasyonu et ürünleri 9,299 mg/kg, kırmızı et 6,387 mg/kg, balık eti 1,945 mg/kg ve tavuk eti 0,784 mg/kg olarak belirlendi. Alüminyum seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulundu ($P < 0,05$). Alüminyumun ortalama değeri 9,299 mg/kg ile en yüksek et ürünlerinde saptanırken en düşük 0,784 mg/kg ile tavuk etinde bulundu. Bu çalışmada

balık etinde alüminyum seviyesi, Sünbül (2019) tarafından yapılan çalışma bulgularına göre daha yüksek olduğu; et ürünlerindeki alüminyum seviyesi Maaßen ve ark. (2003) tarafından bildirilen verilerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Maaßen ve ark. (2003) bir et işleme tesisinde 18 et ürünüde başlangıç ve ara ürünlerinin alüminyum içeriğinin analizi AAS ile gerçekleştirilmiştir. En düşük alüminyum konsantrasyonu (0,28 mg/kg) "dil sosisi" ("Zungenwurst") ürünüde tespit edilirken, maksimum alüminyum değeri 11,39 mg/kg ile "kan sosisi" ("Blutwurst") ürünüde ölçülmüştür. İlk ürünlerdeki alüminyum içeriklerinin analizi, hayvansal kaynaklı malzemelerin bitkisel kaynaklı olanlara göre daha düşük miktarlarda alüminyum içerdiği belirlenmiştir. Baharatların yüksek miktarda (1246-1657 mg/kg) alüminyum içerdiğini belirlemiştir. Sonuçta, et ürünleri yoluyla alüminyum alımının tüketici sağlığı için bir tehlike oluşturmadığı belirtilmiştir. Alüminyum, yerkabuğunda en bol bulunan üçüncü elementtir. Alüminyumun birçok hastalığa neden olduğu, insanlar, hayvanlar ve bitkiler için büyük bir tehdit oluşturabileceğini ortaya konulmuştur. Suyun pH'sı ve organik madde içeriği dahil olmak üzere birçok faktör, alüminyumun toksisitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Düşen pH ile alüminyum toksisitesi artmaktadır. Asit yağmurlarının neden olduğu toprak ve su pH'ındaki değişikliklerden (pH<5) ve çevredeki atmosferin artan asitlenmesinden kaynaklanan toksik alüminyum iyonlarının mobilizasyonu, çevre üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmaktadır. Bu, ormanların kuruması, bitki zehirlenmesi, mahsulün azalması veya bozulması, suda yaşayan hayvanların ölümü ve ayrıca insan ve hayvan sistemlerinin işlevindeki çeşitli dengesizlikler ile kendini göstermektedir. Yüksek konsantrasyonlarda alüminyum, suda yaşayan hayvanlar için, özellikle balıklar gibi solungaç ile solunum yapan organizmalar için çok toksiktir ve plazma ve hemolenf iyonlarını yok ederek osmoregülatuar yetmezliğe neden olmaktadır. İyonların alınması için gerekli olan solungaç enziminin aktivitesi, balıklarda alüminyumun monomerik formu tarafından inhibe edilmektedir (Jaishankar ve ark., 2014). Alüminyum sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler göstererek hafıza kaybı, denge sorunları ve koordinasyon kaybına neden olmaktadır (Krewski ve ark., 2007). Alüminyumun nöronlarda uyandırdığı değişiklikler, Alzheimer hastalarında gözlenen dejeneratif lezyonlara benzer. Alüminyum toksisitesinin en büyük komplikasyonları locus ceruleus, substantia nigra ve striatumdaki nöronal atrofi gibi nörotoksisite etkileridir (Jaishankar ve ark., 2014).

Mevcut çalışmada ortalama bakır içeriği balık etinde 1,463 mg/kg, tavuk etinde 0,809 mg/kg, sığır etinde 0,526 mg/kg ve et ürünlerinde 0,785 mg/kg olarak tespit edildi. Bakır seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulundu ($P < 0,05$). Balık etinde bakır kalıntısı yapılan diğer çalışmalarla (Sünbül, 2019; Durmuş, 2019; Kalipci ve ark., 2023) karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu tespit edilmişken, Mutlu (2021)'nin yaptığı çalışmayla kıyaslandığında daha düşük olduğu belirtilmiştir. Kırmızı et de bakır seviyesi yapılan diğer çalışmalarla (Kasozi ve ark., 2021; Han ve ark., 2022) kıyaslandığında bu çalışmada daha yüksek seviyede görülmüştür. Wilson hastalığı gibi genetik bozukluklar durumunda aşırı Cu birikimi bildirilmiştir. Bakır birikimi önce karaciğerde, ardından beyin, kalp, böbrek ve gözlerde olmaktadır. Karaciğer hasarı sirozla sonuçlanır ve zamanla şiddetli karaciğer hastalığına dönüşebilmektedir (Bilandžić ve ark., 2020).

Bu araştırmada ortalama nikel konsantrasyonları kırmızı ette 0,174 mg/kg, tavuk etinde 0,816 mg/kg, balık etinde 2,531 mg/kg ve et ürünlerinde 0,841 mg/kg olarak saptandı. Nikel seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulunmamıştır ($P > 0,05$). Bu çalışmada balık etinde nikel düzeyi (2,531 mg/kg) diğer yapılan çalışmalarla (Sünbül, 2019; Kalipci ve ark., 2023) kıyaslandığında daha yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kırmızı ette ki nikel kalıntısı (0,174 mg/kg) Han ve ark. (2022)'nin yaptığı çalışmada bildirilen nikel düzeyinden daha düşük ve Kasozi ve ark. (2021) tarafından bildirilen nikel düzeyinden daha yüksek bulunmuştur. Kasozi ve ark. (2021) sığır eti örneklerinde temel olmayan elementler Cr, Pb, Ni ve Cd'yi tüketme riskinin önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Kanser riskinin $Ni > Cr > Cd > Pb$ sıralamasının çocuklarda erişkinlere göre anlamlı olarak yüksek olduğu saptanmıştır. En kritik olanı, Ni, Cr, Cd ve Pb elementlerinin hepsinin yerleşik kanserojenler olması ve bunların herhangi bir konsantrasyonda bulunması ve "güvenli" kanserojen seviyelerinin bulunmaması ciddi endişelere yol açmaktadır.

Ortalama krom (Cr) içeriği balık etinde 0,345 mg/kg, tavuk etinde 0,567 mg/kg, kırmızı sığır etinde 1,561 mg/kg ve et ürünlerinde 1,084 mg/kg olarak tespit edildi. Krom seviyelerinde incelenen et türleri arasında istatistiksel farklılık bulundu ($P < 0,05$). Bu çalışmada balık etinde krom düzeyi yapılan diğer çalışmalarla (Mutlu,

2021; Kalipci ve ark., 2023) kıyaslandığında daha yüksek, Han ve ark. (2022)'nın bildirdiği krom düzeyinden düşük olduğu görülmüştür. Kırmızı et de nikel içeriği Kasozi ve ark. (2021) tarafından bildirilen krom düzeyinden daha yüksek bulunmuştur. Krom, ortamda Cr^{+2} ila Cr^{+6} arasında değişen çeşitli oksidasyon durumlarında bulunmaktadır. Krom'un en sık görülen formları üç değerlikli (Cr^{+3}) ve altı değerlikli (Cr^{+6}) formlarıdır ve her iki durum da bitkiler, hayvanlar ve insanlar için toksiktir. Cr^{+6} hücrelere Cr^{+3} 'den daha kolay girmektedir ve sonunda Cr^{+3} 'e indirgendiğinden, Cr^{+6} 'nın Cr^{+3} 'den çok daha tehlikeli olduğu belirtilmektedir (Jaishankar ve ark., 2014). Solunum ve intratorasik organlarda mutajenik özelliklerinden dolayı Cr^{+6} , Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı (IARC= International Agency for the Research on Cancer) tarafından insanlarda sınırlı kanıtı olan kanserojen ajanlar sınıfında kategorize edilmiştir (IARC, 2023).

Et ve et türleri ile ilgili çalışmalar arasında bu metallerin birikiminde önemli farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların, üretim sistemlerindeki farklılıkların yanı sıra çiftlik hayvanlarının kesim ve nakliye koşullarına atfedilmektedir (Clinquart ve ark., 2022). Ayrıca et ve et ürünlerinde ağır metallerinin birikimi üzerinde etin türü, elde edildiği yer ve mevsim yüksek etkiye sahiptir (Kasozi ve ark., 2021; Raeeszadeh ve ark., 2022).

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ağır metal kontaminasyon kaynakları arasında sanayileşme, kirli havanın solunması, kontamine çevre (örn. otlak alanlarında mayın varlığı, kanalizasyon ve endüstriyel atıklar, araçlardan kaynaklanan emisyonlar), kontamine hayvan yemi ve su, konserveleme işlemi ve farklı pişirme yöntemleri bulunmaktadır. Ağır metaller ile kontamine olmuş gıda ürünlerini tüketmek, gıda zincirleri yoluyla dokularda biyobirikimi nedeniyle önemli bir halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır.

Bu çalışmada kırmızı et, tavuk eti, balık eti ve et ürünlerinde ortalama kurşun düzeyi, balık etinde ise ortalama düzeyi kadmiyum ulusal ve uluslararası mevzuatta bildirilen maksimum kalıntı limitlerinin üstünde belirlenmiş olması gıda güvenliği ve halk sağlığı açısından risk yaratmaktadır. Elde edilen sonuçlar, bir ekosistemin çeşitli bölümlerindeki temel ve temel olmayan eser elementlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi ihtiyacını göstermektedir. Bu nedenle, et ve et ürünlerinde kontaminasyonu azaltmak için bulaşma kaynaklarına ilişkin önleyici ve düzenleyici tedbirler alınmalıdır. Genel olarak, ağır metal konsantrasyonları için otlakların, suların ve hayvan yemlerinin izlenmesi acil bir gerekliliktir ve ayrıca kesim sürecinin, nakliyenin ve dağıtımların sıhhi kontrolünün yapılması zorunluluktur. Çevre ve hayvancılık ürünlerindeki ağır metallerin düzenli olarak izlenmesi ve et üretimi için İyi Üretim Uygulamaları standartlarına uyulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbaspour N, Hurrell R, Kelishadi R (2014).** Review on iron and its importance for human health. *J. Res. Med. Sci.*, **19(2)**, 164-174.
- Aendo P, Netvichian R, Khaodhiar S, Thongyuan S, Songserm T, Tulayakul P (2020).** Pb, Cd, and Cu play a major role in health risk from contamination in duck meat and offal for food production in Thailand. *Biol. Trace Elem. Res.*, **198 (1)**, 243-252.
- Akbar N, R Aasima, K Faneshwar, Singh V, Shukla V (2017).** Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *J. Food Sci. Technol.*, **54(10)**, 2997-3009.
- Al-Busaidi M, Yesudhasan P, Al-Mughairi S, Al-Rahbi WAK, Al-Harthy KS, Al-Mazrooei NA, Al-Habsi SH (2011).** Toxic metals in commercial marine fish in Oman with reference to national and international standards. *Chemosphere.*, **85(1)**, 67-73.
- Al Osman M, Yang F, Massey IY (2019).** Exposure routes and health effects of heavy metals on children. *Biometals*, **32**, 563–573.
- Ali H, Khan E (2018).** What are heavy metals? longstanding controversy over the scientific use of the term ‘heavy metals’ – proposal of a comprehensive definition. *Toxicol. Environ. Chem.*, **100 (1)**, 6-19.
- Ali H, Khan E, Ilahi I (2019).** Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J. Chem.*, 6730305.
- Ali MM, Hossain D, Al-Imran, Khan Md. S, Begum M, Osman MH (2021).** Environmental Pollution with Heavy Metals: A Public Health Concern. In: Nazal MK, Zhao H (Eds), Heavy Metals - Their Environmental Impacts and Mitigation. DOI:10.5772/intechopen.96805
- Alturiqi AS, Albedair LA (2012).** Evaluation of some heavy metals in certain fish, meat and meat products in Saudi Arabian markets. *Egypt. J. Aquat. Res.*, **38(1)**, 45-49.
- Alvarez CC, Gómez MEB, Zavala AH (2021).** Hexavalent chromium: Regulation and health effects. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, **65**, 126729.
- Anatone K, Baumann Z, Mason RP, Hansen G, Chernoff (2020).** Century-old mercury pollution: evaluating the impacts on local fish from the eastern United States. *Chemosphere*, **259**, 127484.
- Andreoli V, Sprovieri F (2017).** Genetic aspects of susceptibility to mercury toxicity: an overview. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **14**, 93.

Anjum Z, Shehzad F, Rahat A, Shah HU, Khan S (2019). Effect of marination and grilling techniques in lowering the level of polyaromatic hydrocarbons and heavy metal in barbecued meat. *Sarhad Journal of Agriculture.*, **35**, 639-646.

Anon (2018). Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarı. <https://biltekmer.mehmetakif.edu.tr/icerik/503/657/icpoes-laboratuvari> (Erişim Tarihi: 21.12.2022).

Atique Ullah AKM, Maksud MA, Khan SR, Lutfu LN, Quraishi SB (2017). Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh. *Toxicol. Rep.*, **4**, 574-579.

ATSDR -Agency For Toxic Substances and Disease Registry (2012). Toxicological profile for chromium. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Washington, DC, USA. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.pdf> (Erişim Tarihi: 10.10.2022)

Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair MR, Sadeghi M (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Front. Pharmacol.*, **12**, 643972.

Baltaci AK, Yuce K, Mogulkoc R (2018). Zinc metabolism and metallothioneins. *Biol. Trace. Elem. Res.*, **183**, 22-31.

Barone G, Storelli A, Quaglia NC, Garofalo R, Meleleo D, Busco A, Storelli MM (2021). Trace metals in pork meat products marketed in Italy: Occurrence and health risk characterization. *Biol. Trace Elem. Res.*, **199**, 2826–2836.

Basu S (2015). The transitional dynamics of caloric ecosystems: changes in the food supply around the World. *Crit. Public Health*, **25(3)**, 248-264.

Basu N, Abass K, Dietz R, Krümmel E, Rautio A, Weihe P (2022). The impact of mercury contamination on human health in the Arctic: A state of the science review, *Sci.Total Environ.*, **831**, 154793.

Bat L, Öztekin A, Arici E, Şahin F, Bhuyan MS (2022). Trace element risk assessment for the consumption of *sarda sarda* (bloch, 1793) from the mid-south black sea coastline. *Water Air Soil Pollut.*, **233**, 441.

Bilandžić N, Sedak M, Čalopek B, Đokić M, Varenina I, Solomun Kolanović B, Božić Luburić Đ, Varga I, Roncarati A (2020). Evaluation of element concentrations in beef and pork meat cuts available to the population in the Croatian Capital. *Foods*, **9(12)**, 1861.

Bilandžić N, Sedak M, Čalopek B, Đokić M, Varenina I, Kolanović BS, Luburić DB, Varga I, Hruškar M (2021). Dietary exposure of the adult Croatian population to meat, liver and meat products from the Croatian market: Health risk assessment. *J. Food Compos. Anal.*, **95**, 103672.

Bjørklund G, Dadar M, Mutter J, Aaseth J (2017). The toxicology of mercury: current research and emerging trends. *Environ. Res.*, **159**, 545-554.

Blades B, Ayton S, Hung YH, Bush AI, Fontaine SL (2021). Copper and lipid metabolism: A reciprocal relationship. *Biochim. Biophys. Acta Gen. Subj.*, **1865(11)**, 129979.

Bohrer BM (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends Food Sci. Technol.*, **65**, 103-112.

Bost M, Houdart S, Oberli M, Kalonji E, Huneau JF, Margaritis I (2016). Dietary copper and human health: current evidence and unresolved issues. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, **35**, 107-115.

Briffa J, Sinagra E, Blundell R (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, **6(9)**, e04691.

Buha A, Jugdaohsingh R, Matovic V, Bulat Z, Antonijevic B, Kerns JG, Goodship A, Hart A, Powell JJ (2019). Bone mineral health is sensitively related to environmental cadmium exposure- experimental and human data. *Environ. Res.*, **176**, 108539.

Buha A, Đukić-Ćosić D, Ćurčić M, Bulat Z, Antonijević B, Moulis JM, Goumenou M, Wallace D (2020). Emerging links between cadmium exposure and insulin resistance: human, animal, and cell study data. *Toxics*, **8(3)**, 63.

Buxton S, Garman E, Heim KE, Lyons-Darden T, Schlekot CE, Taylor MD, Oller AR (2019). Concise review of nickel human health toxicology and ecotoxicology. *Inorganics*, **7(7)**, 89.

Cabrera MC, Ramos A, Saadoun A, Brito G (2010). Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. *Meat Sci.*, **84(3)**, 518-528.

CAC- Codex Alimentarius Commission (2019). General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed CXS 193-1995. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/> (Erişim Tarihi: 13.12.2022).

Cassat JE, Skaar EP (2013). Iron in infection and immunity. *Cell Host Microbe.*, **13(5)**, 509-519.

CDC - Centers for Disease Control and Prevention (2018). Chemical hazards. Erişim: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/emres/chemagent.html> (Erişim tarihi: 30.04.2021).

Chalabis-Mazurek A, Rechulicz J, Pyz-Łukasik R (2021). A food-safety risk assessment of mercury, lead and cadmium in fish recreationally caught from three lakes in Poland. *Animals*, **11(12)**, 3507.

Chasapis CT, Loutsidou AC, Spiliopoulou CA, Stefanidou ME (2012). Zinc and human health: An update. *Arch. Toxicol.*, **86**, 521–534.

Chen J, Jiang Y, Shi H, Peng Y, Fan X, Li C (2020). The molecular mechanisms of copper metabolism and its roles in human diseases. *Pflugers Arch. - Eur. J. Physiol.*, **472**, 1415-1429.

Chen YG, He XLS, Huang JH, Luo R, Ge HZ, Wołowicz A, Wawrzekiewicz M, Gładysz-Plaska A, Li B, Yu OX, Kołodyńska D, Lv GY, Chen SH (2021). Impacts of heavy metals and medicinal crops on ecological systems, environmental pollution, cultivation, and production processes in China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 219.

Chmiel M, Roszko M, Adamczak L, Florowski T, Pietrzak D (2019). Influence of storage and packaging method on chicken breast meat chemical composition and fat oxidation, *Poult. Sci.*, **98(6)**, 2679-2690.

Choudhury S, Chatterjee A (2022). Microbial application in remediation of heavy metals: an overview. *Arch. Microbiol.*, **204**, 268.

Clinquart A, Ellies-Oury M, Hocquette J, Guillier L, Santé-Lhoutellier V, Prache S (2022). On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. *Animal*, **16**, 100426.

Costa F, Coelho JP, Baptista J, Martinho F, Pereira ME, Pardal MA (2020). Mercury accumulation in fish species along the Portuguese coast: Are there potential risks to human health? *Mar. Pollut. Bull.*, **150**, 110740.

Cubadda F, Iacoponi F, Ferraris F, D'Amato M, Aureli F, Raggi A, Sette S, Turrini A, Mantovani A (2020). Dietary exposure of the Italian population to nickel: The national Total Diet Study. *Food Chem. Toxicol.*, **146**, 111813.

Czarnek K, Terpilowska S, Siwicki AK (2015). Selected aspects of the action of cobalt ions in the human body. *Cent. Eur. J. Immunol.*, **40(2)**, 236-242.

Darwish WS, Atia AS, Khedr MHE, Eldin WFS (2018). Metal contamination in quail meat: residues, sources, molecular biomarkers, and human health risk assessment. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **25**, 20106-20115.

Delgado J, Ansorena D, Hecke TV, Astiasarán I, Smet SD, Estévez M (2021). Meat lipids, NaCl and carnitine: Do they unveil the conundrum of the association between red and processed meat intake and cardiovascular diseases? Invited Review. *Meat Sci.*, **171**, 108278.

Demirezen D, Uruc K (2006). Comparative study of trace elements in certain fish, meat and meat products. *Meat Sci.*, **74**, 255-260.

Des Marias TL, Costa M (2019). Mechanisms of chromium-induced toxicity. *Curr. Opin. Toxicol.*, **14**, 1-7.

de Souza Ramos B, Pestana IA, Kaldas D, Azevedo LS, Almeida MG, Souza CMM (2019). Exposure to toxic and essential trace elements through the intake of processed and meat cuts (beef and chicken) in southeastern Brazil. *Environ. Monit. Assess.*, **191(8)**, 477.

Dhanakumar S, Solaraj G, Mohanraj R (2016). India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **113**, 145-151.

Di Bella C, Traina A, Giosuè C, Carpintieri D, Lo Dico G M, Bellante A, Del Core M, Falco F, Gherardi S, Uccello MM, Ferrantelli V (2020). Heavy metals and pahs in meat, milk, and seafood from augusta area (Southern Italy): Contamination levels, dietary intake, and human exposure assessment. *Front. Public Health.*, **8**, 273.

Djahed B, Taghavi M, Farzadkia M, Norzaee S, Miri M (2018). Stochastic exposure and health risk assessment of rice contamination to the heavy metals in the market of Iranshahr, Iran. *Food Chem. Toxicol.*, **115**, 405-412.

Durmuş M (2019). Evaluation of nutritional and mineral-heavy metal contents of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the middle Black Sea in terms of human health. *Biol. Trace Elem. Res.*, **190**, 208-216.

EC- European Commission (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF> - (Erişim Tarihi: 21.12.2022).

EFSA - European Food Safety Authority (2012). Scientific opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA J.*, **10(12)**, 2985.

El-Sherbiny HMM, Sallam KI (2021). Residual contents and health risk assessment of mercury, lead and cadmium in sardine and mackerel from the Mediterranean Sea Coast, Egypt. *J. Food Compos. Anal.*, **96**, 103749.

Emami MH, Saberi F, Mohammadzadeh S, Fahim A, Abdolvand M, Dehkordi SAE, Mohammadzadeh S, Maghool F (2023). A review of heavy metals accumulation in red meat and meat products in the Middle East. *J. Food Prot.*, **86(3)**, 100048.

Engwa GA, Nwalo NF, Unachukwu M, Okeke P (2019). Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. *Intechopen.*, 82511.

EPA- U.S. Environmental Protection Agency (2018). SW-846 Test Method 6010D: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-6010d-inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectrometry-icp-oes> (Erişim Tarihi: 10.05.2022)

Ertani A, Mietto A, Borin M, Nardi S (2017). Chromium in agricultural soils and crops: a review. *Water Air Soil Pollut.*, **228**, 190.

Fahimirad S, Hatami M (2017). Heavy metal-mediated changes in growth and phytochemicals of edible and medicinal plants. In: Ghorbanpour M, Varma A (Eds), Medicinal plants and environmental challenges. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-68717-9_11

Farcasanu IC, Popa CV, Ruta LL (2018). *Calcium and cell response to heavy metals: Can yeast provide answer?* In: Buchholz JN, Erik J. Behringer (Eds), Calcium and Signal Transduction. DOI: 10.5772/intechopen.78941

Filipoiu DC, Bungau SG, Endres L, Negru PA, Bungau AF, Pasca B, Radu A-F, Tarce AG, Bogdan MA, Behl T, Nechifor AC, Hassan SSu, Tit DM (2022). Characterization of the toxicological impact of heavy metals on human health in conjunction with modern analytical methods. *Toxics*, **10**, 716.

Filippini T, Wise LA, Vinceti M (2022). Cadmium exposure and risk of diabetes and prediabetes: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Environ. Int.*, **158**, 106920.

Fu Z, Xi S (2020). The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol. Mech. Methods.*, **30**(3), 167-176.

Geissler C, Singh M (2011). Iron, meat and health. *Nutrients*, **3**, 283-316.

Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A (2020a). The effects of cadmium toxicity. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **17**(11), 3782.

Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A (2020b). Nickel: human health and environmental toxicology. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **17**(3), 679.

Gharibzahedi SMT, Jafari SM (2017). The importance of minerals in human nutrition: bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends Food Sci. Technol.*, **62**, 119-132.

González N, Marquès M, Nadal M, Domingo JL (2020). Meat consumption: which are the current global risks? a review of recent (2010-2020) evidences. *Food Res. Int.*, **137**, 109341.

Güler Ü, Can Ö (2017). Kimyasal kontaminantların çevre sağlığı ve gıdalar üzerine etkileri. *Sinop Uni. J. Nat. Sci.*, **2**(1), 170-195.

Ha E, Basu N, Bose-O'Reilly S, Dórea JG, McSorley E, Sakamoto M, Chan HM (2017). Current progress on understanding the impact of mercury on human health. *Environ. Res.*, **152**, 419-433.

Halagarda M, Wójciak KM (2022). Health and safety aspects of traditional european meat products. *Meat Sci.*, **184**, 108623.

Hamilton EM, Young SD, Bailey EH, Watts MJ (2018). Chromium speciation in foodstuffs: a review. *Food Chem.*, **250**, 105-112.

Han JL, Pan XD, Chen Q (2022). Distribution and safety assessment of heavy metals in fresh meat from Zhejiang, China. *Sci. Rep.*, **12**, 3241.

Hejna M, Gottardo D, Baldi A, Dell'Orto V, Cheli F, Zaninelli M, Rossi L (2018). Nutritional ecology of heavy metals. *Animal*, **12**(10), 2156-2170.

Hu B, Shao S, Ni H, Fu Z, Hu L, Zhou Y, Min X, She S, Chen S, Huang M, Zhou L, Li Y, Shi Z (2020). Current status, spatial features, health risks, and potential driving factors of soil heavy metal pollution in China at province level. *Environ. Pollut.*, **266(3)**, 114961

Huat TJ, Camats-Perna J, Newcombe EA, Valmas N, Kitazawa M, Medeiros R (2019). Metal toxicity links to alzheimer's disease and neuroinflammation. *J. Mol. Biol.*, **431(9)**, 1843-1868.

Hurrell R, Egli I (2010). Iron bioavailability and dietary reference values. *Am. J. Clin. Nutr.*, **91(5)**, 1461-1467.

Hussain S, Khan M, Sheikh TMM, Mumtaz MZ, Chohan TA, Shamim S, Liu Y (2022). Zinc essentiality, toxicity, and its bacterial bioremediation: a comprehensive insight. *Front. Microbiol.*, **13**, 900740.

IARC (2012). Nickel and nickel compounds. *IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risk Hum.*, **100 C**, 169-218. <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-10.pdf> (Erişim Tarihi: 15.08.2022)

IARC (2015). Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat. Lyon, France. International Agency for Research on Cancer. https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr240_E.pdf (Erişim Tarihi: 02.06.2022).

IARC (2023). List of classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans, IARC Monographs Volumes 1-133^a <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>

Jadán-Piedra C, Chiocchetti GM, Clemente MJ, Vélez D, Devesa V (2018). Dietary compounds as modulators of metals and metalloids toxicity. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **58(12)**, 2055-2067.

Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol.*, **7(2)**, 60-72.

Jan AT, Azam M, Siddiqui K, Ali A, Choi I, Haq QM (2015). Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *Int. J. Mol. Sci.*, **16(12)**, 29592-29630.

Javaid S, Zaman QU, Sultan K, Riaz U, Aslam A, Sharif S, Ehsan N, Aslam S, Jamil A, Ibraheem S (2020). Heavy metals stress, mechanism and remediation techniques in rice (*Oryza sativa* L.): A review. *Pure And Applied Biology (PAB)*., **9(1)**, 403-426.

JECFA-Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (1982). Evaluation of certain food additives and contaminants: WHO Food Additives Series, 683.

JECFA-Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (1983). Evaluation of certain food additives and contaminants: WHO Food Additives Series, 696.

JECFA-Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2007). Evaluation of certain food additives and contaminants: WHO Food Additives Series, 940.

JECFA-Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2011). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additives Series, 64.

JECFA-Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2021). Evaluation of certain food additives and contaminants? WHO Food Additives Series, 1036.

Junaid M, Hashmi MZ, Malik RN, Pei DS (2016). Toxicity and oxidative stress induced by chromium in workers exposed from different occupational settings around the globe: A review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **23**, 20151-20167.

Kalipci E, Cüce H, Ustaoglu F, Dereli MA, Türkmen M (2023). Toxicological health risk analysis of hazardous trace elements accumulation in the edible fish species of the Black Sea in Türkiye using multivariate statistical and spatial assessment. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, **97**, 104028.

Kasozi KI, Hamira Y, Zirintunda G, Alsharif KF, Altalbawy FMA, Ekou J, Tamale A, Matama K, Ssempijja F, Muyinda R, Kawooya F, Pius T, Kisakye H, Bogere P, Matovu H, Omadang L, Etiang P, Mbogua J, Ochieng JJ, Osuwat LO, Mujinya R, Batiha GS, Otim O (2021). Descriptive analysis of heavy metals content of beef from eastern Uganda and their safety for public consumption. *Front. Nutr.*, **8**, 592340.

Katare B, Wang HH, Lawing J, Hao N, Park T, Wetzstein M (2020). Toward optimal meat consumption. *Am. J. Agric. Econ.*, **102**(2), 662-68.

Khan SR, Sharma B, Chawla PA, Bhatia R (2022). Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES): a powerful analytical technique for elemental analysis. *Food Anal. Methods.*, **15**, 666-688.

Kim HS, Kim YJ, Seo YR (2015). An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. *J. Cancer Prev.*, **20**(4), 232-240.

Kim KH, Kabir E, Jahan SA (2016). A review on the distribution of Hg in the environment and its human health impacts. *J. Hazard. Mater.*, **306**, 376-385.

Krewski D, Yokel RA, Nieboer E, Borchelt D, Cohen J, Harry J, Kacew S, Lindsay J, Mahfouz AM, Rondeau V (2007). Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *J. Toxicol. Environ. Health. B Crit. Rev.*, **10** (S1), 1-269.

Kumar A, Kumar A, Cabral Pinto MMS, Chaturvedi AK, Shabnam AA, Subrahmanyam G, Mondal R, Gupta DK, Malyan SK, Kumar SS, Khan, SA, Krishna KY (2020). Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **17(7)**, 2179.

Laidlaw MAS, Filippelli GM, Brown S, Paz-Ferreiro J, Reichman SM, Netherway P, Truskewycz A, Ball AS, Mielke HW (2017). Case studies and evidence-based approaches to addressing urban soil lead contamination. *Appl. Geochem.*, **83**, 14-30.

Leyssens L, Vinck B, Straeten CVD, Wuyts F, Maes L (2017). Cobalt toxicity in humans-a review of the potential sources and systemic health effects. *Toxicol.*, **387**, 43-56.

Li WC, Tse HF (2015). Health risk and significance of mercury in the environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **22**, 192–201.

Li HB, Wang JY, Chen XQ, Li YP, Fan J, Ren JH, Luo XS, Juhasz AL, Ma LQ (2020). Geogenic nickel exposure from food consumption and soil ingestion: a bioavailability based assessment. *Environ. Pollut.*, **265(B)**, 114873.

Lin HJ, Sung T, Chen CY, Guo HR (2013). Arsenic levels in drinking water and mortality of liver cancer in Taiwan. *J. Hazard. Mater.*, **262**, 1132-1138.

Ludolph C, Kierdorf U, Kierdorf H (2021). Lead concentrations in antlers of European roe deer (*Capreolus capreolus*) from an agricultural area in Northern Germany over a 119-year period-a historical biomonitoring study. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, **28(40)**, 56069-56078.

Lynch S, Pfeiffer CM, Georgieff MK, Brittenham G, Fairweather-Tait S, Hurrell RF, McArdle HJ, Raiten DJ (2018). Biomarkers of nutrition for development (BOND)-iron review. *J. Nutr.*, **148(1)**, 1001-1067.

Maaßen C, Forster S, Stolle A (2003). Aluminum in selected meat products and ingredients thereof: contents and introductory routes. *Arch. Lebensmittelhyg.*, **54(1)**, 13-15.

Mahjoub M, Fadlaoui S, El Maadoudi M, Youssef Smiri Y (2021). Mercury, lead, and cadmium in the muscles of five fish species from the Mechraa-Hammadi Dam in Morocco and health risks for their consumers. *J. Toxicol.*, 2021, Article ID 8865869.

Marangoni F, Corsello G, Cricelli C, Ferrara N, Ghiselli A, Lucchin L, Poli A (2015). Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document. *Food Nutr. Res.*, **59(1)**, DOI: [10.3402/fnr.v59.27606](https://doi.org/10.3402/fnr.v59.27606).

Marreiro DDN, Cruz KJC, Morais JBS, Beserra JB, Severo JS, De Oliveira ARS (2017). Zinc and oxidative stress: current mechanisms. *Antioxidants* **6**, 24.

Marrugo-Negrete J, Vargas-Licon S, Ruiz-Guzmán JA, Marrugo-Madrid S, Bravo AG, Díez S (2020). Human health risk of methylmercury from fish consumption at the largest floodplain in Colombia. *Environ. Res.*, **182**, 109050.

Masindi V, Muedi KL (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. In: Saleh HM, Aglan RF (Eds.), *Heavy Metals*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>

Mathaiyan M, Natarajan A, Xavier Rajarathinam, Rajeshkumar S (2021). Assessment of Pb, Cd, As and Hg concentration in edible parts of broiler in major metropolitan cities of Tamil Nadu, India. *Toxicology Reports.*, **8**, 668-675.

Maywald M, Wessels I, Rink L (2017). Zinc signals and immunity. *Int. J. Mol. Sci.*, **18**, 2222.

Mezynska M, Brzóska MM (2018). Environmental exposure to cadmium-a risk for health of the general population in industrialized countries and preventive strategies. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **25**, 3211-3232.

Mitra S, Chakraborty AJ, Tareq MA, Emran TB, Nainu F, Khusro A, Idris MA, Khandaker MU, Osman H, Alhumaydhi FA, Simal-Gandara J (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: novel therapeutic insights to counter the toxicity. *J. King Saud Univ. Sci.*, **34(3)**, 101865.

Moiseenko TI, Gashkina NA (2020). Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: influence of the aquatic environment and climate. *Environ. Res. Lett.*, **15**, 115013.

Monclús L, Shore RF, Krone O (2020). Lead contamination in raptors in Europe: a systematic review and meta-analysis. *Sci. Total Environ.*, **748**, 141437.

Morshdy AEMA, Darwish WS, Daoud JRM, Sebak MAM (2019). Estimation of metal residues in *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus* intended for human consumption in Egypt: a health risk assessment study with some reduction trials. *J. Consum. Prot. Food Saf.*, **14**, 81-91.

Mutlu T (2021). Heavy metal concentrations in the edible tissues of some commercial fishes caught along the Eastern Black Sea coast of Turkey and the health risk assessment. *Spectrosc. Lett.*, **54(6)**, 437-445.

Norhazirah AA, Shazili NAM, Kamaruzzaman Y, Sim SF, Ahmad A, Ong MC (2020). Heavy metals in tuna species meat and potential consumer health risk: a review. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, **494**, 012013.

Novaes CG, Bezerra MA, Silva EGP, Santos AMP, Romão ILS, Neto JHS (2016). A review of multivariate designs applied to the optimization of methods based on inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES). *Microchem. J.*, **128**, 331-346.

Odoh R, Ogah E. Ushie OA (2016). Determination of some heavy metal profiles in meat of domesticated animals in the vicinity of Kaduna south industrial area, Nigeria. *FTSTJ*, **1(2)**, 337-343.

Ogut S, Secilmis Canbay H, Uludağ H (2016). Effect of environmental factors on heavy metal content of raw milk. *Akademik Gıda*, **14(2)**, 105-110.

Okati N, Shahriari Moghadam M, Einollahipeer F (2021). Mercury, arsenic and selenium concentrations in marine fish species from the Oman Sea, Iran, and health risk assessment. *Toxicol. Environ. Health Sci.*, **13**, 25-36.

Okereafor U, Makhatha M, Mekuto L, Uche-Okereafor N, Sebola T, Mavumengwana V (2020). Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **17(7)**, 2204.

Oladoye PO, Olowe OM, Asemoloye MD (2022). Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: a review of literature, *Chemosphere*, **288(2)**, 132555.

Özbolat G, Tuli A (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Derg.*, **25(4)**, 502-521.

Özvar N (2021). *İskenderun körfezi'nden avlanıp tüketime sunulan balık türlerindeki ağır metal düzeyleri.* Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Türkiye.

Pereira PMCC, Vicente AFRB (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Sci.*, **93(3)**, 586-592.

Plum LM, Rink L, Haase H (2010). The essential toxin: impact of zinc on human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **7**, 1342-1365.

Qin G, Niu Z, Yu J, Li Z, Ma J, Xiang P (2021). Soil heavy metal pollution and food safety in China: effects, sources and removing technology. *Chemosphere*, **267**, 129205.

Raeeszadeh M, Gravandi H, Akbari A (2022). Determination of some heavy metals levels in the meat of animal species (sheep, beef, turkey, and ostrich) and carcinogenic health risk assessment in Kurdistan province in the west of Iran. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **29**, 62248–62258.

Rehman K, Fatima F, Waheed I, Akash MSH (2017). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J. Cell. Biochem.*, **119**, 157–184.

Rizvi A, Zaidi A, Ameen F, Ahmed B, AlKahtani MDF, Khan MS (2020). Heavy metal induced stress on wheat: phytotoxicity and microbiological management. *RSC Adv.*, **10**, 38379-38403

Romaña DL, Olivares M, Uauy R, Araya M (2011). Risks and benefits of copper in light of new insights of copper homeostasis. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, **25**(1), 3-13.

Royer A, Sharman T (2021). Copper toxicity. In: StatPearls. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557456/#_NBK557456_pubdet (Erişim Tarihi: 11.02.2022).

Ruz M, Carrasco F, Rojas P, Basfi-fer K, Hernándezl MC, Pérez A (2019). Nutritional effects of zinc on metabolic syndrome and type 2 diabetes: mechanisms and main findings in human studies. *Biol. Trace Elem. Res.*, **188**, 177-188.

Sall ML, Diaw AKD, Gningue-Sall D, Aaron SE, Aaron JJ (2020). Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **27**, 29927-29942.

Sandstead HH (2013). Human zinc deficiency: discovery to initial translation. *Adv. Nutr.*, **4**, 76-81.

Satarug S, Vesey DA, Gobe GC (2017). Current health risk assessment practice for dietary cadmium: data from different countries. *Food Chem. Toxicol.*, **106**, 430-445.

Satarug S (2018). Dietary cadmium intake and its effects on kidneys. *Toxics*, **6**(1), 15.

Schaefer HR, Dennis S, Fitzpatrick S (2020). Cadmium: mitigation strategies to reduce dietary exposure. *J. Food Sci.*, **85**, 260-267.

Schlutow A, Schröder W (2021). Comparison of existing legal assessment values for heavy metal deposition in Western Europe and calculation of assessment values for Luxembourg. *Atmosphere*, **12**(11), 1455.

Seferoğlu Y (2020). *Büyük menderes nehri batıköy mevkiinde su, sediment ve kefal balık (mugilidae sp.) dokularında bazı ağır metal düzeylerinin araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Türkiye.

Seman D, Boler D, Carr C, Dikeman M, Owens C, Keeton J, Pringle T, Sindelar J, Woerner D, de Mello A, Powell T (2018). Meat science lexicon. *Meat Muscle Biol.*, **2**(3), 1-15.

Sharma I (2020). ICP-OES: an advance tool in biological research. *Open J. Environ. Biol.*, **5**(1), 027-033.

Simonsen LO, Harbak H, Bennekou P (2012). Cobalt metabolism and toxicology-a brief update. *Sci. Total Enviro.*, **432**, 210-215.

Ślota M, Waśik M, Stołtny T, Machoń-Grecka A, Kasperczyk S (2022). Effects of environmental and occupational lead toxicity and its association with iron metabolism. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **434**, 115794.

Smet S, Vossen E (2016). Meat: the balance between nutrition and health. A review. *Meat Sci.*, **120**, 145-156.

Sun H, Brocato J, Costa M (2015). Oral chromium exposure and toxicity. *Curr. Envir. Health Rpt.*, **2**, 295–303..

Sundseth K, Pacyna JM, Pacyna EG, Pirrone N, Thorne RJ (2017). Global sources and pathways of mercury in the context of human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **14**, 105.

Sünbül MR (2019). *Kahramanmaraş'ta tüketilen balıklarda ağır metal düzeylerinin belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Türkiye.

TGK- Türk Gıda Kodeksi (2011). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Resmi Gazete Sayı: 28157 (3. Mükerrer), 29 Aralık 2011.
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-8.htm>

Tilami SK, Sampels S (2018). Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals. *Rev. Fish. Sci. Aquac.*, **26(2)**, 243-253.

Tinkov AA, Filippini T, Ajsuvakova OP, Aaseth J, Gluhcheva YG, Ivanova JM , Bjørklund G, Skalnaya MG, Gatiatulina ER, Popova EV, Nemereshina ON, Vinceti M, Skalny AV (2017). The role of cadmium in obesity and diabetes. *Sci. Total Environ.*, **601-602**, 741-755.

Topal T ve Onac C (2020). Determination of heavy metals and pesticides in different types of fish samples collected from four different locations of aegean and Marmara Sea. *Journal of Food Quality.*, **2020**, 8101532.

Verma N, Sharma R (2017). Bioremediation of toxic heavy metals: A patent review. *Recent Pat. Biotechnol.*, **11(2)**, 102174.

Wang Y, Su H, Gu Y, Song X, Zhao J (2017). Carcinogenicity of chromium and chemoprevention: A brief update. *Onco Targets Ther.*, **10**, 4065-4079.

Wang X, ZhangY, Geng Z, Liu Y, Guo L, Xiao G (2019). Spatial analysis of heavy metals in meat products in China during 2015-2017. *Food Control*, **104**, 174-180.

Wang L, Peng X, Fu H, Huang C, Li Y, Liu Z (2020). Recent advances in the development of electrochemical aptasensors for detection of heavy metals in food. *Biosens. Bioelectron.*, **147**, 111777.

Wang Y, Li L, Yao C, Tian X, Wu Y, Xie Q, Wang D (2021). Mercury in human hair and its implications for health investigation. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health.*, **22**, 100271.

WHO - World Health Organization (1987). Principles for the safety assessment of food additives and contaminants in food, environmental health criteria. Erişim: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37578/9241542705-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Erişim tarihi: 18.11.2022).

WHO - World Health Organization (2020). Food safety. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).

Wong C, Roberts SM, Saab IN (2022). Review of regulatory reference values and background levels for heavy metals in the human diet. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **130**, 105122.

Xu T, Gao X, Liu G (2016). The Antagonistic effect of selenium on lead toxicity is related to the ion profile in chicken liver. *Biol. Trace Elem. Res.*, **169**, 365-373.

Yang L, Zhang Y, Wang F, Luo Z, Guo S, Strähle U (2020). Toxicity of mercury: molecular evidence. *Chemosphere.*, **245**, 125586.

Young JL, Cai L (2020). Implications for prenatal cadmium exposure and adverse health outcomes in adulthood. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **403**, 115161.

Zambelli B, Uversky VN, Ciurli S (2016). Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective. *Biochim. Biophys. Acta*, **1864** (12), 1714-1731.

Zukowska J, Biziuk M (2008). Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *J. Food Sci.*, **73**(2), 21-29.

Zwolak A, Sarzyńska M, Szpyrka E, Stawarczyk K (2019). Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: a review. *Water Air Soil Pollut.*, **230**, 164.

Özbolat G, Tuli A (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. Arşiv Kaynak Tarama Derg., **25**(4), 502-521.

Özvar N(2021). *İskenderun körfezi'nden avlanıp tüketime sunulan balık türlerindeki ağır metal düzeyleri.* Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Türkiye.

Qin G, Niu Z, Yu J, Li Z, Ma J, Xiang P (2021). Soil heavy metal pollution and food safety in China: effects, sources and removing technology. *Chemosphere*, **267**, 129205.

Pereira PMCC, Vicente AFRB (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Sci.*, **93**(3), 586-592.

Plum LM, Rink L, Haase H (2010). The essential toxin: impact of zinc on human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **7**, 1342-1365.

Raeeszadeh M, Gravandi H, Akbari A (2022). Determination of some heavy metals levels in the meat of animal species (sheep, beef, turkey, and ostrich) and carcinogenic health risk assessment in Kurdistan province in the west of Iran. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **29**, 62248–62258.

Rehman K, Fatima F, Waheed I, Akash MSH (2017). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J. Cell. Biochem.*, **119**, 157–184.

Rizvi A, Zaidi A, Ameen F, Ahmed B, AlKahtani MDF, Khan MS (2020). Heavy metal induced stress on wheat: phytotoxicity and microbiological management. *RSC Adv.*, **10**, 38379-38403

Romaña DL, Olivares M, Uauy R, Araya M (2011). Risks and benefits of copper in light of new insights of copper homeostasis. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, **25**(1), 3-13.

Royer A, Sharman T (2021). Copper Toxicity. In: StatPearls. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557456/#_NBK557456_pubdet (Erişim Tarihi: 11.02.2022).

Ruz M, Carrasco F, Rojas P, Basfi-fer K, Hernándezl MC, Pérez A (2019). Nutritional effects of zinc on metabolic syndrome and type 2 diabetes: mechanisms and main findings in human studies. *Biol. Trace Elem. Res.*, **188**, 177–188.

Sall ML, Diaw AKD, Gningue-Sall D, Aaron SE, Aaron JJ (2020). Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **27**, 29927-29942.

Sandstead HH (2013). Human zinc deficiency: discovery to initial translation. *Adv. Nutr.*, **4**, 76-81.

Satarug S, Vesey DA, Gobe GC (2017). Current health risk assessment practice for dietary cadmium: data from different countries. *Food Chem. Toxicol.*, **106**, 430-445.

Satarug S (2018). Dietary cadmium intake and its effects on kidneys. *Toxics*, **6**(1), 15.

Schaefer HR, Dennis S, Fitzpatrick S (2020). Cadmium: mitigation strategies to reduce dietary exposure. *J. Food Sci.*, **85**, 260-267.

Schlutow A, Schröder W (2021). Comparison of existing legal assessment values for heavy metal deposition in Western Europe and calculation of assessment values for Luxembourg. *Atmosphere*, **12**(11), 1455.

Seferoğlu Y (2020). *Büyük menderes nehri batıköy mevkiinde su, sediment ve kefal balık (mugilidae sp.) dokularında bazı ağır metal düzeylerinin araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Türkiye.

Seman D, Boler D, Carr C, Dikeman M, Owens C, Keeton J, Pringle T, Sindelar J, Woerner D, de Mello A, Powell T (2018). Meat science lexicon. *Meat Muscle Biol.*, **2**(3), 1-15.

Sharma I (2020). ICP-OES: an advance tool in biological research. *Open J. Environ. Biol.*, **5**(1), 027-033.

Simonsen LO, Harbak H, Bennekou P (2012). Cobalt metabolism and toxicology-a brief update. *Sci. Total Enviro.*, **432**, 210-215.

Ślota M, Waśik M, Stołtny T, Machoń-Grecka A, Kasperczyk S (2022). Effects of environmental and occupational lead toxicity and its association with iron metabolism. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **434**, 115794.

Smet S, Vossen E (2016). Meat: the balance between nutrition and health. A review. *Meat Sci.*, **120**, 145-156.

Sun H, Brocato J, Costa M (2015). Oral chromium exposure and toxicity. *Curr. Envir. Health Rpt.*, **2**, 295–303..

Sundseth K, Pacyna JM, Pacyna EG, Pirrone N, Thorne RJ (2017). Global sources and pathways of mercury in the context of human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **14**, 105.

Sünbül MR (2019). *Kahramanmaraş'ta tüketilen balıklarda ağır metal düzeylerinin belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Türkiye.

TGK (2011). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Resmi Gazete Sayı: 28157 (3. Mükerrer), 29 Aralık 2011. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-8.htm>

Tilami SK, Sampels S (2018). Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals. *Rev. Fish. Sci. Aquac.*, **26(2)**, 243-253.

Tinkov AA, Filippini T, Ajsuvakova OP, Aaseth J, Gluhcheva YG, Ivanova JM , Bjørklund G, Skalnaya MG, Gatiatulina ER, Popova EV, Nemereshina ON, Vinceti M, Skalny AV (2017). The role of cadmium in obesity and diabetes. *Sci. Total Environ.*, **601-602**, 741-755.

Topal T ve Onac C (2020). Determination of heavy metals and pesticides in different types of fish samples collected from four different locations of aegean and Marmara Sea. *Journal of Food Quality.*, **2020**, 8101532.

Verma N, Sharma R (2017). Bioremediation of toxic heavy metals: A patent review. *Recent Pat. Biotechnol.*, **11(2)**, 102174.

Wang Y, Su H, Gu Y, Song X, Zhao J (2017). Carcinogenicity of chromium and chemoprevention: A brief update. *Onco Targets Ther.*, **10**, 4065-4079.

Wang X, ZhangY, Geng Z, Liu Y, Guo L, Xiao G (2019). Spatial analysis of heavy metals in meat products in China during 2015-2017. *Food Control*, **104**, 174-180.

Wang L, Peng X, Fu H, Huang C, Li Y, Liu Z (2020). Recent advances in the development of electrochemical aptasensors for detection of heavy metals in food. *Biosens. Bioelectron.*, **147**, 111777.

Wang Y, Li L, Yao C, Tian X, Wu Y, Xie Q, Wang D (2021). Mercury in human hair and its implications for health investigation. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health.*, **22**, 100271.

WHO - World Health Organization (1987). Principles for the safety assessment of food additives and contaminants in food, environmental health criteria. Erişim: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37578/9241542705-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Erişim tarihi: 18.11.2022)

WHO - World Health Organization (2020). Food safety. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety> (Erişim Tarihi: 30.04.2021)

Wong C, Roberts SM, Saab IN (2022). Review of regulatory reference values and background levels for heavy metals in the human diet. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **130**, 105122.

Xu T, Gao X, Liu G (2016). The Antagonistic effect of selenium on lead toxicity is related to the ion profile in chicken liver. *Biol. Trace Elem. Res.*, **169**, 365-373.

Yang L, Zhang Y, Wang F, Luo Z, Guo S, Strähle U (2020). Toxicity of mercury: molecular evidence. *Chemosphere.*, **245**, 125586.

Young JL, Cai L (2020). Implications for prenatal cadmium exposure and adverse health outcomes in adulthood. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **403**, 115161.

Zambelli B, Uversky VN, Ciurli S (2016). Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective. *Biochim. Biophys. Acta*, **1864** (12), 1714-1731.

Zukowska J, Biziuk M (2008). Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *J. Food Sci.*, **73**(2), 21-29.

Zwolak A, Sarzyńska M, Szpyrka E, Stawarczyk K (2019). Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: a review. *Water Air Soil Pollut.*, **230**, 164.

