

**SIĞIR SAKATAT VE KASLARINDA İZ ELEMENT
İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Hayrunnisa ÖZLÜ

Yüksek Lisans Tezi

Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mustafa ATASEVER

2009

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI

SIĞIR SAKATAT VE KASLARINDA İZ ELEMENT İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ

Hayrunnisa ÖZLÜ

Tez Yöneticisi

Prof. Dr. Mustafa ATASEVER

Yüksek Lisans Tezi

ERZURUM-2009

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
SİMGELER ve KISALTMALAR	II
TABLolar DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Sığır Et ve Sakatatının Mineral Bileşimi	5
2.2. İz Elementler	14
2.2.1. Demir	16
2.2.2. Çinko.....	19
2.2.3. Bakır.....	22
2.2.4. Kurşun.....	24
2.2.5. Kadmiyum	26
2.3. Mineral Madde Analizleri.....	29
2.3.1. Yakma (Çözünürleştirme) Teknikleri	30
2.3.1.1. Kuru Yakma.....	30
2.3.1.2. Yaş Yakma.....	30
2.3.1.3. Mikrodalga Yakma	31
2.3.2. Atomik (Optik) Emisyon Spektroskopisi	32
2.3.2.1. Doğru Akım Plazma	33

2.3.2.2. Mikrodalga Eşleşmiş Plazma	34
2.3.2.3. Kapasitif Eşleşmiş Mikrodalga Plazma	34
2.3.2.4. İndüktif Eşleşmiş Plazma.....	34
2.3.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik (Optik) Emisyon Spektroskopisi.....	35
2.3.3.1. ICP-AES Tekniğinde Örneğin Analize Verilmesi	35
2.3.3.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kaynağı	37
3. MATERYAL ve YÖNTEM	41
3.1. Örneklerin Toplanması	41
3.2. Örneklerin Hazırlanması.....	41
3.3. Standart Çözeltilerin Hazırlanması	42
3.4. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar	42
3.5. Örneklerin Analizi	43
3.6. İstatistiksel Analiz.....	44
4. BULGULAR.....	45
4.1. Sığır Sakatat ve Kaslarında Yaşa Göre İz Element İçerikleri.....	45
4.2. Sığır Sakatat ve Kaslarında Irka Göre İz Element İçerikleri	49
4.3. Sığır Sakatat ve Kaslarında İz Element İçerikleri.....	54
4.4. Yaş ve Irka Göre Sığır Et ve Sakatatında İz Element İçeriği	58
5. TARTIŞMA	61
6. SONUÇ	65
KAYNAKLAR	66

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren ve her türlü desteği sağlayan Atatürk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dekanı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa ATASEVER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bilgilerinden faydalandığım Atatürk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Ziya Gökalp CEYLAN'a, çalışmamda yardımcı olan Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof Dr. M. Şahin GÜLABOĞLU'na, çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen arkadaşım Araştırma Görevlisi Sayın Meryem ATASEVER'e, laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan 9. Kolordu A Tipi Gıda Kontrol Müfreze Komutanlığı personeli Gıda Mühendisi Sayın Selçuk DİLER'e, Sayın Yzb. Korhan ÖZTURAN'a, Sayın Yzb. Cemal ÜNSAL'a ve Erzurum Hıfzısıhha Enstitüsü Bölge Müdürü Sayın Erhan DUDU'ya ve personeli Mucip TORTUM'a, çalışmamda kullandığım örneklerin teminin edilmesinde yardımcı olan Erzurum Et Kombinası Müdürü Veteriner Hekim Sayın İsmail ATASEVER'e ve kurum personeline teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmam esnasında teşvik, ilgi ve desteklerini esirgemeyen eşim Sayın Atilla ÖZLÜ'ye ve kızlarım B. Zehra ve A. Begüm'e teşekkür ederim.

Hayrunnisa ÖZLÜ

SİMGELER ve KISALTMALAR**Simgeler**

Al.....:Alüminyum

Ar:Argon

As:Arsenik

°C.....:Santigrat derece

Ca:Kalsiyum

Cd.....:Kadmiyum

Cl.....:Klor

Co.....:Kobalt

Cr.....:Krom

Cu.....:Bakır

F:Flor

Fe.....:Demir

Hg.....:Civa

HCl.....:Hidrojen klorür

HClO₄.....:Perklorik asit (Hidrojen klorat)

HF:Hidrojen florür

HNO₃.....:Nitrik asit

H₂O₂:Hidrojen peroksit

H₂SO₄.....:Sülfürik asit

I:İyot

K.....:Potasyum

°K:Kelvin derece

Mg.....:Magnezyum

Na.....:Sodyum

NaBH₄.....:Sodyum borhidrür

Ni.....:Nikel

P:Fosfor

Pb:Kurşun

S:Kükürt

Sb:Stibium (Antimon)

Sn:Kalay

Se.....:Selenyum

Zn:Çinko

Ti.....:Titanyum

V.....:Vanadyum

W.....:Volfram (Wolfram)

Kısaltmalar

AAS.....:Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

AES.....:Atomik Emisyon Spektroskopisi

cm³:Santimetreküp

d.....:Dakika

DAK.....:Doğu Anadolu Kırmızısı

EAR.....:East Anatolian Red

EPA.....:Enviromental Protection Agency

g.....:Gram

ICP-AES:İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik (Optik) Emisyon Spektroskopisi

ICP	İndüktif Eşleşmiş Plazma
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi
IQ	Intelligence Quantity
kg.....	Kilogram
kHz	Kilohertz
l	Litre
mg	Miligram
MHz	Megahertz
ml	Mililitre
MS.....	Kütle Spektrometresi
ng.....	Nanogram
nm	Nanometre
OES.....	Optik Emisyon Spektroskopisi
pH.....	Hidrojen iyon konsantrasyonu
ppb.....	Parts per billion
ppm	Parts per million
WHO.....	World Health Organization

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Makro ve Mikro Mineraller	2
Tablo 2. Sığır Etinde Bulunan Mineraller.....	5
Tablo 3. Sığır Sakatatlarının Kimyasal Bileşimi	7
Tablo 4. Kırsal ve Endüstriyel Alanda Büyüyen Sığırların Et ve Sakatatında Bulunan İz Element İçeriği (mg/kg)	11
Tablo 5. Sığırın Değerli Etlerinin İz Element İçeriği (mg/100 g).....	13
Tablo 6. Et ve Et Ürünlerinin İz Element İçeriği (µg/100g, kuru ağırlık).....	14
Tablo 7. Gıdaların Biyoyararlılığına Göre Tavsiye Edilen Demir Alınımı (mg/gün) ..	18
Tablo 8. ICP-AES ile Yapılan Element Tayinindeki Analiz Parametreleri	43
Tablo 9. İz Elementlerin Okuma Yapıldığı Dalga Boyları, Cihazın Okuma Aralığı ve Kalibrasyon Eğrilerinin Korelasyon Değerleri	44
Tablo 10. Sığırların Yaşa Göre Farklı Sakatat ve Kaslarındaki İz Element Miktarları ile Standart Sapmaları (mg/kg)	46
Tablo 11. Sığırların Irka Göre Farklı Sakatat ve Kaslarındaki İz Element İçerikleri ile Standart Sapmaları (mg/kg)	50
Tablo 12. Sığırların Farklı Sakatat ve Kaslarındaki İz Element Miktarları ile Standart Sapmaları (mg/kg)	54
Tablo 13. Sığır Sakatat ve Kaslarındaki Ortalama İz Element Miktarları ile Standart Sapmaları (mg/kg)	56
Tablo 14. Sığır Sakatatlarında Bulunan İz Elementler Arasındaki Korelasyon	57
Tablo 15. Sığır Kaslarında Bulunan İz Elementler Arasındaki Korelasyon.....	57
Tablo 16. Sığır Et ve Sakatatının Yaşa Göre İz Element İçerikleri ile Standart Sapmaları (mg/kg)	58

Tablo 17. Sığır Et ve Sakatatının Irka Göre İz Element İçerikleri ile Standart Sapmaları (mg/kg)	59
--	----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İndüktif Eşleşmiş Plazma	38
Şekil 2. Dikey Plazma.....	39
Şekil 3. Yatay Plazma	39
Şekil 4. Mikrodalga Yakma İşleminin Ön Hazırlık Aşaması	42
Şekil 5. Mikrodalga Yakma Cihazı.....	43
Şekil 6. ICP-AES	43
Şekil 7. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Fe İçeriği	45
Şekil 8. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Zn İçeriği	47
Şekil 9. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Cu İçeriği	47
Şekil 10. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Pb İçeriği.....	48
Şekil 11. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Cd İçeriği	49
Şekil 12. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Fe İçeriği	51
Şekil 13. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Zn İçeriği	51
Şekil 14. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Cu İçeriği.....	52
Şekil 15. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Pb İçeriği	53
Şekil 16. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Cd İçeriği.....	53
Şekil 17. Sığırların Farklı Sakatat ve Kaslarındaki İz Element İçerikleri.....	55
Şekil 18. Yaşa Göre Kas ve Sakatat Dokusundaki Ortalama İz Element İçerikleri	59
Şekil 19. Irka Göre Kas ve Sakatat Dokusundaki Ortalama İz Element İçerikleri.....	60

ÖZET

Sığır Sakatat ve Kaslarında İz Element İçeriğinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, sığır sakatat ve kas dokusundaki iz element içeriğinin yaş ve ırka bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Bu amaçla, Erzurum Et Kombinasyonu'ndan 7 adet Doğu Anadolu Kırmızısı ve 4 adet Montofon ırkı sığırın farklı sakatat (karaciğer, kalp ve böbrek) ve kaslarından (*M. longissimus dorsi*, *M. longissimus thoracis*, *M. psoas major*, *M. intercostalis internus*, *M. semispinalis capitis*, *M. biceps femoris*, *M. biceps brachii*) örnekler alınmıştır. Alınan 110 adet örnekte demir, çinko, bakır, kurşun ve kadmiyum miktarları indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-AES) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

İncelenen örneklerde, karaciğerin yaşa bağlı olarak Cu ve Cd içeriği ve sığır ırkına bağlı olarak da *M. longissimus dorsi* kasında Cu içeriği bakımından farklılık görülmüştür ($P<0,05$). Sığır sakatatlarındaki Fe, Cu ve Cd miktarları, kas dokularına oranla daha fazla bulunmasına karşın, yalnızca Fe ve Cd içeriklerinde farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). İz element miktarları sığır sakatatlarında Cu (56,88 ppm)>Fe (54,64 ppm)>Zn (34,29 ppm) >Pb (0,17 ppm)>Cd (0,08 ppm) şeklinde sıralanırken kas dokusunda Zn (53,25 ppm)>Cu (49,95 ppm) >Fe (26,97 ppm)>Pb (0,18 ppm)>Cd (0,03 ppm) şeklinde sıralanmıştır. En yüksek iz element miktarı 4 yaşındaki Doğu Anadolu Kırmızısı ırkı sığırların sakatatlarında belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sığır eti, Sakatat, İz element, ICP-AES

SUMMARY

Determination of trace elements in offals and muscles of beef

In this study, depending on the age and strain trace elements in offals and muscles of beef differences were investigated. The used samples in this study were taken from distinct offals (liver, kidney, heart) and muscles (*M. longissimus dorsi*, *M. longissimus thoracis*, *M. psoas major*, *M. intercostalis internus*, *M. semispinalis capitis*, *M. biceps femoris*, *M. biceps brachii*) of 7 East Anatolian Red and 4 Montofon cattle from Erzurum slaughterhouse. Concentrations of iron, copper, zinc, lead and cadmium of taken 110 samples were determined by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES).

The results obtained from this study showed that there were major differences in Cu and Cd concentrations between of age of cattles in the liver while in Cu concentration between of strain of cattles in the *M. longissimus dorsi* ($P<0.05$). Furthermore, the cattle offals had higher levels of Fe, Cu and Cd than the muscle tissues while there are differentes only Fe and Cd concentration ($P<0.05$). The order of trace elements in the offal samples of cattle and their concentration ranges in mg/kg (ppm) was Cu (56.88)>Fe (54.64)>Zn (34.29) >Pb (0.17)>Cd (0.08). On the other hand The order of trace elements in the muscle samples of cattle and their concentration ranges in mg/kg (ppm) was Zn (53.25)>Cu (49.95) >Fe (26.97)>Pb (0.18)>Cd (0.03). The highest trace element concentrations were obtained from offals of East Anatolian Red cattle in the 4 age group.

Key words: Beef, Offal, Trace element, ICP-AES

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Canlı organizmanın yapı taşı olan hücrelerin çoğalması, yenilenmesi ve büyüyüp gelişmesinde proteinlere, karbonhidratlara, yağlara, vitaminlere ve minerallere ihtiyaç duyulmaktadır. Mineraller, vücudun sağlıklı kalabilmesi ve birçok yaşamsal fonksiyonu sürdürebilmesi için gerekli olan kimyasal elementler ile bu elementlerin inorganik bileşikleridir. İnorganik bileşik olduklarından dolayı insan metabolizması tarafından sentezlenemezler¹.

Mikro besin öğelerinden biri olan mineraller metabolizmanın yaşamsal fonksiyonunu sürdürebilmesi için vücutta belirli bir oranda bulunması gereklidir. Yetişkin bir insanın vücut ağırlığının %4-6'sı mineral maddelerden oluşmaktadır^{2,3}. Ancak insan vücudu bazı minerallere (örn., kalsiyum, magnezyum, fosfor, kükürt, potasyum, sodyum, klor) diğer minerallerden (örn., demir, çinko, bakır, iyot, mangan, molibden, flor, selenyum, silikon, krom, lityum vb.) daha fazla oranda ihtiyaç duymaktadır. Vücudun sağlıklı olarak gelişebilmesi ve yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan başlıca mineraller demir, kalsiyum, potasyum, magnezyum, çinko, manganez, iyot, fosfor, bakır ve selenyumdur^{2,4}.

Mineraller; kemiklerin ve dişlerin oluşumunu sağlamakta, bağırsaktaki sindirim olaylarında metabolik aktif rol oynayarak gıdaların sindirimini kolaylaştırmakta ve enzimlerin aktif hale geçebilmesi için koenzim görevi yapmaktadır⁵. Aynı zamanda vitaminlerin en fazla ihtiyaç duyulan bölgeye ulaştırılması, kan basıncı, kalp ritmi, kas fonksiyonları, vücuttaki sıvı dengesinin muhafazası, üreme ve pek çok fonksiyonda da önemli rol oynamaktadır⁶.

Diyette ihtiyaç duyulan miktarlarına göre mineraller iki gruba ayrılmıştır (Tablo 1). İlki gıdalarla birlikte günlük alınımı 100 ppm veya üzerinde olan makro minerallerdir.

Bu mineraller, canlı hücrelerin faaliyet göstereceği uygun izotonik ortamın oluşmasında ve vücudun su dengesini sağlayan elektrolit dengesinde, kasların kasılmasında, karbonhidrat ve protein metabolizmasında görev almaktadır. Diğerleri ise 100 ppm'den daha az ihtiyaç duyulan mikro minerallerdir². İz element veya ağır metal olarak da bilinen bu mineraller^{7,8} metabolizmada birçok enzimin kofaktörü olarak faaliyet gösterir. Bu enzimler özellikle oksijenin taşınmasında, sinir uyarımlarının iletilmesinde, immun sistemde, büyüme ve gelişmede oldukça önemli fonksiyonlara sahiptir⁶.

Tablo 1. Makro ve Mikro Mineraller

Makro mineraller	Mikro mineraller
Kalsiyum (Ca)	Kobalt (Co)
Potasyum (K)	Manganez (Mn)
Magnezyum (Mg)	Bakır (Cu)
Sodyum (Na)	Molibden (Mo)
Fosfor (P)	Selenyum (Se)
Kükürt (S)	Krom (Cr)
Klor (Cl)	Çinko (Zn)
	İyot (I)
	Demir (Fe)
	Nikel (Ni)
	Flor (F)

Bazı minerallerin (örn., kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, bakır, çinko, kobalt, mangan) eksikliği canlılarda çeşitli semptomatik bozukluklara sebep olurken yüksek miktarlarda alınımı da toksisiteye neden olabilir. Özellikle endüstriyel atıklarla çevreye yayılan toksik elementler (örn., civa, kurşun, arsenik, kadmiyum) düşük miktarlarda bile canlı organizmada çok güçlü toksik etki gösterebilir^{9,10}. Bu elementlerin biyolojik yapılara bağlanması organizmada fonksiyonların değişmesine ve bozulmasına neden olabilir¹¹. Bu değişikliklerden bazıları; deride kızarıklık ve yanma, alerjik

reaksiyonlar, fizyolojik değişiklikler, dokunun zarar görmesi, üreme ve teratojenik etkiler, biyokimyasal lezyonlar ve mutajenik etkilerdir¹².

Büyüme, gelişme ve fizyolojik fonksiyonların yerine getirilmesinde bu kadar önemli bir yere sahip olan minerallerin canlı organizma tarafından mutlaka hayvansal veya bitkisel gıdalar ile alınması gerekmektedir². Ancak hayvansal gıdalardan sağlanan mineraller insan organizması tarafından daha kolay emilebilmektedir. Bu özelliğe sahip hayvansal kaynaklı gıdaların başında et, süt ve ürünleri gelmektedir³.

Et; makro besin öğelerinin (örn., protein, yağ, karbonhidrat) yanı sıra temel metabolik işlemler için gerekli olan mikro besin öğelerini de (örn., mineral, vitamin) içeren önemli bir gıdadır. İnsan vücudunda yapı maddesi veya regülatör olarak görev yapan mineral maddeler, ette yaklaşık olarak %1 oranında bulunmaktadır¹³. Ette bulunan minerallerin birçoğu, insan organizmasında ihtiyaç duyulan önemli maddelerdir. İnsanın ihtiyaç duyduğu mineral maddelerin (kalsiyum hariç) büyük bir kısmı et ve et ürünlerinin tüketilmesiyle karşılanabilmektedir¹⁴. Ette bulunan mineral maddelerin başında potasyum gelmektedir. Bunu sırasıyla fosfor, sodyum, klor, magnezyum, kalsiyum, çinko, demir ve bakır izlemektedir¹⁵. Bununla birlikte et iz miktarda bazı elementleri de (molibden, rubidyum, stronsiyum, selenyum, alüminyum, kalay, kurşun, krom, nikel, uranyum, gümüş ve vanadyum) bulundurmaktadır⁵.

İnsan beslenmesi açısından temel gıdalardan biri olan etin mineral içeriğini belirlemeye yönelik şimdiye kadar birçok araştırma yapılmıştır. Ancak yapılan çalışmalar genellikle hayvanların kas ve sakatatındaki mineral içeriklerini belirlemeye yöneliktir. Bu araştırmada mineral elementlerin ırk, yaş, kas ve sakatata bağlı olarak değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak Türkiye'nin yerli sığır ırklarından olan Doğu Anadolu Kırmızısı (DAK) ile anavatani İsviçre olan ve

ülkümüzde de montofon olarak bilinen iki, üç ve dört yaşındaki sığırların farklı kas (*M. longissimus dorsi*, *M. longissimus thoracis*, *M. psoas major*, *M. intercostalis internus*, *M. semispinalis capitis*, *M. biceps femoris*, *M. biceps brachii*) ve sakatatlarındaki (karaciğer, kalp ve böbrek) iz elementlerden Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd'nin miktarları araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sığır Et ve Sakatatının Mineral Bileşimi

Sığırın iskelet kaslarından elde edilen ve insan beslenmesinde önemli bir gıda kaynağı olan et; %75 (65–80) su, %18,5 (16–22) protein, %3 (1,5–13) yağ, %1,5 protein olmayan azotlu maddeler, %1 (0,5–1,5) karbonhidrat ve %1 inorganik maddelerden (mineraller) meydana gelmektedir^{5,16}.

Etin bileşiminin çok az bir kısmını oluşturan minerallerin hayvan vücudundaki oranları oldukça farklıdır. Hayvanda bulunan minerallerin %46'sını kalsiyum, %25'ini fosfor ve %25'ini de potasyum, sodyum, kükürt, klor ve magnezyum oluşturmaktadır. Bununla birlikte önemli iz elementler vücut ağırlığının en fazla %0,3'ü oranındadır². Diğer taraftan günümüzde insan için esansiyel olan elementlerin 27 tanesi ette belirlenmiş olup ancak 19 tanesinin kantitatif olarak tespiti yapılabilmektedir (Tablo 2)^{5,16}.

Tablo 2. Sığır Etinde Bulunan Mineraller

Mineral Maddeler	Miktarı (mg/100 g)	İz elementler	Miktarı (mg/100 g)
Kalsiyum	5-7	Demir	2,5-4,9
Fosfor	100-120	Çinko	3-5
Potasyum	300-400	Bakır	0,01-0,50
Kükürt	150-300	Mangan	0,02
Sodyum	40-80	İyot	0,001-0,009
Klor	40-80	Kobalt	0,001-0,032
Magnezyum	10-30		

Ette bulunan mineral madde miktarı hayvanın türüne, cinsine, beslenme şekline, yaşına ve etin çeşidine göre değişebilmektedir¹⁶. Ağır metal birikiminin hayvanın organları arasında farklı olduğunu ileri süren Farmer and Farmer¹⁷'in Kazakistan'da metal sanayinin yoğun olduğu bir bölgede yaptıkları araştırmada, Pb'nin en fazla

hayvanın tüylerinde daha sonra böbrek ve karaciğerinde en azda etinde ve akciğerinde biriktiğini belirlemişlerdir. Ayrıca metal kontaminasyonunun çevre kirliliği ile hayvanların yetiştirildiği bölge arasındaki mesafeye ve hayvan türüne (at, sığır ve koyun) bağlı olarak farklılık gösterebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Mineral maddeler kas dokusunda homojen olarak dağılmamaktadır. Kastaki minerallerin yaklaşık % 40'ı sarkoplazmada, % 20'si kas hücrelerinin yapısında ve geri kalan kısmı ise hücreler arası sıvılarda bulunmaktadır¹⁶. Aynı hayvanın çeşitli kaslarında bulunan mineral maddelerdeki bu farklılıklar etin kalitesi ve su tutma kapasitesi üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca, ette bulunan mineral maddelerin çoğu ette oluşan bazı özel reaksiyonlara (örn., kas reaksiyonları, rigor mortis, etin olgunlaşması ve su tutma özelliği) katılarak doğrudan yada dolaylı olarak etin kalitesini etkilemektedir⁵.

Kasaplık hayvanların kesimi sonucunda elde edilen karkas dışındaki tüketilebilir iç organları sakatat olarak adlandırılmaktadır. Bunların bir kısmı (örn., karaciğer, böbrek, kalp, beyin) taze olarak tüketilirken, bir kısımda (örn., işkembe, paça) ön işleminden geçirildikten sonra tüketime sunulmaktadır⁵. Sakatat, kırmızı ete oranla daha fazla su içermesine karşın, yağ oranı daha düşüktür (Tablo 3). Sakatatıdaki (beyin hariç) protein miktarı, çizgili kas dokusuyla yaklaşık aynı düzeydedir. Karbonhidrat miktarı ise kırmızı etten oldukça yüksektir. Sakatatlar, mineral ve vitamin yönünden etten daha zengin kaynaklardır. Mineral maddeler en fazla karaciğer, dalak, beyin ve böbrekte bulunur. Özellikle karaciğer potasyum, sodyum, fosfor ve demir yönünden oldukça zengindir. Bu nedenle anemi tedavisinde, demir yönünden zengin olan karaciğerin tüketilmesi tavsiye edilir¹⁶. Buna karşın sakatat, insan sağlığı için zararlı olan toksik ağır metalleri de (örn., Cd, Pb) yüksek miktarlarda biriktirebilir¹⁸.

Tablo 3. Sığır Sakatatlarının Kimyasal Bileşimi

Sakatat	Su (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Karbonhidrat (%)	Mineral madde (%)
Karaciğer	69,9	20	3,1	5,9	1,4
Kalp	75,5	16,8	5	2	1,1
Böbrek	76,1	16,6	5,1	0,8	1,2
Beyin	87,1	10,4	9,6	1,2	1,4
Dalak	76,7	18,5	2,5	0,8	1,4
Dil	66,8	16	16	0,4	1

Sığırın farklı kaslarındaki mineral içeriğine yaşın, beslenmenin ve cinsiyetin etkisini araştıran Doornenbal and Murray¹⁹ *M. diaphragm* kasının mineral içeriğinin *M. longissimus dorsi* ve *M. semimembranosus* kaslarından daha fazla olduğunu, *M. longissimus dorsi*'nin Cu, Fe, Zn ve Mg içeriğinin ise *M. semimembranosus*'dan az olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, beslenme ve cinsiyetin mineral içeriği üzerine etkisinin az olduğunu fakat yaşın Fe, Ca, Zn, Mg ve Na içeriği üzerine etkisinin önemli olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca *M. longissimus dorsi*, *M. semimembranosus* ve *M. diaphragm* kaslarının sırasıyla Fe içeriği $18 \pm 0,38$; $20,8 \pm 0,43$; $38,1 \pm 0,38$ ppm, Zn içeriği $33,3 \pm 40$; $26,8 \pm 45$; $40,5 \pm 40$ ppm, Cu içeriği $0,70 \pm 0,019$; $0,82 \pm 0,021$; $1,66 \pm 0,019$ ppm olduğunu tespit etmişlerdir.

Etin mineral içeriğinin hayvanın yaşına bağlı olarak değiştiğini belirten Kotula and Lusby²⁰ yaptıkları çalışmada 1–6 yaş arası 8 erkek sığırın *M. diaphragm*, *M. longissimus*, *M. psoas major*, *M. semitendinosus* ve *M. transversus abdominus* kaslarındaki K, Fe, Zn, Ca, Na ve Mg içeriklerini araştırmışlardır. Çalışmada, Fe ve Zn içerikleri sırasıyla bir yaşındaki hayvanda 2,00 mg/100 g ve 3,61 mg/100 g iken altı yaşındakinde ise 3,73 mg/100 g ve 4,15 mg/100 g olduğunu tespit etmişlerdir. Fe içeriği en yüksek *M. diaphragm* kasında, Zn içeriğinin ise en yüksek *M. transversus*

abdominus kasında olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca iyi beslenen hayvanların etindeki Fe içeriğinde de artış olduğunu bildirmişlerdir.

Marchello et al.²¹ tarafından yapılan bir çalışmada, 20 sığır karkasının *M. longissimus* ile sığır kıymasında Na, Ca, Fe, Mg ve Zn miktarlarını belirlemek için indüktif eşleşmiş plazma atomik (optik) emisyon spektroskopisi (ICP-AES) kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda *M. longissimus* kasında Fe, Zn ve Cu miktarları sırasıyla 17,43 µg/g, 36,36 µg/g ve 0,92 µg/g olarak belirlenirken sığır kıymasında 19,1 µg/g, 39,5 µg/g ve 0,7 µg/g olarak tespit edilmiştir.

Zarkadas et al.²² sığırın *M. semimembranosus*, *M. semitendinosus*, *M. external sternomandibularis* ve *M. diaphragm* kaslarındaki Fe ve Zn içeriklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda kaslarda sırasıyla Fe içeriğini 2,78±0,02; 2,00±0,09; 2,73±0,16; 2,55±0,04 mg/100 gr ve Zn içeriğini ise 2,99±0,08; 2,92±0,08; 4,07±0,22; 4,71±0,27 mg/100 gr olarak belirlemişlerdir.

Huerta-Montauti et al.²³ yaptıkları çalışmada sığırın *M. biceps femoris* ve *M. longissimus dorsi thoracis* kaslarında sırasıyla Fe içeriğini 2,39 ± 0,03; 1,92 ± 0,04 mg/100 g, Zn içeriğini 3,78 ± 0,06; 3,51 ± 0,06 mg/100 g ve Cu içeriğini 0,025 ± 0,001; 0,018 ± 0,001 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir.

İsviçre’de yapılan bir çalışmada sığır ve dana etindeki Fe ve Zn içeriğini araştıran Leonhardt et al.²⁴ sığırdaki *M. longissimus dorsi* kasının Fe (1,9 ± 0,5 mg/100 g) ve Zn (5,1 ± 0,8 mg/100 g) içeriğinin danadakinden (Fe; 0,4 ± 0,2 mg/100 g ve Zn; 2,5 ± 0,4 mg/100 g) daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Türkiye’de Demirel et al.²⁵ atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) kullanarak sığır etindeki mineral madde miktarını araştırmışlardır. Araştırma sonucuna göre sığır

etindeki Fe miktarını; $46,7 \pm 3,9 \mu\text{g/g}$, Zn miktarını; $35,9 \pm 2,8 \mu\text{g/g}$ ve Cu miktarını; $1,74 \pm 0,14 \mu\text{g/g}$ olarak belirlemişlerdir.

Şenavcı ve ark.²⁶ Ankara ve Bursa illerinde satışa sunulan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların karaciğer ve böbrek dokularında Pb, Cd ve Hg içeriğini belirlemek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, büyükbaş hayvanların karaciğer ve böbreklerinde sırasıyla Pb düzeyi 0,67; 1,38 mg/kg, Cd düzeyi 0,83; 1,59 mg/kg ve Hg düzeyi 0,097; 0,119 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Karaciğer ve böbrek örneklerinden elde edilen sonuçlara göre ortalama en yüksek Pb, Cd ve Hg miktarı küçükbaş hayvanların böbreklerinde biriktiği bildirilmiştir.

Hayvanların yaş ve cinsiyetine bağlı olarak et ve sakatatlarında ağır metal içeriğindeki değişimin belirlenmesi amacıyla Alonso et al.²⁷ İspanya'nın Galicia şehrindeki çiftliklerden temin ettikleri 6-10 aylık buzağı ve 2-6 yaş sığırlardan yararlanmışlardır. Bu çiftliklerden alınan hayvanların karaciğer, böbrek ve etindeki Zn, Cu, Pb, Cd ve Ar içeriklerini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda sırasıyla buzağı ve sığırlarda Zn içeriğini karaciğerde 46,3; 52,5 mg/kg, böbrekte 14,2; 20,7 mg/kg ve ette 47,3; 52,5 mg/kg; Cu içeriğini karaciğerde 49,9; 36,6 mg/kg, böbrekte 4,27; 3,63 mg/kg ve ette 0,649; 1,68 mg/kg; Pb içeriğini karaciğerde 33,0; 47,5 $\mu\text{g/kg}$, böbrekte 38,9; 58,3 $\mu\text{g/kg}$ ve ette 6,37; 12,5 $\mu\text{g/kg}$, Cd içeriğini ise karaciğerde 7,78; 83,3 $\mu\text{g/kg}$, böbrekte 54,3; 388 $\mu\text{g/kg}$ ve ette 0,839; 0,944 $\mu\text{g/kg}$ olarak belirlemişlerdir. Elde edilen veriler üzerinde yapılan değerlendirme sonucunda ise dişi buzağuların etindeki Zn miktarının erkek buzağularınkinden daha yüksek olduğunu ve sığırlara göre karaciğer ve böbreklerinde daha az Cu biriktiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte Cd miktarının dişi buzağı ve sığırların böbreklerinde erkeklerden daha yüksek olduğunu ve cinsiyetin ağır metal birikimi üzerine önemli etkisinin bulunduğunu ileri sürmüşlerdir.

Diğer taraftan yaşa bağlı olarak Pb ve Cd'nin birikiminin dişi buzağılardan ziyade sığırlarda daha fazla görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Pakistan'da Naveed²⁸ tarafından yapılan bir araştırmada ise buzağı ve sığır karaciğerinde sırasıyla Fe $155,7 \pm 0,5$; $398,1 \pm 0,4$, Zn $5,33 \pm 0,06$; $3,95 \pm 0,04$, Pb $1,21 \pm 0,02$; $1,63 \pm 0,01$ ve Cd $0,09 \pm 0,003$; $0,17 \pm 0,01$ mg/kg tespit edilmiştir.

Sığır et ve karaciğerinde Pb ve Cd içeriğinin çevresel faktörlere bağlı olarak değişebileceğini ileri süren Koréneková and Skalická²⁹, metal işleyen fabrika yakınlarında bulunan çiftliklerden temin ettikleri 21 sığır et ve karaciğerindeki Fe, Zn, Cu, Pb, Cd ve Ni birikimini araştırmışlardır. AAS kullanılarak yaptıkları çalışmada karaciğerdeki ağır metal içeriğinin Fe $146,822$; Zn $79,946$; Cu $84,091$; Pb $1,072$; Cd $0,456$ ve Ni $0,231$ mg/kg, etteki ağır metal içeriğinin ise Fe $51,800$; Zn $81,180$; Cu $6,312$; Pb $0,671$; Cd $0,126$ ve Ni $0,350$ mg/kg olarak belirlemişlerdir.

Sabir et al.³⁰ çevresel kontaminasyonları belirlemek amacıyla Pakistan'ın Azad Kashmir Bölgesi'nde bulunan değişik marketlerden topladıkları 16 et örneğinde Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Mg ve Ca içeriğini araştırmışlardır. Çalışmada, sığır etindeki Fe 2400 ppm, Zn 1 ppm, Cu 28 ppm olduğunu, Pb'nin ise 3 ppm'den az olduğunu tespit etmişlerdir.

Koyunların karaciğerlerinde Fe, Zn, Cu, Mn, Mo ve Se'un belirlenmesinde Menzies et al.³¹ AAS ve ICP-AES'i kullanarak yaptıkları araştırmada, Cu miktarının toksik seviyenin üzerinde olduğunu ancak Cu'da toksititeye sebep olan bu seviye ile diğer elementler arasında bir korelasyonun bulunmadığını belirlemişlerdir. Diğer taraftan iki ölçüm cihazından elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında konular arasında farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Sedki et al.³² tarafından Fas'ın Marrakech (Morocco) şehrinde yapılan bir çalışmada şehir atık sularına maruz kalan otlak alanlardan beslenen sığırların karaciğer ve

böbreklerdeki toksik ve esansiyel element seviyeleri araştırılmıştır. Araştırmadan elde edilen verilere göre sığırların karaciğerinde Zn, Cu ve Cd elementlerinin içeriği sırasıyla 126 µg/g, 112 µg/g, 5,1 µg/g ve böbrekte 89 µg/g, 33 µg/g, 10,3 µg/g olarak tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda ağır elementlerden Cd'nin en fazla sığırın karaciğer ve böbreklerinde biriktiğini ve bu birikimdeki artışın Zn ve Cu seviyesinde bir azalışa neden olduğu ileri sürülmüştür.

Abou-Arab³³ kırsal ve endüstriyel alanda büyüyen sığırların et ve sakatatında bulunan iz element miktarındaki farklılığı ortaya koyabilmek amacıyla her iki bölgeden temin edilen hayvanların farklı organlarındaki ağır metal birikiminin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Araştırmada kırsal ve endüstriyel alan olarak ayrılan her iki bölgede yetişen sığırların kas ve sakatatında biriken metal içeriği belirlenmiştir (Tablo 4). Belirlenen mineral içeriklerine göre endüstriyel alanlarda yetişen hayvanların organlarındaki metal içeriğinin kırsal bölgede yetişen hayvanlarınkinden daha yüksek olduğu, Fe ve Cu'nun da en yüksek karaciğerde olduğunu bildirmiştir.

Tablo 4. Kırsal ve Endüstriyel Alanda Büyüyen Sığırların Et ve Sakatatında Bulunan İz Element İçeriği (mg/kg)

Numune		Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Kırsal Alan	Et	66,3±24,1	34,8±15,6	2,8±1,1	0,06±0,03	0,01±0,01
	Karaciğer	116,4±41,2	22,3±11,1	86,4±24,3	0,12±0,05	0,11±0,07
	Böbrek	56,4±13,1	20,4±5,9	3,2±1,1	0,22±0,08	0,22±0,11
	Kalp	38,1±11,2	18,8±4,1	2,1±1,1	0,03±0,01	0,01±0,01
Endüstriyel Alan	Et	76,4±22,6	63,3±26,4	3,1±1,2	0,09±0,04	0,03±0,02
	Karaciğer	114,1±36,0	49,4±18,2	87,4±23,2	0,57±0,24	0,32±0,19
	Böbrek	68,1±24,1	41,6±17,1	4,0±1,5	0,72±0,30	0,56±0,26
	Kalp	34,2±6,4	19,6±9,5	1,6±0,8	0,21±0,13	0,28±0,17

López Alonso et al.³⁴ sığır et ve sakatatlarındaki (karaciğer ve böbrek) esansiyel iz elementler (Fe, Zn, Cu, Co, Cr, Mn, Mo, Ni, Se) ile toksik elementler arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu araştırma sonucunda ağır elementlerin çok düşük düzeyde, esansiyel iz elementlerin ise beklenen aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Bu değerleri karaciğer, böbrek ve kasta sırasıyla; Fe 70,3; 51,3; 38,7 mg/kg, Zn 49,4; 15,1; 50,4 mg/kg, Cu 40,2; 3,05; 1,66 mg/kg, Pb 28,0; 20,2; 14,5; µg/kg ve Cd 59,6; 318; 8,51 µg/kg olarak belirlemişlerdir. Cd'nin hem böbrekteki birçok esansiyel elementle hemde karaciğerdeki Zn ile pozitif ilişkisinin olduğu, Pb'nin ise yalnızca karaciğerdeki Cu ile arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer taraftan dokulardaki esansiyel elementler arasındaki ilişki ile böbrekte bulunan Fe, Zn ve Cu arasındaki ilişkinin istatistiki olarak önemli olduğunu bildirmişlerdir.

İsviçre'de Gerber et al.³⁵ tarafından yapılan bir çalışmada değişik türdeki hayvanların farklı kısımlarından alınan et örneklerinin mikrodalga yakma işleminden sonra indüktif eşleşmiş plazma kütle spektroskopisi (ICP-MS) kullanılarak iz element içerikleri tespit edilmiştir. Sığır etindeki iz element miktarının; Fe 1,6-2,5 mg/100g, Zn 3,7-5,1 mg/100g, Cu 49,5-77,5 µg/100g, Pb 1,8-2 µg/100g ve Cd 0,5-0,6 µg/100g arasında olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan türler arasında olduğu kadar aynı tür hayvanın farklı kaslarındaki Fe, Zn ve Cu içeriklerinin de farklılık gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Surtipanti et al.³⁶; sığırın et, karaciğer ve bağırsağında Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni, As, Co, Cr, Sb ve Se elementlerini belirlemek amacıyla AAS ve nötron aktivasyon analizi yöntemi kullanmışlardır. Yapılan analiz sonucunda ortalama Fe içeriği 5,33–37,24 µg/g, Zn içeriği 0,86–27,64 µg/g ve Cu içeriği 0,09–26,85 µg/g olarak belirlenmiştir. Ancak Cd ve Pb'ye rastlanılmamıştır. Araştırmacılar bu durumun

örneklerdeki Pb ve Cd içeriğinin kullanılan metodun belirleme limitlerinden (Cd için 0,2 µg/g, Pb için 2 µg/g) düşük olmasından kaynaklanabileceğini ileri sürmüşlerdir. Diğer taraftan karaciğer ve bağırsaktaki Fe, Cu ve Zn içeriğinin etten daha fazla oranda bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Lombardi-Boccia et al.³⁷ yaptıkları çalışmada bazı hayvanların (örn., buzağı, sığır, koyun, tavuk, tavşan) farklı kısımlarından aldıkları et örneklerinin Fe, Zn, Cu içeriklerini ICP-AES ile belirlemişlerdir. Çalışmada, sığırın fileto, bonfile, biftek ve nuar kısımlarında sırasıyla Fe içeriği 1,93±0,1; 2,37±0,1; 1,95±0,1; 1,91±0,1 mg/100 g, Zn içeriği 4,09±0,2; 4,01±0,2; 4,75±0,4; 3,947±0,1 mg/100 g ve Cu içeriği 0,07±0,1; 0,09±0,1; 0,05±0,1; 0,04±0,1 mg/100 g olarak belirlenmiştir.

Williams et al.³⁸ tarafından Avustralya’da yapılan çalışmada sığırın değerli etlerinin Fe, Zn ve Cu içerikleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda Fe içeriği en yüksek 2,2 mg/100 g ile bonfilede en düşük 1,2 mg/100 g ile rostoda, Zn içeriği en yüksek 6,6 mg/100 g ile kürekte en düşük 3,0 mg/100 g ile rostoda ve Cu içeriği ise en yüksek 0,190 mg/100 g ile kürekte en düşük ise 0,064 mg/100 g ile rostoda tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Sığırın Değerli Etlerinin İz Element İçeriği (mg/100 g)

	Fe	Zn	Cu
Biftek	2,1	4,1	0,120
Rosto	1,2	3,0	0,064
Bonfile	2,2	3,8	0,150
Omuz	1,9	4,6	0,120
Kürek	1,8	6,6	0,190
Parça	1,7	5,7	0,080
Kıyma	1,7	4,5	0,072

Demirezen ve Uruç³⁹ et ve et ürünleri ile balıktaki Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, Mn ve Se içeriğini belirlemek amacıyla ICP-AES cihazını kullanmışlardır (Tablo 6). Araştırmacılar en yüksek Fe ve Pb içeriğini sucukta, Zn ve Cu içeriğini pastırmada ve Cd içeriğini ise et örneklerinde tespit etmişlerdir. Diğer taraftan en düşük Fe, Cu ve Pb içeriğini kıymada, Zn içeriğini salam ve Cd içeriğini ise pastırmada belirlemişlerdir.

Tablo 6. Et ve Et Ürünlerinin İz Element İçeriği ($\mu\text{g}/100 \text{ g}$, kuru ağırlık)

Numune	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Et	136,2 $\pm$ 18,4	111 $\pm$ 0,98	9,4 $\pm$ 0,023	12,5 $\pm$ 1,18	0,86 $\pm$ 0,07
Kıyma	94,9 $\pm$ 11	57,2 $\pm$ 1,4	7,19 $\pm$ 1,4	11,5 $\pm$ 1,5	0,79 $\pm$ 0,04
Sucuk	156,4 $\pm$ 14,7	60 $\pm$ 2,1	8,83 $\pm$ 0,2	13,5 $\pm$ 0,99	0,83 $\pm$ 0,07
Pastırma	136,2 $\pm$ 1,8	159 $\pm$ 2,8	10,01 $\pm$ 0,14	12,6 $\pm$ 2,1	0,78 $\pm$ 0,04
Salam	127,66 $\pm$ 11,4	45 $\pm$ 0,07	8,4 $\pm$ 0,1	12,8 $\pm$ 1,5	0,82 $\pm$ 0,02

Beslenmenin etin mineral içeriğine etkisinin olabileceğini ileri süren Holló et al.⁴⁰ Macar Grey (boz ırk) ve Holstein Friesian ırkı boğaların farklı yem diyetleri ile beslenmelerinin aminoasit ve mineral içeriği üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda beslenmenin, etin mineral içeriğine etkisinin olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

2.2. İz Elementler

Ağır metal olarak da bilinen iz elementlerin yetersizliği çeşitli hastalıklara, fazlalığı ise toksikasyonlara neden olabilmektedir. Ağır metaller, fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm^3 'den daha yüksek olan metaller için kullanılmaktadır. Bu gruba demir, çinko, krom, mangan, kobalt, bakır, nikel, kurşun, kadmiyum ve civa olmak üzere 70'den fazla metal dahildir. Ağır metaller arasında en az toksik olanı demir ve mangandır^{41,42}.

İz elementler biyolojik özellik ve önem durumlarına göre üç gruba ayrılır^{7,8}:

- Esansiyel iz elementler: Düşük miktarlarda esansiyel, fakat yüksek miktarlarda toksik olan elementlerdir (örn., demir, çinko, bakır, iyot, manganez, kobalt, selenyum, molibden, flor)⁸. Bu elementler biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı organizma yapısında belirli miktarda bulunmaları gereklidir. Bu nedenle düzenli olarak gıdalarla alınmaları zorunludur. Bu elementlerin aşırı miktarda alınımı veya birikimi ise organizmada biyolojik ve kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak toksik semptomlara yol açabilir^{7,42}.
- Belirsiz iz elementler: Organizma tarafından biriktirilmeyen, fonksiyon ve mekanizmaları henüz kesinleşmemiş minerallerdir (örn., alüminyum, bor, nikel, kalay, krom, silisyum, vanadyum)⁸.
- Besin değeri olmayan toksik elementler: Genelde metabolik aktivite için gerekli olmayan fakat organizmada biriken ve oldukça düşük miktarlarda bile toksik etki yapan elementlerdir (örn., kadmiyum, kurşun, civa, arsenik)⁸. Bu elementler çeşitli sağlık problemlerine (örn., psikolojik bozukluklara) yol açabilmektedir. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan cıvadır⁴².

Bir iz elementin esansiyel olup olmadığı organizmaya bağlı olarak değişmektedir. Örneğin nikel elementi bitkilerde toksik etki gösterirken, hayvanlarda iz element olarak bulunması gereklidir^{42,43}.

İz elementlerin insan metabolizmasında oluşturdukları etki ve etkin oldukları aşamalar;

- Kimyasal reaksiyonlara etki edenler
- Fizyolojik ve taşıyım sistemlerine etki edenler
- Kanserojen ve mutajen olarak yapı taşlarına etki edenler

- Alerjen olarak etki edenler
- Spesifik etki edenler olarak sıralanabilir⁴².

Ağır metallerin ekolojik sistemde su ve karasal yayılımı, doğal çevrimden ziyade endüstrileşme ve kentleşmenin doğada meydana getirdiği çevre kirliliği ve buna bağlı olarak özellikle son dönemlerde madenlerin, metal ve kimya fabrikalarının, büyük sanayi komplekslerinin çevreye yaydığı toksik maddelerle olmaktadır^{37,44}. Bu maddeler, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısıyla bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen metallerin ırmak, göl ve yeraltı sularına geçmesiyle su kaynaklarına bulaşmaktadır. Kontamine olan su kaynaklarının şehir şebekesi ve tarımsal sulamada kullanımıyla birlikte ağır metaller gıda zincirine kadar ulaşmaktadır⁴². Bu gıdalarla beslenen insan ve hayvanların vücutlarında özellikle böbrek ve karaciğerde bu metallerin bir kısmı birikir³³. Biriken ağır metal konsantrasyonu toprak, hava veya sularda ölçülen değerlerden çok daha yüksek olmasına rağmen, nadir olarak insan ve hayvanlarda sağlık riski oluşturacak sınır değerlerine ulaşabilir⁴². Endüstriyel alanlarda beslenen hayvanların kas, karaciğer, böbrek, kalp ve dalağında Fe, Zn, Cu, Pb, Mn ve Cd içeriğinin kırsal alanlardaki hayvanların aynı organlarından daha yüksek olduğu da belirlenmiştir³³.

2.2.1. Demir

Demir, insan ve diğer birçok canlı türü için hayati önemi olan bir iz elementtir. Demirin beslenme fizyolojisindeki önemi 17.yy'ın ortalarında İngiliz hekim Sydenham tarafından kadınlarda bir anemik durum olan klorozun (chlorosis; kandaki demir miktarının düşmesi ve hipokromik eritrositlerin ortaya çıkması ile karakterize olan bir hastalıktır) tedavisinde demir tuzlarının kullanımıyla ortaya çıkmıştır^{45,46}.

Normal yetişkin bir insanın vücudunda toplam demir miktarı yaklaşık olarak 4 g (3-5 g) civarındadır⁴⁷. Bunun %68,30'u hemoglobinde, %3,30'u miyoglobinde, %12, 70'i ferritinde, %11,70'i hemosiderinde (ferritin ve hemosiderin depo demiri olarak başlıca kemik iliği, karaciğer ve dalakta bulunur), %0,17'si transferrinde, %0,19'u enzimlerde ve %3,65'i diğer organik demir bileşiklerinde bulunmaktadır^{46,48,49}. Yetişkin kadınlarda demir miktarı erkeklerden %15–30 kadar daha azdır⁴⁷.

Demir, insan vücudunda sentezlenmeyen ve gıdalarla alınması zorunlu bir iz element olup yaşamsal önemi birçok biyokimyasal reaksiyonda (hücrel oksidatif mekanizmalar ve dokulara oksijen taşınması) önemli görevler üstlenmiştir^{41,49,50}. Demir; hemoglobin ve miyoglobin gibi kromoproteinlerin, sitokrom oksidaz, ksantin oksidaz, peroksidaz ve katalaz gibi çeşitli enzimlerin yapısında bulunmaktadır. En önemli görevi hemoglobin aracılığı ile dokulara oksijen taşımak ve depolamak olup, hücre büyümesi ve çoğalması, elektron taşınması ve esansiyel reaksiyonların katalizinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca myoglobindeki demir, kas kontraksiyonu sırasında oksijenizasyonu sağlamaktadır⁴⁷.

Demir, gıdalarda hem ve hem olmayan biçiminde bulunmaktadır⁴⁸. Hem demir ferros (Fe^{+2}) iyonu, hem olmayan demirin çoğu ise ferrik (Fe^{+3}) iyon veya demirli organik bileşikler halinde bulunmaktadır. Hem ve hem olmayan demirin, vücutta emilimi farklı mekanizmalarla olmaktadır. Hem demirin (örn., kırmızı etteki demir) emilimi hem olmayandan (örn., ıspanaktaki demir) daha fazladır⁵⁰. Gıdalardaki demir %15-45 ferros, %1–15 ferrik şeklinde bulunmaktadır⁵¹.

Gıdalardaki Fe^{+2} , gastrik asiditeden ve gıdaların kompozisyonundan etkilenmeden emilmektedir. Mukozada demir hemden ayrılır ve duodenumdan (oniki parmak bağırsağı) emilerek doğrudan plazmaya geçer^{48,50}. Fe^{+3} ise, $\text{pH} > 2$ olan ortamlarda

çözünemez ve biyoyararlanımı söz konusu değildir. Ancak midenin asit ortamında Fe^{+3} , iyonlarına ayrılır veya Fe^{+2} şekline indirgenmesini sağlayan askorbik asit, sitrat ve diğer organik asitlerle çözülebilen kompleksler halinde emilebilir hale gelir. Ancak tahıllarda bulunan fitatlar, sebzelerde bulunan okzalatlara gibi bazı maddeler demiri çözünmeyen bileşiklere dönüştürerek bağırsaklardan emilimini engelleyebilir^{41,50,52}.

Gıdalardaki demirin biyoyararlılığına göre farklı grup ve yaşlardaki insanların günlük tavsiye edilen demir alınımları Tablo 7’de verilmiştir⁵³.

Tablo 7. Gıdaların Biyoyararlılığına Göre Tavsiye Edilen Demir Alınımı (mg/gün)

Grup	Yaş (yıl)	Ortalama vücut ağırlığı (kg)	Gıdaların biyoyararlılığına göre (%) tavsiye edilen günlük demir alınımları (mg/kg)			
			%15	%12	%10	%5
Bebek ve çocuklar	0,5-1	9	6,2	7,7	9,3	18,6
	1-3	13	3,9	4,8	5,8	11,6
	4-6	19	4,2	5,3	6,3	12,6
	7-10	28	5,9	7,4	8,9	17,8
Bayan	11-14	45	9,7	12,2	14,6	29,2
	15-17	64	12,5	15,7	18,8	37,6
	18+	75	9,1	11,4	13,7	27,4
Erkek	11-14	46	21,8	27,7	32,7	65,4
	15-17	56	20,7	25,8	31,0	62,0
	18+	62	19,6	24,5	29,4	58,8
Menopoz sonrası		62	7,5	9,4	11,3	22,6
Emzirme dönemi		62	10	12,5	15,0	30,0

Kasaplık hayvanların karaciğer, böbrek, kalp ve dalak gibi iç organları ile yumurta sarısı, bira mayası ve kuru baklagiller demir bakımından zengin gıda kaynaklarıdır. Bu gıdaların 100 gramında 5 mg’dan daha fazla demir bulunmaktadır. Buna karşın tavuk (but kısmı), balık (palamut, hamsi, uskumru vb.) ve deniz ürünleri dahil bütün et türleri,

kabuğundan ayrılmış buğday ve unu, yulaf, yeşil sebzeler, incir, ceviz ve fındık daha az miktarda demir içermektedir. Ayrıca, süt ve süt ürünleri ile yeşil olmayan sebzelerin birçoğunda demir miktarı oldukça azdır^{41,54}.

Demir eksikliği; başta çocuklar, genç kadınlar, hamileler ve yaşlılar olmak üzere her yaşta görülen en yaygın hastalıklardan biridir⁴⁹. Çocuklarda sık görülmesinin nedeni sütün demir içeriğinin az olmasıdır. Demir eksikliğinden kaynaklanan anemi; 0–5 yaş grubu çocukların ortalama %50'sinde, okul çağı çocukların %30'unda, gebe ve emziren kadınların %50'sinde görülmektedir⁵⁵.

Anemi; bebek ve çocuklarda büyümeyi, psikomotor gelişmeyi etkilemekte ve enfeksiyonlara direnci azaltmaktadır. Hamilelerde ise bebekte büyüme geriliğine, düşük doğum ağırlığına, anne ve bebek ölümlerine yol açmaktadır. Yetişkinlerde halsizlik ve yorgunluğa neden olmakta ve hastalıklara direnci azaltmaktadır²¹. Kanamalarda, mikrobik hastalıklarda ve emilim bozukluklarında demir ihtiyacı artmaktadır. Demir eksikliği insanlarda sık meydana gelirken, hayvanlarda sadece süt emme döneminde görülmektedir⁵⁵.

Aşırı demir alınımları; hemokromatozis (fibroza ve organ yetmezliğine yol açan aşırı demir emilimi ve çeşitli organlarda demir birikimi) ve kabızlık ile bağırsak, karaciğer ve böbreklerde hasar ve çinko emiliminin azalmasına sebep olabilir. Kandaki aşırı serbest demir, erkeklerde ve menopoz sonrası kadınlarda zararlı oksidan madde oluşmasına, kalp-damar hastalıklarına, kolon kanserine yol açabilir⁴⁶.

2.2.2. Çinko

Tüm canlılar için gerekli olan çinko, yüz yılı aşkın bir süreden beri bilinmesine rağmen insan sağlığı bakımından önemi ancak son yıllarda anlaşılmıştır. Çinkonun ilk tanımlanması 1509 yılında Erasmus Ebener tarafından yapılmıştır. Biyolojik fonksiyonu

ise 1940 yılında karbonik anhidrazın katalitik aktivitesi için çinkoya gereksinim olduğunun saptanması ile ortaya çıkmıştır⁵⁶.

Doğada ve canlı organizmalarda yalnızca +2 değerlikli olarak bulunan çinko; tüm organ, doku ve vücut sıvılarında yer almaktadır⁵⁷. Önemli protein, enzim ve hormonların bileşenlerinden olup yaklaşık 300 enzimin yapısında bulunmaktadır^{53,58}. Çinkonun büyümede, hücre içi fonksiyonlarda, protein sentezinde, karbonhidrat metabolizmasında, asit baz dengesinin ayarlanmasında ve mukoz membranın fizyolojisinde (özellikle midede hiperkeratozisin önlenmesi) önemli görevleri vardır. Karbonhidrat metabolizmasında etkin rol oynayan insülin hormonunun en önemli yapıtaşlarından birini çinko oluşturmaktadır. Dolayısıyla vücuttaki miktarı; insülinin üretimini, depolanmasını ve salgılanmasını etkilemektedir. Ayrıca, A vitamini metabolizması için de oldukça önemli bir mineraldir^{46,53,59,60}.

Çinko, demirden sonra insan vücudunda en çok bulunan iz elementtir. Fizyolojik olarak tüm hücrelerde farklı yoğunluklarda bulunan çinko 70 kg ağırlığındaki yetişkin insan vücudunda 1,4–2,3 g kadar bulunmaktadır^{49,61}.

Sağlıklı bir yaşam için günlük çinko ihtiyacı ortalama 2,4–4,2 mg'dır. Ancak bu miktar gebe ve emziren kadınlarda 20–25 mg'a çıkmaktadır. Bununla birlikte çinko eksikliğinde oral olarak günlük alımın 6 aydan küçük bebeklerde yaklaşık 3 mg, 6 ay–1 yaş arası çocuklarda 5 mg, 1–7 yaş arası çocuklarda 10 mg, 11 yaşından büyüklerde 16 mg olmalıdır⁶¹.

Gıdalarda çinko miktarı oldukça geniş bir yelpazede dağılmıştır. Özellikle istiridye başta olmak üzere deniz ürünleri, et ve karaciğer çinko bakımından zengin kaynaklardır^{59,60}. Çinko içeriği hayvanın türüne göre farklılık göstermektedir. Sığır etindeki çinko içeriği (1050-5650 µg/100 g), domuz (1490–3600 µg/100 g) ve tavuk

etinden (800–1540 µg/100 g) daha yüksektir. Sakatatlarda ise domuz karaciğeri (4340–9000 µg/100 g) sığır karaciğerinden (3630–4550 µg/100 g) daha yüksekken hem sığır (1600–2100 µg/100 g) hemde domuz böbreğindeki (2200–3050 µg/100 g) çinko içeriği birbirine oldukça yakındır. Ancak tuzlu su hayvan türleri arasında bu farklılık oldukça fazladır. Bu durumun çevresel faktörlerden kaynaklanabileceği ileri sürülmektedir⁶². Diğer taraftan baklagiller, kuruyemişler, tahıllar, yeşil yapraklı sebzeler ve meyvelerde çinko bakımından zengin kaynaklardır^{59,60}.

Bitkisel kaynaklı gıdalarla vücuda alınan çinkonun biyoyararlılığı düşüktür. Bunun sebebi bitkisel gıdalarda ve hububatta (örn., mercimek, mısır, buğday) yüksek miktarda bulunan fosfat bileşikleri ve fitatların çinkoyu bağlayarak emilimini olumsuz yönde etkilemesidir. Bununla birlikte gıdalarla alınan yüksek miktarda kalsiyum, fosfor, demir ve bakır da çinko emilimini azaltmaktadır. Buna karşın proteince zengin gıdalar, sitrik asit, kazein, C ve B₆ vitamini çinko emilimini artırmaktadır^{61,63}.

Çinko ihtiyacının karşılanması gıdalardaki protein içeriğine bağlıdır. Bu nedenle protein alımının yetersiz olduğu durumlarda çinko eksikliği görülebilir. Çinko eksikliğinde hamile kadınlarda fetüs gelişimi yavaşlar, çocuk ve gençlerde büyüme olumsuz etkilenir. Ayrıca bağışıklık sisteminin zayıflamasına, kronik ishale, saç dökülmesine ve deri yaralarına sebep olabilir^{53,63}.

Çinkonun fazla alınımı halinde önemli miktarı kemik, diş, deri, kıl ve tırnakta depolanır^{46,53,64}. Uzun süre günlük ihtiyacın üzerinde alınan çinko, diğer iz elementlerin emilimini (özellikle bakır) engelleyebilir. Ayrıca iştah ve bağışıklık sistemi aktivitesinde azalmaya, yaraların geç iyileşmesine, kolesterolün yükselmesine, deride hassasiyete, anemiye neden olabilir. Bununla birlikte çinkonun aşırı alınımında (4-8 g) zehirlenme belirtileri (örn., bulantı, kusma, baş dönmesi, ishal ve ateş) görülebilir⁵³.

2.2.3. Bakır

Bakır, metabolizmanın normal çalışması için gerekli olan ve karaciğerde depolanan esansiyel bir iz elementtir⁶⁵. Organizmada her tür bakterinin varlığı için gerekli olan bakır; bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde, kalp fonksiyonlarında, doku pigmentasyonunda ve enzim aktivasyonunda etkin rol oynamaktadır. Ayrıca, kan kolesterolünün düzenlenmesinde gerekli olduğuna dair bilgiler de bulunmaktadır^{2,66}.

Bakır, bağ dokusunun yeniden oluşması için gerekli olan birçok enzimin (örn., sitokrom, dopamin, oksidaz) yapısında bulunur⁶⁵. Ayrıca, glikoz metabolizması, hemoglobin ve fosfolipidlerin sentezini içeren enzimlerin kofaktörü olarak görev yapar⁶⁶. Bunlara ilaveten hemoglobine bağlı demirin korunması ve kullanımı için gerekli olan bakır, C vitamininin oksitlenmesinde de rol oynar^{65,66}.

Bakır; birçok gıdada, içme suyunda ve havada bulunmaktadır. Bundan dolayı her gün yiyecek, içecek ve soluma ile önemli bir miktar bakır vücuda alınmaktadır. Karaciğer, et, kabuklu deniz ürünleri, baklagiller, tahıllar, yağlı tohumlar, kuruyemişler (örn., ceviz, fındık) ve pekmezde oldukça fazla, yumrulu bitkiler, yeşil sebzeler ve sütte ise daha düşük oranda bakır bulunmaktadır⁴¹.

Yetişkin bir insan vücudunda ortalama 75–150 mg bakır bulunurken, bebeklerde bu miktar daha fazladır^{41,67}. Normal şartlarda karaciğer, dalak, böbrekler, kıllar ve beyinde daha fazla oranda bulunan bakır, fazla veya yetersiz alınımı öncelikle bu organlarda birikimine veya azalmasına sebep olur⁶⁸.

Bakır; başlıca mide ve ince bağırsağın ilk kısmından emilmektedir. Bağırsak mukozasının luminal yüzeyinde yüksek molekül ağırlıklı proteinlere bağlanarak hücre içine alınmaktadır. Hücre içinde ise, depo proteini olan metallothionein benzeri protein aracılığıyla dolaşıma verilmektedir. Bağırsaktaki bu depo proteinin bakır emiliminin ve

dolaşımdaki bakır düzeylerinin düzenlenmesinde rol aldığı düşünülmektedir. Bakır, dolaşımda albuminle taşınmakta ve büyük bir kısmı karaciğer tarafından alınmaktadır. Bakırın başlıca atılımı feçesle, az miktarda da idrar, safra ve terle olmaktadır⁶⁶.

Günlük bakır gereksinimi çocuklarda 3 mg, kadınlarda 12 mg, erkeklerde 10 mg'dır⁶⁹. Beslenme yoluyla alınan bakırın yaklaşık %10'luk kısmı emilmektedir. Emilimde; gıdaların bakır miktarı, kimyasal formu ve içeriği önemlidir⁷⁰. Anorganik sülfat, molibden, çinko, fitatlar ve lifler bakır emilimini azaltırken, askorbik asit ve aminoasitler emilimi artırmaktadır⁶⁶.

Bakır eksikliği insanlarda, demir miktarı yeterli olsa dahi kansızlığa neden olmaktadır. Ayrıca deri ve saçın doğal rengi oluşmamaktadır. Sinir sistemi fonksiyonları için de önemli olan bakırın eksikliğinde motor nöronlar sitokrom oksidaz aktivitesini kaybetmekte ve ataksi gelişebilmektedir⁴⁶.

Bakır; kadmiyum ve çinko ile kıyaslandığında çevrede oldukça az miktarda bulunur. İnsanlar için düşük miktarlarda toksik değildir⁴⁶. Ancak yüksek miktarlarda önemli sağlık problemlerine yol açabilir. Madeni kaplama işlemleri, endüstriyel atıklar ve bazı tarımsal ilaçlar ile sucul ortamlara bırakılan bakırın çözünür bileşikleri insan sağlığı için en büyük tehdidi oluşturur. Çoğu bakır bileşiği ya su tortusuna ya da toprak parçacıklarına yerleşip bağlanır ve organizmalarda yüksek miktarlarda birikir. Bu durum ciddi ekolojik değişikliklere yol açarak toksik etki sonucu canlıların ölümüne neden olabilir⁷¹.

İnsanlarda bakır metabolizmasının en önemli bozukluğu wilson hastalığı (hepatolentiküler dejenerasyon) dır. Bu hastalık kronik bakır zehirlenmesi olup bakırın karaciğer, beyin, böbrek ve korneada birikmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu duruma bağlı olarak nörolojik bozukluklar ve karaciğer sirozu görülmektedir⁷².

Özellikle endüstriyel bölgelerde bakır dumanına, tozuna veya sisine uzun süre maruz kalma sonucu metal dumanı ateşi, ağız, burun ve göz tahrişi, baş ve karın ağrısı, baş dönmesi, kusma ve ishale neden olmaktadır. Bakırın kasten yüksek miktarda alınımı ise karaciğer ve beyin hasarlarına ve hatta ölüme bile neden olabilmektedir. Ayrıca bakırın kanserojen olup olmadığı da henüz araştırılmaktadır⁷³.

2.2.4. Kurşun

Doğada yaygın olarak bulunan kurşun, mavi-gri renkte yumuşak bir metaldir⁴⁵. Günümüzden 4000–5000 yıl önce, antik uygarlıklar tarafından gümüş üretimi esnasında yan ürün olarak keşfedilmiştir⁷⁴. Günümüzde çoğu endüstri kolunda sıklıkla kullanılan, insan ve hayvanlarda zehirlenmeye neden olan metallerin başında gelmektedir⁴⁵. Kurşun, insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme metal veya bileşiği olarak yayılan, her durumda toksik özellik taşıyan (çalışma ortamında izin verilen sınır 0,1 mg/m³) ve çevreye en fazla zarar veren ilk metal olma özelliğini taşımaktadır^{75,76}. Ana bulaşma kaynağı hava kirliliğidir⁷⁷. Dünya Sağlık Örgütü'nün (World Health Organization; WHO, 1995) sınıflandırmasına göre kurşun 2. sınıf kanserojen madde grubunda yer almaktadır^{75,76}.

İnsan vücudundaki kurşun miktarı ortalama 125–200 mg civarındadır⁴⁵. WHO'nun önerisine göre kurşun alınımı yetişkinlerde 3 mg/haftayı aşmamalıdır. İnsan vücudu normal fonksiyonlarla günde 1–2 mg kurşunu atabilme yeteneğine sahiptir. Toksik belirtilerin görüldüğü düzey yetişkinlerde 0,6-1 µg/ml kan olarak bildirilmektedir. Ancak bu değer çocuklarda çok daha düşüktür¹¹.

Birçok gıda (örn., meyve, sebze, et, tahıl, deniz mahsulleri, alkolsüz içecekler, şarap) önemli miktarlarda kurşun içermektedir⁷³. Kurşun, vücuda genellikle solunum, sindirim ve kısımda deri yoluyla girmektedir⁷⁷. Solunum yoluyla alınan kurşunun

%30–40'ı, sindirim sistemiyle girenin ise %5-10'u kana karışmaktadır⁴⁵. Solunumla alınan kurşunun bir kısmı akciğerlerde birikmektedir. Akciğerlerden emilim tozların partikül büyüklüğü ve bileşiğin çözülme düzeyi ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Emilerek kana geçen kurşunun büyük bir kısmı (yaklaşık %90) eritrositlere bağlandığı, kalan kısmının ise organizmanın farklı bölgelerine (plazma proteinleri, karaciğer, böbrek, kemik iliği, kemik, beyin ve sinir hücreleri) yayılmak üzere plazmada bulunmaktadır. Serbest kurşunun, vücuttan atılımı ise idrar ve böbrekler yoluyla olmaktadır. Bu mekanizma kurşunun yumuşak dokularda birikmesini önlemektedir⁷⁷.

Kurşun uzun süre organizmada kalabilen bir maddedir. Erişkinlerde kurşunun %95'i iskelette depolanır. Bununla birlikte çocuklarda kemikteki kurşun oldukça mobildir. Yumuşak dokularda önemli miktarda bulunan kurşunun yarılanma ömrü iki aydır. Beyinde ise, kan-beyin bariyerini yavaşça geçer ve biyolojik yarı ömrü bir yıldan fazladır⁷⁸.

İnsanın kanındaki kurşun seviyesiyle çalıştığı çevrenin kurşun konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki olduğu bilinmektedir⁴⁵. Bu durumu endüstriyel bölgelerde yapılan kan analizlerindeki kurşun miktarının (80 µg) daha yüksek belirlenmesi de desteklemektedir⁷⁹. Hatta şehirleşmenin olduğu bölgelerde kırsal bölgelere nazaran 17 kat daha fazla kurşun saptanmıştır⁴⁵.

Kurşunun insan vücudu için gerekli herhangi bir fonksiyonun olduğu bilinmemektedir. Ancak vücuda hava, su ve gıdalarla yüksek oranda alınması durumunda hasara neden olabilmektedir⁷⁷. Kurşun, hemoglobinin önemli bir bileşeni olan hemin sentezlenmesini önleyerek kansızlığa sebep olmaktadır. Kurşun zehirlenmesi; alyuvarların sentezini azaltmakta ve mevcut olanların da biyolojik

ömrünü kısaltmaktadır. Benzer şekilde böbrek enzimlerini de inhibe ederek zehirlenmelere sebep olmaktadır⁴⁵.

Kurşun, bir nevi nörotoksin olup anormal beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarına sebep olmaktadır⁴⁶. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalarda kanda kurşun miktarı arttıkça IQ seviyesinin düştüğü, zihinsel gelişmenin yavaşladığı ve davranış bozukluklarının görüldüğü tespit edilmiştir⁷⁵.

Kurşun, akut zehirlenmeden daha çok kronik zehirlenmelere neden olur. Zehirlenme başlangıcında; iştahsızlık, zayıflama, yorgunluk, baş ağrısı, anemi, ağızda madeni tat, kansızlık, mide şikayetleri, diş etlerinde koyu mavimsi çizgiler görülür. Daha ileri dönemlerinde; huzursuzluk, sinirlilik, tekrarlayan kusmalar, eklem ağrıları, ellerde felç, his bozuklukları görülür. En ileri devresinde ise; yüksek tansiyon, devamlı kusma, beyin ödemi, beyin damarlarında spazm sonucu ortaya çıkan merkezi sinir sistemi bozuklukları kendini gösterir^{11,79}.

Kurşunun fazla alınımı başta kemikler olmak üzere dalak, karaciğer, böbreklerde birikmektedir. Bununla birlikte kurşunun kükürde karşı eğilimi olduğundan diş kenarlarında ve bağırsaklarda da bulunmaktadır. Zararlı olan depo edilen kurşun değil, kanda dolaşan kurşundur⁷⁹.

2.2.5. Kadmiyum

Kadmiyum, doğada saf halde bulunmayan gümüş renkli bir metaldir⁸⁰. Doğada çinko ile beraber bulunur. Özellikle çinko madenlerinde çinkoya eşlik eden bir maden filizi olup, maden filizlerinin eritilmesi sonucu atmosfere, suya ve toprağa geçer¹¹.

Kadmiyumla ilgili en önemli kronik zehirlenme 1955 yılında Japonya'da görülmüştür. Bu zehirlenme, 1955-1968 yılları arasında maden atıkları ile kontamine

olmuş nehir sularıyla sulanan kadmiyum içeriği yüksek pirinçleri tüketen 100 kişinin ölümüne neden olmuştur^{10,81}.

Kadmiyum, bütün gıdalarda çok az da olsa bulunmaktadır⁶⁶. Hayvansal gıdalardan karaciğer ve böbrekler kadmiyumca zengindir⁴⁵. Ayrıca, mantarlar başta olmak üzere kabuklu deniz ürünleri, midye, deniz yosunu ve kakao tozu da kadmiyum bakımından zengin gıdalardır⁴⁸. Gıdalarla alınan kadmiyumun toksik etkisi oldukça azdır. Toksitite yalnızca çevresel kirlenmeden ve kadmiyum miktarı yüksek gıdaların sürekli tüketimiyle ortaya çıkar⁸².

Gıdalarla alınan kadmiyum, ince bağırsaktan emilir⁶⁶. Kan yoluyla ilk olarak karaciğere ve burada proteinlerle birleşerek, böbreklere taşınır. Böbreklerin korteks bölgesinde birikerek filtreleme mekanizmasına zarar verir. Bu da, proteinlerin ve şekerin vücuttan atılmasına ve sonuçta da böbrek rahatsızlığına neden olur^{73,83}. Ayrıca kadmiyum insanlarda ishale, karın ağrısına, ciddi kusmaya, sindirim güçlüğüne, üreme yetersizliğine, kemik kırılmasına, merkezi sinir ve bağışıklık sisteminde hasara, psikolojik bozukluklara neden olmaktadır^{46,84}. Bunlara ilave olarak akciğer ve prostat kanserlerinin oluşumunda etkin olduğuda bilinmektedir⁴⁶.

Kadmiyum toksisitesine karşı koruyucu olabilen metallothionein olarak adlandırılan bir protein grubu vardır. Bu protein ilk kez 1950 yılında Margoshes ve Vallee tarafından böbrek korteksinde tespit edilmiştir. Bu protein, birçok prokaryot ve ökaryotta bulunan, düşük moleküler ağırlığa sahip metal bağlayan protein sınıfına girmektedir⁸⁵. Metallothionein vücutta çok düşük düzeyde bulunmaktadır. Fakat kadmiyum ve çinko gibi ağır metallerin mikromol düzeyinde bulunması, metallothionein transkripsiyonu hızla arttırmaktadır⁸⁴.

Kadmiyumun yıllık doğaya yayılım miktarı 25000–30000 ton olup bunun 4000–13000 tonu insan faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır⁵². Kontamine olmamış topraktaki kadmiyum, toprağın ana materyalinden gelmektedir. Genellikle toprak profilinde düzgün dağılım gösteren kadmiyum, 0,1-1 ppm düzeyinde bulunmaktadır. Ancak havada normal konsantrasyon limitlerinde bulunan kadmiyumun insan faaliyetleri sonucu konsantrasyonunun artması, toprağın üst tabakasında birikimine neden olmaktadır. Dolayısıyla bu topraklarda yetişen bitkilerin kadmiyum konsantrasyonu yüksek olmaktadır^{68, 82}.

WHO'ya göre 1. sınıf kanserojen madde olarak kabul edilen kadmiyumun haftalık 0,4–0,5 mg alınabileceği belirtilmiştir^{44,45}. Bununla birlikte insan sağlığının korunması için havadaki kadmiyum konsantrasyonunun; kırsal alanlarda 1-5 ng/m³'ü, zirai faaliyetlerin bulunmadığı kentsel ve endüstriyel bölgelerde 10-20 ng/m³'ü aşmaması gerektiği de bildirilmiştir⁸⁶. Ayrıca EPA (Enviromental Protection Agency) içme sularında 5 ppb'den fazla kadmiyumun bulunmamasını önermiştir⁸².

İnsan yaşamını etkileyen en önemli kadmiyum kaynakları; rafine edilmiş gıdalar, kabuklu deniz ürünleri, çay, kahve, sigara dumanı, su boruları, kömürün yakılması, tohum aşamasında kullanılan gübreler, pestisitler, insektisitler ve endüstriyel üretim aşamasında oluşan baca gazlarıdır⁴⁴. İnsanlardaki yarı ömrü 16–33 yıldır⁴⁵.

Birçok organizma için toksik olan kadmiyum; direkt sudan, bir dereceye kadar hava ve gıdalardan alınarak, vücutta birikme özelliğine sahiptir. Kadmiyum içeriği 0,01 mg/m³ olan havanın 14 günden daha fazla solunması; kronik akciğer rahatsızlıklarına, böbrek yetmezliğine ve hipertansiyona sebep olabilir. Su ve gıdalarla alınımı ise karaciğer, böbrek, beyin, sinir hastalıklarına, kemiklerde hassasiyete, demir eksikliğine yol açar ve çoğu ölümcül olabilir^{44-46,83,84}.

Kadmiyumun vücuttan atılımının az olması nedeniyle birikmesinin sağlık üzerine olumsuz etkileri zamanla ortaya çıkmaktadır⁸⁶. Kadmiyum zehirlenmesi ve çinko yetersizliği birbirleriyle bağlantılı olup vücuttaki çinko-kadmiyum oranına göre değişmektedir⁴⁴. Yani zehirli etkisini genellikle enzim sistemlerinde çinko ile yer değiştirerek bu sistemleri çalışamaz hale gelmesiyle göstermektedir^{46,84}. Çinko eksikliği ve kadmiyum zehirlenmesi, fazla rafine edilmiş tahıl ve unların tüketimiyle artmaktadır⁴⁴. Kadmiyum zehirlenmesi; adrenal bezini etkilemekte, üreme sistemi nekrozlarına ve hemoglobin seviyesinde azalmaya sebep olmaktadır^{45,83}. Kronik kadmiyum zehirlenmesinin en şiddetli şekli ‘itai-itai’ hastalığıdır. Bu hastalık eklemlerde kalsiyum kaybı sonucu kemik bozuklukları ve böbrek bozuklukları ile belirgin olup hastaların hareket ederken büyük acılar çekmesine sebep olmaktadır^{10,80}.

2.3. Mineral Madde Analizleri

Atomların absorpsiyon ve emisyon özelliklerinden yararlanılarak birçok mineral madde analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden AAS’ın 1950’lerde ortaya çıkışıyla birlikte mineral madde analizlerinde en çok başvuru alan metot olmuştur. Sonraki yıllarda ICP-AES tekniği AAS’nin yanında yer almaya başlamıştır. Böylece hem AAS hem de ICP-AES analizlerde standart metot haline gelmiştir. Bu iki tekniğe 1990’lı yıllarda ICP-MS eklenmiştir. Günümüzde bu üç teknik mineral madde analizlerinde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Diğerleri kadar popüler olmayan atomik floresans spektroskopisi, X-ışınları Floresans spektroskopisi ve nötron aktivasyon analizi de mineral madde analizlerinde kullanılmaktadır⁸⁷.

Mineral madde analizlerinde yaygın olarak kullanılan ICP-AES’te analizi yapılacak maddenin sıvı veya gaz halinde olması gerekmektedir. Bu nedenle maddenin organik

kısının parçalanıp inorganik kısmın çözelti haline getirilmesi amacıyla farklı yakma teknikleri kullanılmaktadır.

2.3.1. Yakma (Çözünürleştirme) Teknikleri

2.3.1.1. Kuru Yakma

Yakma yöntemlerinden en eskisidir. Bu yöntemde katı örnekler homojen hale getirilerek uygun krozelere konulur. Yakma işlemini hızlandırmak amacıyla örneklerin üzerine etil alkol ilave edilerek 400°C’de ön yakma işlemi yapılır. Kül fırınında 500–700°C’de yanmamış madde kalmayıncaya kadar yakma işlemine devam edilir. Krozede elde edilen kül rengi açık gri ise yakma işleminin tamamlandığı anlaşılır. Ancak, külün renginin siyah olması malzemenin tamamen yanmadığı ve halen organik kısımların olduğunu gösterir. Kül haline getirilen numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulur ve asit/asit karışımları ilave edilerek çözülür. Son olarak çözelti, deiyonize su ile seyreltilerek süzülür^{88,89}.

Kuru yakma yönteminde sadece fırına ihtiyaç duyulması ve çok çeşitli örneklerle uygulanabilir olması avantajlarıdır. Ancak, uçuculuğu yüksek elementlerin yakma işlemi esnasında buharlaşması sonucu fazla miktarda kayıpların ve bazı kirlenmelerin oluşması dezavantajlarıdır. Ayrıca, kuru yakmanın yapıldığı sıcaklıklarda sodyum ve potasyumda da kayıplar meydana gelebilir⁹⁰.

2.3.1.2. Yaş Yakma

Bu yöntemde, katı örnekler homojenize edildikten sonra sabit tartıma gelineye kadar kurutulur. Kurutulan örnekten belirli bir miktar alınarak üzerine çözünürleştirmede kullanılan asit çözeltisi ilave edilir. Çözelti olarak genellikle yükseltgeyici kimyasallar (örn., HCl, H₂SO₄, HNO₃, HClO₄, HF, H₂O₂) veya bunların karışımları kullanılır. Reaktif ilavesinden sonra örnek ısıtıcı tabla (hot plate) üzerinde

çözdürülür. Çözelti berraklaşınca kadar bu işleme devam edilir. Çözündürme zamanı kullanılan çözeltiye göre değişir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan çözelti, deiyonize su ile seyreltildikten sonra süzülür⁸⁹.

Günümüzde yaş yakma yöntemi kuru yakmaya göre daha çok kullanılmaktadır. Ancak, kuru yakmaya oranla daha fazla çözeltiye ihtiyaç duyulması, çözeltiden kaynaklanan kirlenmeler, örnek miktarında sınırlama ve daha fazla dikkat gerektirmesi bu yöntemin dezavantajlarıdır⁹¹.

2.3.1.3. Mikrodalga Yakma

Yaş ve kuru yakma yöntemlerinde etkileşimlerin fazla olması ve açık kapların kullanılması örneklerin kirlenme riskini artırır. Bu işlem esnasında çıkan dumanlar toksik olup, analizi yapan kişiye ve çevreye zarar verebilir. Ayrıca, daha fazla çözelti ve zaman harcanır. Bu olumsuzlukların giderilmesi amacıyla temiz kimya prensibine dayanarak geliştirilen mikrodalga yakma yöntemi bu metotların yerini almaya başlamıştır⁹¹.

Bu yöntem ilk olarak 1975 yılında Abu Samra ve arkadaşları tarafından biyolojik örnekleri yakmak için açık yaş yakma yönteminde ısıtmayı hızlandırmak amacıyla kullanılmıştır. Biyolojik örneklerin erlenmayer içinde asitle çözündürülmesi bu yöntemle 1–2 saat sürerken, mikrodalga ile 5–15 dakikaya indiğinin belirlenmesiyle birlikte mikrodalga yakma hızla gelişmeye başlamıştır⁹².

Mikrodalga yakma işleminde, yaklaşık 0,5–1 g örnek çeşitli asit veya asit karışımları ile kapalı bir sistemde kademeli sıcaklık ve basınç uygulanarak yapılır^{93,94}. Çözelti olarak genellikle nitrik asit, hidroklorik asit, hidroflorik asit, sülfürik asit, perklorik asit, hidrojen peroksit veya bunların değişik kombinasyonları kullanılır⁹². Bu yöntemde kullanılan çözelti, basınç, sıcaklık ve sürenin seçimi önemlidir^{93,94}. Ayrıca, bu

işlem sırasında uygulanan güç, çözündürme sıcaklığı, ortamda çözündürmeyle oluşan basınç, zaman ve çözeltinin kimyasal gücü kritik parametrelerdir⁹⁴.

Geleneksel yakma yöntemlerinde ısı, gıda maddesine kondüksiyon, konveksiyon ve/veya radyasyon ile transfer olurken mikrodalga da ısı direkt olarak gıda içerisine uygulanmaktadır. Bu yüzden mikrodalgada yakma geleneksel yakmaya göre daha hızlıdır⁹³. Mikrodalga yakma; daha doğru sonuç vermesi, yakma süresinin kısa olması ve örneklerden daha iyi geri kazanımın elde edilmesi bakımından kuru ve yaş yakmaya göre daha avantajlıdır. Bu yöntem uçucu elementler için daha uygundur²⁵. Ayrıca örneklerin yakılması için 10 ml gibi diğer yöntemlere göre oldukça az miktarda çözelti kullanılması etkileşimleri önlemektedir⁹². Bununla birlikte örneklerin organik kısmının yakılarak tamamen çözünürleştirilmesi ve daha berrak bir çözeltinin elde edilmeside bu yöntemin avantajlarından^{93,94}.

Mikrodalga yakma işlemi ilk önceleri cam ve teflon kaplarda açık olarak yapılırken günümüzde kapalı kaplar tercih edilmektedir. Açık sistemlerde asit/asit karışımı ile örnek bir tüp içine konulur ve mikrodalga enerjisi ile ısıtılarak yakma yapılırken kapalı sistemlerde ise bu işlem yüksek basınç altında gerçekleştirilmektedir. Yakma için kapalı teflon tüplerin kullanılması zararlı buharın yayılmasını ve örneğin kirlenmesini engellerken, kolay uçucu minerallerin de (örn., Hg ve Se) örnekten uzaklaşmasını önlemektedir^{93,94}.

2.3.2. Atomik (Optik) Emisyon Spektroskopisi

Spektroskopi, bir örnekteki atom, molekül veya iyonların, bir enerji düzeyinden diğerine geçişleri sırasında absorplanan veya yayılan elektromanyetik ışımanın ölçülmesi ve yorumlanmasıdır. Oda sıcaklığındaki bir maddenin atomlarının çoğu temel haldedir. Temel haldeki atomlar, elektromanyetik ışımayı absorbe ederek en düşük

enerji düzeyinden (temel düzey) uyarılmış düzeye geçer. Uyarılmış hal kararsız haldir ve bu durumdaki atomun ömrü kısadır. Uyarılmış düzeydeki atomlar, temel düzeye geçişleri sırasında ultraviyole veya görünür bölge sınırları içinde ışık enerjisi yayar. Tabiatda bulunan elementlerin atom numaraları ve elektron sayısı farklı olduğu için bunların enerji seviyeleri ve dolayısıyla yaydıkları ışının dalga boyuda farklıdır. Bu nedenle her atomun kendine özgü absorpsiyon ve emisyon spektrumu vardır⁹⁵.

Uyarılmış enerji düzeyine çıkarılan atomların daha düşük enerji düzeyine geçişlerinde yaydıkları ultraviyole ve görünür bölge ışımalarının ölçülmesi, yaygın olarak kullanılan bir atomik spektroskopi yönteminin temelini oluşturur. Eğer atom veya iyonların uyarılmış enerji düzeylerine çıkmaları bunların ultraviyole veya görünür bölge ışımalarını absorplamaları dışında bir süreçle gerçekleşmişse yayılan ışımının ölçülmesi yöntemine atomik emisyon spektroskopisi (AES) adı verilir⁹⁶.

AES’de elektrik boşalımına dayanan atomlaştırma ve uyarma kaynakları son yıllarda yerini plazmalara bırakmıştır. Plazma, katyon ve elektron (bu ikisinin net toplam elektrik yükü sıfır olmalı) içeren elektriksel olarak iletken olan gaz halindeki iyon akımı olarak tanımlanabilir⁸⁷. Günümüzde yaygın olarak kullanılan başlıca plazma tipleri:

2.3.2.1. Doğru Akım Plazma

Plazma, iki eğik elektrot arasında serbest kalan elektronlar tarafından oluşturulur. Örnekler bir elektrota yerleştirilir. Plazmanın bir kısmı elektrotlar arasında kalan gaz akımından oluşur. Kolay iyonlaşan alkali elementlerin eklenmesi ile elektrik iletkenliği değiştirilebilir. Akımsız bir plazmadır⁹⁷.

2.3.2.2. Mikrodalga Eşleşmiş Plazma

Doğru akım plazmadaki bazı eksiklikler elektrotsuz plazmaların en basiti olan mikrodalga eşleşmiş plazmanın geliştirilmesine yol açmıştır. Bu plazmada mikrodalga enerji, cam veya kuartz bir tüpün etrafındaki uyarım boşluğundan plazma gazına gönderilir. Plazma, bir tüp içerisinde ve elektrik alanın en yüksek olduğu bölgede oluşur. Çalışma koşullarına göre uyarma sıcaklığı 2000–3000°K dir. Analizi yapılacak örnek miktarının az olduğu durumlar için uygundur⁹⁷.

2.3.2.3. Kapasitif Eşleşmiş Mikrodalga Plazma

Kapasitif eşleşmiş mikrodalga plazma; eksenel güç jeneratörü ve bunun ucunda aerosolün sürüklendiği bir yanma ucundan oluşmaktadır. Plazma, atmosfer basıncında ve örneği taşıyan aerosol içinde oluşur. Aerosol taşıyıcı gaz olarak azot ve argon kullanılır⁹⁸.

2.3.2.4. İndüktif Eşleşmiş Plazma

Bu plazma ilk olarak 1942 yılında Babat ve 1960'ların başlarında Reed tarafından geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda Fassel ve arkadaşları ilk olarak bu plazmayı bir çalışmada kullanmışlardır. Ancak 1970'li yılların ortasında ticari olarak üretilmeye başlanmıştır. 1980'li yıllarda emisyon spektroskopisinin özellikle çözelti analizleri için en uygun uyarma kaynağı olmuştur⁹⁹.

ICP; örneğin girdiği bölüm, plazma bölgesi ve bir dedektörden oluşmaktadır. Plazma oluşturmak için genellikle argon gazı kullanılmaktadır. Bu gaz ile oluşturulan plazmada oksit ve hidroksit radikalleri oluşturan elementlerin (örn., bor, silisyum) ölçümleri de rahatlıkla yapılabilir. ICP'nin diğer bir üstünlüğü de, iyonlaşmayı büyük ölçüde engelleyebilmesidir. Elektronlar, argon iyonları ve argon atomlarından oluşan plazmada sıcaklık 5000–9000°K'dir¹⁰⁰.

2.3.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik (Optik) Emisyon Spektroskopisi

ICP-AES, bir güç kaynağıyla oluşturulan plazma içerisine püskürtülen çözeltinin plazma sıcaklığında atomlarına ayrışmasına ve bu atomların emisyonunun ölçülmesine dayanan bir analiz yöntemidir. Bu yöntem sayesinde fosfor ve azot dahil olmak üzere 70'in üzerinde elementin ppb düzeyinde tayini yapılabilmektedir⁴⁶. Ayrıca, geniş ölçüm aralığında çalışılabilmesi, yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirliği nedeniyle multi element analizlerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Eş zamanlı ölçüm yapan bir cihaz olmasından dolayı sistemin hazır duruma gelmesi, örneğin verilmesi, verilerin alınması ve yıkama işlemi yaklaşık 2 dakikalık bir sürede tamamlanmaktadır. Buna karşın ardışık olarak ölçüm yapan cihazlarda ise bu süre daha uzun olmaktadır.

ICP-AES cihazı, örnek giriş sistemi (sisleştirci), ICP torcu, yüksek frekans jeneratörü, transfer optikleri ve spektrometre ve bilgisayar bağlantısı olmak üzere 6 temel kısımdan oluşmaktadır.

2.3.3.1. ICP-AES Tekniğinde Örneğin Analize Verilmesi

Bu teknikte sıvı ve gaz örnekler direkt olarak cihaza verilirken katı örnekler ise uygun ekstraksiyon veya çözünürleştirme teknikleri uygulandıktan sonra çözelti halinde cihaza verilebilmektedir. Çözelti cihaza bir sisleştirci (nebulizer) kullanılarak 1–10 mm çapında parçacıklar içeren bir sis halinde sıvı buhara dönüştürülür. Örneğin cihaza verilmesinde pinomatik sisleştirci, ultrasonik sisleştirci, hidrür oluşturunuc, elektrotermal sisleştirci kullanılmaktadır¹⁰¹.

Pinomatik sisleştirci: Günümüzde kullanılan en yaygın sisleştircidir. Örnek çözelti, sisleştirci gazın akışı ile birlikte bir boru boyunca sürüklenmektedir. Sprey çemberinde (spray chamber) sis haline getirilen çözeltinin çok küçük tanecikleri

plazmaya doğru hareket ederken büyük taneler ise sprej çemberinden drene edilmektedir¹⁰¹.

Ultrasonik sisleştirici: Bu cihazda, 50kHz-4MHz ultrasonik frekansta titreşim yapan bir piezoelektrik kristale, küçük bir plastik tüpten örnek pompalanır. Kristalin titreşimleri yardımıyla daha küçük taneciklere parçalanan çözelti plazmaya gönderilir. Büyük tanecikler ise drene olur¹⁰¹.

Hidrür oluşturucu: Metaloidler (örn., As, Se, Sb, Sn) ve yumuşak metaller (örn., Al, Cu, Zn, Pb) için kullanılmaktadır. Bu elementlerin NaBH_4 ile tepkimleri sonucu oluşan uçucu hidrür formunun plazmaya gönderilmesiyle analizi yapılmaktadır. Bu tekniğin, sisleştirme işleminde yüksek etkinliğe sahip olması ve akış-enjeksiyon teknikleri ile kullanıldığında otomasyonun kolay olması avantajlarıdır. Dezavantajları ise, reaksiyonların yavaş olması, etkinliği düşüren kirleticilerden kaynaklanan interferantlar, deneysel şartların (örn., reaktif derişimi, pH) kontrol altında tutulamamasıdır¹⁰¹.

Elektrotermal sisleştirici: Hidrür oluşurmada karşılaşılan bazı sorunları gidermek amacıyla geliştirilen, katı ve sıvı örneklerde kullanılan bir tekniktir. Sıvı örnekler elektrikle ısıtılan fırına 5–50 ml gibi çok az miktarda konularak elektrotermal atomlaşma için buharlaştırılır. Örneği cihaza göndermek amacıyla elektrotermal aletler (örn., karbon çubu ve kaplar, grafit tüpler, tungsten kablolar) kullanılır⁶¹. Oluşan buhar, plazmaya bir argon akışıyla taşınır. Çok az miktardan örnek kullanılması ve girişimlerin önlenebilmesi bu yöntemin avantajlarından¹⁰¹.

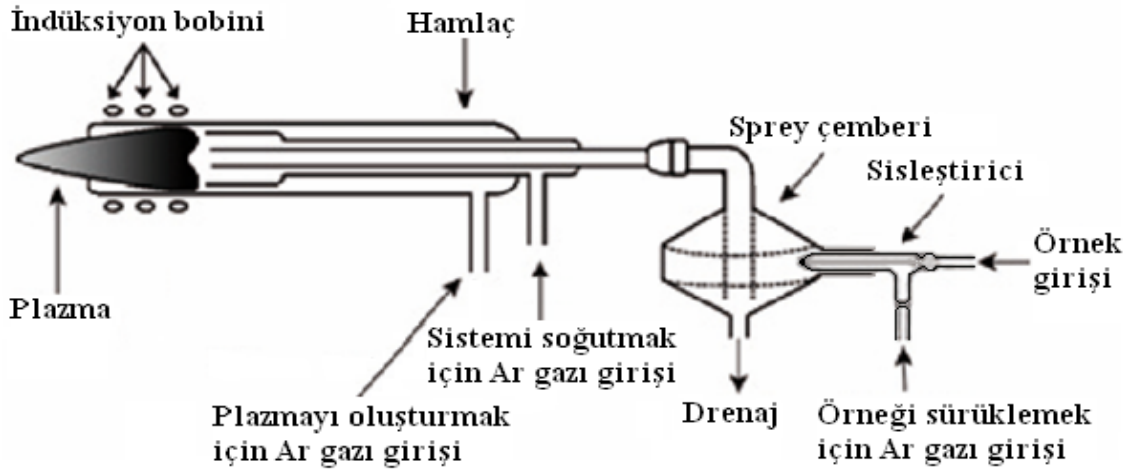
2.3.3.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kaynağı

Plazma; nötr gaz, katyon ve elektron içeren iletken bir gaz karışımı olarak tanımlanabilir. Kolay iyonlaştırılabilmesi ve inert olması nedeniyle ICP tekniğinde argon gazıyla oluşturulan plazmada argon, iyonlaşmış argon ve elektronlar bulunur⁸⁷.

ICP, aleve benzer kuyruğu olan çok yoğun, parlak beyaz ve geçirgen olmayan bir merkeze sahiptir. Bu merkez, argonun atomik spektrumunu engileyerek sürekli bir spektrum oluşturur. Sürekli ışımının azaldığı merkezin üzerindeki 10–30 mm’lik plazma optik olarak geçirgendir. Bu nedenle, spektral gözlemler genellikle indüksiyon bobininin 15–20 mm üzerindeki aralıkta yapılır¹⁰¹.

ICP; iç içe geçmiş üç kuvars borudan oluşan hamlacın (torch) uç kısmında meydana gelir (Şekil 1). Argon, en dış ve ortadaki boruların arasından helezonik bir şekilde geçerek borunun uc kısmına ulaşır. Borular arasından dakikada 10–17 ml argon gazı geçer. En dıştaki borunun uç kısmında genellikle bakırdan yapılmış bir radyo frekans jeneratörüne bağlı, su soğutmalı indüksiyon bobini bulunur. Bu borunun ucunda, radyo frekans jeneratöründen gelen ve indüksiyon bobininden geçen akım sayesinde hamlacın ucunda bir elektromanyetik alan oluşur. Radyo frekans jeneratörünün frekansı 3–75 MHz arasında değişmektedir. Günümüzde ticari olarak üretilen ICP-AES’ler 27 veya 40 MHz frekans ve 0,5–1,5 kW güç üretir^{87,101}.

Argon gazı akımında, ilk elektronların oluşturulması bir elektron kaynağı (tesla boşalımı) ile sağlanır. Elektronlar, indüksiyon bobinin oluşturduğu manyetik alanda hızlanarak argon atomlarıyla çarpışır ve argon iyonları ile daha fazla sayıda elektronun oluşmasını sağlar. Bu işlemin sürekli olarak tekrarlanmasıyla ortamdaki argon iyonu ve elektron sayısının artışı ile oluşan plazma, manyetik alandan enerji absorplayarak 6000–10000°K arasında değişen bir sıcaklığa ulaşır ve hazır duruma gelir⁷⁵.



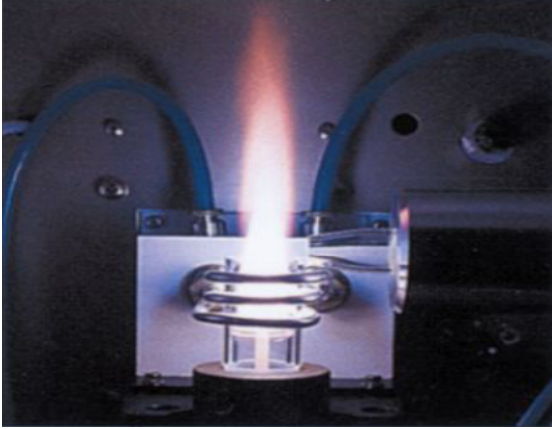
Şekil 1. İndüktif Eşleşmiş Plazma

Numune çözeltisi bir peristaltik pompa yardımıyla sisleştiriciye gönderilir. Burada argon ile çarpıştırılarak numunenin çok küçük parçacıklara ayrılması sağlanır. Küçük çaplı damlacıklar, taşıyıcı argon ile birlikte spray çemberinde (spray chamber) sıvı buhar haline geçerek hamlacına en içteki ince borusuna ulaşır. Bu boru yardımıyla plazmanın içine giren örnek çözelti atomlaşır ve uyarılır¹⁰⁰.

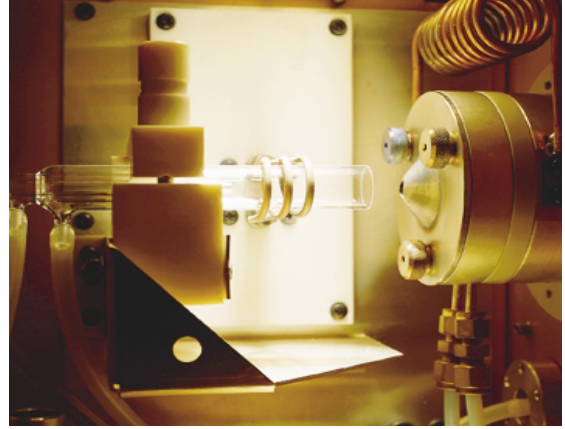
ICP-AES cihazlarında ölçüm dikey (vertical) veya yatay (axial) plazma pozisyonlarında yapılabilir. Günümüzde her iki plazma pozisyonunda da ölçüm yapan cihazlar bulunmaktadır⁸⁷.

Dikey plazma: Bu konumdaki plazmada analitik bölge, plazmanın kenarında gözlenir. Farklı elementlerin farklı yüksekliklerde emisyon vermesi nedeniyle dikey plazmada gözlem yüksekliği çok önemlidir. Bu sistemler geniş bir ölçüm aralığında çalışabilir. Böylece potansiyel, spektral ve zemin interferansların etkileri sınırlandırılabilir (Şekil 2)⁸⁷.

Yatay plazma: Plazma yatay durumda olup normal analitik bölge plazmanın sonundadır. Plazma eksenini boyunca yoğun olarak gelen emisyonlar kullanılmakta, dolayısıyla duyarlılık artmaktadır. Ancak; duyarlılığın artmasına (belirleme limitinin azalmasına) karşılık bu sistemlerde dinamik sınır (çalışma üst sınırı) 5–10 kat daha düşmektedir. Bu nedenle yatay sistemlerde ancak düşük miktarlarındaki numunelerin analizi mümkün olabilmektedir (Şekil 3)⁸⁷.



Şekil 2. Dikey Plazma



Şekil 3. Yatay Plazma

Plazmada oluşan atom ve iyonların emisyonu değişik şekillerde ölçülebilmektedir. Sırayla (sequential) ve aynı anda (simultaneous) ölçüm yapanlar olmak üzere iki ayrılmaktadır.

Sırayla ölçüm yapanlarda monokromatörle birlikte sadece bir detektör (fotoçoğaltıcı tüp) vardır. Seçilen dalga boyundaki ışık, dedektöre gönderilir ve ışın şiddeti ölçülür. Bu işlem her bir dalgaboyu için tekrarlanır⁸⁷.

Aynı anda ölçüm yapanlarda ise, tüm ışın emisyonları aynı anda tek detektör ile ölçülür. Bu cihazlarda, analizler esnasında iç standart kalibrasyonu yapılabilmektedir. Bu şekilde ölçüm yapan ICP-AES'lerin farklı modelleri vardır. Bu modellerden birinde çok sayıda fotoçoğaltıcı detektör, önceden belirlenmiş dalga boylarında ölçüm yapmak için sabit sütunların arkasına monte edilmiştir. Diğerinde ise, echelle monokromatör ve iki boyutlu yük-enjeksiyon detektörlü bir tasarım vardır⁸⁷.

ICP-AES; farklı maddelerin analizi için uygun olması ve çok sayıda örneğin hızlı bir şekilde ölçülebilmesi nedeniyle birçok araştırmada kullanılmaktadır. Bu cihazın bazı özellikleri şunlardır⁷⁷⁻⁷⁹.

- Yaklaşık yetmiş değişik kimyasal elementin analizi yapılabilir.
- İz elementlerin (örn., Cu, Cr, Ni ve Zn) belirlenmesinde oldukça hassas olup Ti, W, V elementleri ile bazı ametaller belirlenebilir.
- Oldukça geniş bir kalibrasyon aralığına sahip olup tek bir örnekle yüksek ve düşük ppm seviyelerinde ölçüm yapılabilir.
- İnert argon atmosferinde daha etkin bir atomlaştırma ve multielement ölçüm yapılabilir.
- Dikey plazmalı sistemlerin duyarlılığı AAS'e yakınken, yatay plazmalılarda 5–10 kat daha fazladır.
- Cihazın fiyatı ve işletim maliyeti yüksektir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Örneklerin Toplanması

Araştırmada, Erzurum Et Kombinası'na kesim için getirilen (18.02.2008) iki, üç ve dört yaşındaki 7 DAK ile iki ve üç yaşındaki 4 Montofon ırkı erkek sığırın 3 farklı sakatatından (karaciğer, kalp ve böbrek) ve 7 farklı kasından (*M. longissimus dorsi*, *M. longissimus thoracis*, *M. psoas major*, *M. intercostalis internus*, *M. semispinalis capitis*, *M. biceps femoris*, *M. biceps brachii*) 100'er gram örnek alınmıştır. Örnekler polietilen torbalara konularak analiz gününe kadar derin dondurucuda -18°C'de muhafaza edilmiştir.

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Örneklerin yakma işlemi, Erzurum Bölge Hıfzısıhha Enstitüsü Müdürlüğü enstürmental analiz laboratuvarında mikrodalga yakma cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Derin dondurucuda muhafaza edilen örnekler yakma işleminden önce buzdolabında çözünmüştür. Daha sonra, 0,0001 g hassasiyetli terazi ile yaklaşık 500 mg örnek tartılarak, teflon tüpe konulmuştur. Her bir tüpü 6 ml HNO₃ (%65) ve 2 ml H₂O₂ (%35) ilave edilerek (Şekil 4) kapağı kapatılmış ve mikrodalga cihazına yerleştirilmiştir.

Mikrodalga cihazında sıcaklık 100°C'den başlayarak kademeli olarak 160°C'ye kadar artırılmış ve her bir sıcaklıkta belirli süre kalarak örneklerin yakılması işlem yaklaşık 60 dakikada tamamlanmıştır. Bu işlemden sonra cihazdan çıkarılan tüplerin oda sıcaklığına kadar soğumaları sağlanmıştır. Soğuyan tüplerin kapakları açıldıktan sonra sıvı hale gelen örnekler plastik viallere aktararak ultra saf su ile 25 ml'ye seyreltilmiştir.



Şekil 4. Mikrodalga Yakma İşleminin Ön Hazırlık Aşaması

3.3. Standart Çözeltilerin Hazırlanması

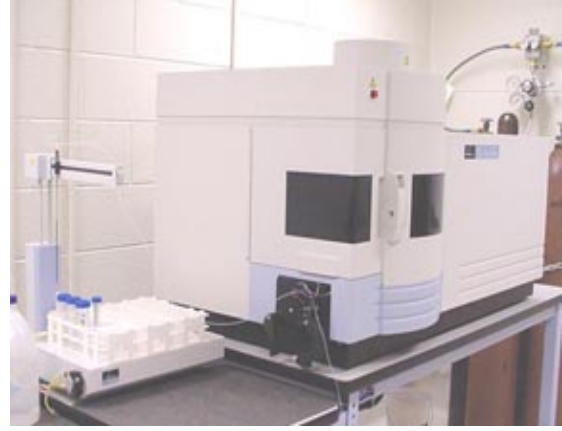
ICP-AES ile örneklerde belirlenmesi planlanan elementlerin her birinin sığır et ve sakatatında bulunabileceği konsantrasyon dikkate alınarak 10, 100, 1000 mg/l derişimlerde standart çözeltisi (Merck) kullanılarak kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır.

3.4. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar

- Ultra saf su: Millipore Milli-Q Water Purification System model ultra saf su cihazı
- Mikrodalga yakma işlemi: Berghof Speedwave MWS-3⁺ model mikrodalga cihazı (Şekil 5)
- İz elementlerin analizi: Perkin Elmer Optima 2000 DV ICP-AES (Şekil 6)
- Terazi (Scartec)
- Mikropipet (Brand)



Şekil 5. Mikrodalga Yakma Cihazı



Şekil 6. ICP-AES

3.5. Örneklerin Analizi

İz elementlerin belirlenmesinde, 9. Kolordu A Tipi Gıda Kontrol Müfreze Komutanlığı'na ait ICP-AES cihazı kullanılmıştır. Analize hazırlanan örneklerin, ICP-AES cihazında her element için belirtilen dalga boyunda köre karşı okuması yapılmıştır. ICP-AES cihazının teknik özellikleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. ICP-AES ile Yapılan Element Tayinindeki Analiz Parametreleri

Güç (Watt)		1300
Gaz akış oranı (l/d)	Plazma Gazı	15
	Yardımcı Gaz	0,4
	Sisleştirici Gaz	0,82
Örnek akış oranı (ml/d)		1
Hamlaç (Torch)		Aksiyal
Oto örnekleyici		AS 90 Plus
Okuma süresi (s)		90
Gecikme süresi (s)		10
Yıkama süresi (s)		60

Araştırmada, ölçümü yapılan iz elementlerin okuma yapıldığı dalga boyu, cihazın okuma aralığı ve kalibrasyon eğrilerinin korelasyon değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Bütün iz elementlerin belirleme limitleri <1 ppb olarak belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda örneklerin içerdiği iz element miktarlarına ait değerler ppm (mg/kg) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9. İz Elementlerin Okuma Yapıldığı Dalga Boyları, Cihazın Okuma Aralığı ve Kalibrasyon Eğrilerinin Korelasyon Değerleri

İz element ve ağır metaller	Dalga boyu (nm)	Okuma aralığı (ppm)	Kalibrasyon eğrisinde korelasyon (%)
Fe	238,204	0,16-2,56	0,9907
Zn	213,857	0,16-2,56	0,9988
Cu	324,752	0,08-1,28	0,9997
Pb	224,688	0,00004-0,0064	0,9999
Cd	226,502	0,00002-0,0016	0,9970

3.6. İstatistiksel Analiz

Analizler sonucu elde edilen iz element içeriklerinin ortalama değerleri ve standart hataları hesaplanarak, yaş ve ırkın sakatat ve kastaki iz element içeriğine bağlı olarak değişimini ve interaksiyonunu tespit etmek için Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi, t-testi ve korelasyon analizleri yapılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak açıklanmıştır.

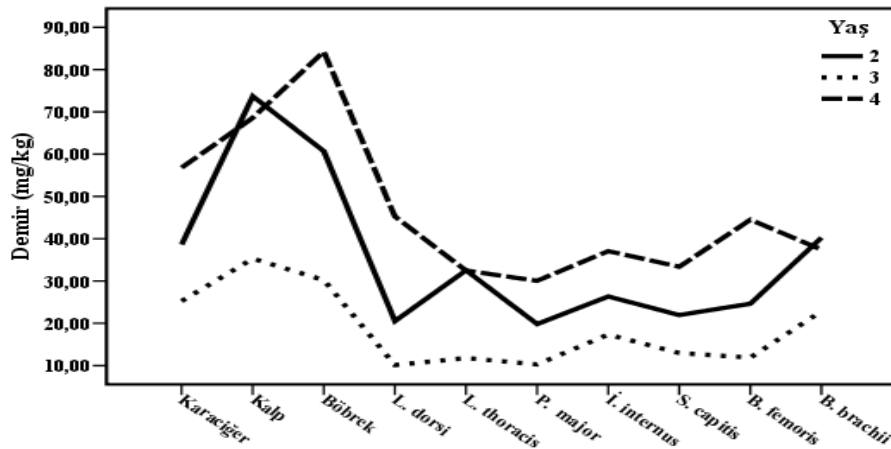
4. BULGULAR

Sığırların sakatat ve kaslarının yaş ve ırka göre iz element içerikleri aşağıda verilmiştir.

4.1. Sığır Sakatat ve Kaslarında Yaşa Göre İz Element İçerikleri

Sığırların 3 farklı sakatat (karaciğer, kalp ve böbrek) ve 7 farklı kasının (*M. longissimus dorsi*, *M. longissimus thoracis*, *M. psoas major*, *M. intercostalis internus*, *M. semispinalis capitis*, *M. biceps femoris*, *M. biceps brachii*) yaşa (2, 3, 4) bağlı olarak Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd içerikleri (mg/kg) ve standart sapmaları Tablo 10’da; yaş göre iz element içerikleri ile ilgili grafikler ise Şekil 7, 8, 9,10 ve 11’de verilmiştir.

Tablo 10’da görüldüğü gibi sakatat örneklerinde yaşa bağlı olarak Fe içeriği 25,25–84,25 mg/kg iken, kas örneklerinde 10,14–45,26 mg/kg aralığında değişmektedir. Yaşa bağlı olarak Fe içeriği istatistiki açıdan bir farklılık göstermemiştir ($P>0,05$). Bununla birlikte sakatatlarda en yüksek Fe içeriği 4 yaşındaki sığır böbreğinde, en düşük değer ise 3 yaş sığır karaciğerinde tespit edilmiştir. Kas örneklerinde ise en düşük ve en yüksek değer 3 ve 4 yaşındaki sığırın *M. longissimus dorsi* kasında belirlenmiştir (Şekil 7).



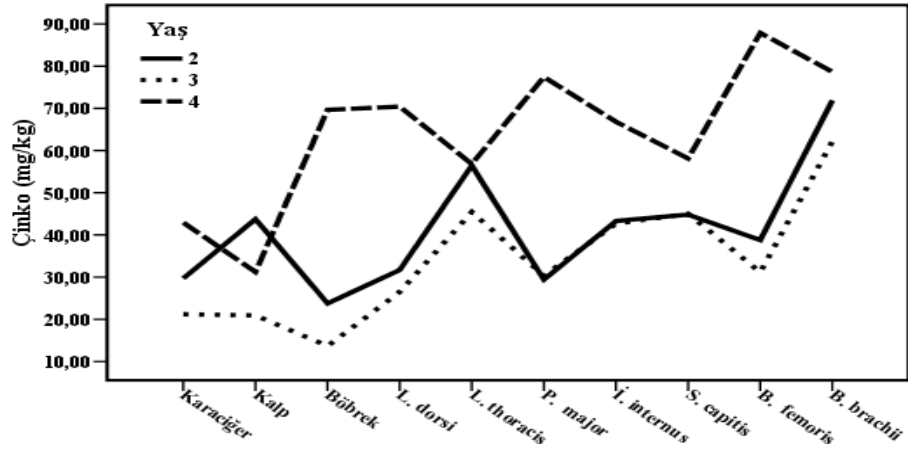
Şekil 7. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Fe İçeriği

Tablo 10. Sığırların Yaşa Göre Farklı Sakatat ve Kaslarındaki İz Element Miktarları ile Standart Sapmaları (mg/kg)

Numune	Yaş	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Karaciğer	2	38,63 ± 23,95	29,70 ± 24,96	80,66 ± 22,63a	0,25 ± 0,10	0,04 ± 0,03ab
	3	25,25 ± 7,33	21,22 ± 5,83	44,66 ± 18,09b	0,12 ± 0,09	0,01 ± 0,01b
	4	56,79 ± 42,96	42,92 ± 34,02	70,48 ± 2,77ab	0,25 ± 0,14	0,08 ± 0,05a
	F Değeri	0,956	0,626	4,141	1,347	3,736
Kalp	2	73,71 ± 79,53	43,75 ± 41,35	56,25 ± 11,08	0,17 ± 0,15	0,03 ± 0,02
	3	35,30 ± 13,06	20,92 ± 11,33	64,62 ± 15,22	0,11 ± 0,01	0,06 ± 0,07
	4	68,59 ± 46,41	31,23 ± 45,73	36,01 ± 33,11	0,17 ± 0,26	0,03 ± 0,01
	F Değeri	0,443	0,314	1,520	0,123	1,104
Böbrek	2	60,72 ± 44,36	23,77 ± 27,01	49,11 ± 2,21ab	0,13 ± 0,11	0,09 ± 0,03
	3	30,21 ± 15,39	13,69 ± 1,82	32,22 ± 10,63b	0,06 ± 0,02	0,06 ± 0,03
	4	84,25 ± 69,87	69,65 ± 99,69	70,64 ± 19,68a	0,22 ± 0,25	0,30 ± 0,43
	F Değeri	0,952	0,823	7,399*	0,829	0,940
M. longissimus dorsi	2	20,52 ± 22,69	31,68 ± 28,26	55,38 ± 31,38	0,17 ± 0,07	0,02 ± 0,01
	3	10,14 ± 8,72	26,50 ± 1,71	48,30 ± 1,69	0,11 ± 0,02	0,02 ± 0,01
	4	45,26 ± 75,54	70,41 ± 104,56	89,38 ± 41,50	0,43 ± 0,60	0,08 ± 0,06
	F Değeri	0,500	0,490	1,761	0,786	2,768
M. longissimus thoracis	2	32,52 ± 43,96	56,45 ± 42,11	48,20 ± 14,19	0,13 ± 0,13	0,02 ± 0,01
	3	11,79 ± 11,36	45,46 ± 3,90	49,42 ± 19,85	0,12 ± 0,07	0,06 ± 0,06
	4	32,46 ± 37,77	56,82 ± 55,27	44,34 ± 9,04	0,12 ± 0,15	0,05 ± 0,07
	F Değeri	0,362	0,075	0,126	0,002	0,810
M. psoas major	2	19,82 ± 26,42	29,43 ± 25,39	41,65 ± 27,30	0,13 ± 0,13	0,02 ± 0,01
	3	10,28 ± 9,71	30,34 ± 10,15	44,46 ± 20,86	0,09 ± 0,05	0,01 ± 0,01
	4	30,05 ± 41,95	77,43 ± 102,17	85,47 ± 86,01	0,42 ± 0,70	0,03 ± 0,03
	F Değeri	0,359	0,690	0,733	0,638	0,726
M. intercostalis internus	2	26,35 ± 34,59	43,30 ± 46,55	41,46 ± 20,09	0,19 ± 0,14	0,01 ± 0,01
	3	17,35 ± 13,57	42,69 ± 8,88	51,64 ± 13,92	0,10 ± 0,04	0,01 ± 0,01
	4	37,08 ± 56,31	66,82 ± 85,79	46,72 ± 28,70	0,22 ± 0,38	0,04 ± 0,03
	F Değeri	0,202	0,200	0,176	0,207	2,643
M. semispinalis capitis	2	21,94 ± 32,96	44,82 ± 27,30	50,06 ± 16,67	0,11 ± 0,08	0,01 ± 0,01
	3	12,96 ± 7,43	45,03 ± 10,83	51,05 ± 31,32	0,10 ± 0,09	0,02 ± 0,02
	4	33,38 ± 48,88	58,12 ± 67,50	39,13 ± 21,97	0,17 ± 0,26	0,03 ± 0,02
	F Değeri	0,278	0,110	0,311	0,146	1,711
M. biceps femoris	2	24,64 ± 32,29	38,77 ± 28,14	32,77 ± 19,50	0,14 ± 0,13	0,02 ± 0,01
	3	11,90 ± 10,19	31,18 ± 8,78	36,33 ± 12,03	0,07 ± 0,07	0,01 ± 0,01
	4	44,50 ± 68,85	87,87 ± 133,06	65,22 ± 58,03	0,46 ± 0,71	0,06 ± 0,08
	F Değeri	0,435	0,509	0,852	0,805	1,142
M. biceps brachii	2	40,26 ± 49,86	71,91 ± 48,69	31,85 ± 17,52	0,10 ± 0,16	0,02 ± 0,02
	3	22,88 ± 7,94	62,16 ± 4,09	34,44 ± 13,74	0,17 ± 0,02	0,02 ± 0,01
	4	34,91 ± 51,58	78,64 ± 94,44	53,20 ± 38,00	0,26 ± 0,39	0,05 ± 0,04
	F Değeri	0,136	0,055	0,749	0,455	1,877

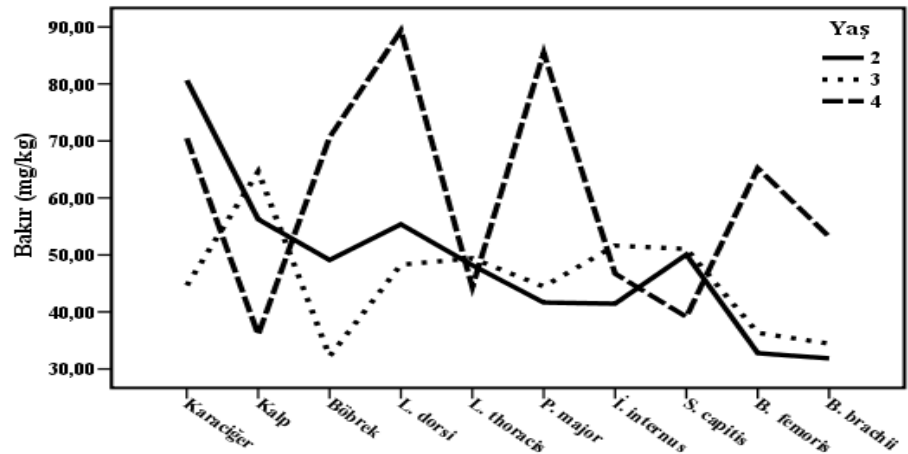
*: p<0,05; a,b: Aynı sütundaki farklı harfler arasında istatistiki açıdan önemli fark vardır.

Sakatat örneklerindeki en düşük ve en yüksek Zn içeriği 13,69–69,65 mg/kg arasında olup her iki değerde 3 ve 4 yaşındaki sığır böbreğinde belirlenmiştir. Kas örneklerindeki Zn içeriği, en düşük 26,50 mg/kg ile 3 yaşındaki sığır *M. longissimus dorsi* kasında, en yüksek ise 87,87 mg/kg ile 4 yaşındaki sığır *M. biceps femoris* kasında ölçülmüştür (Şekil 8). Yaşa bağlı olarak Zn içeriği istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$) (Tablo 10).



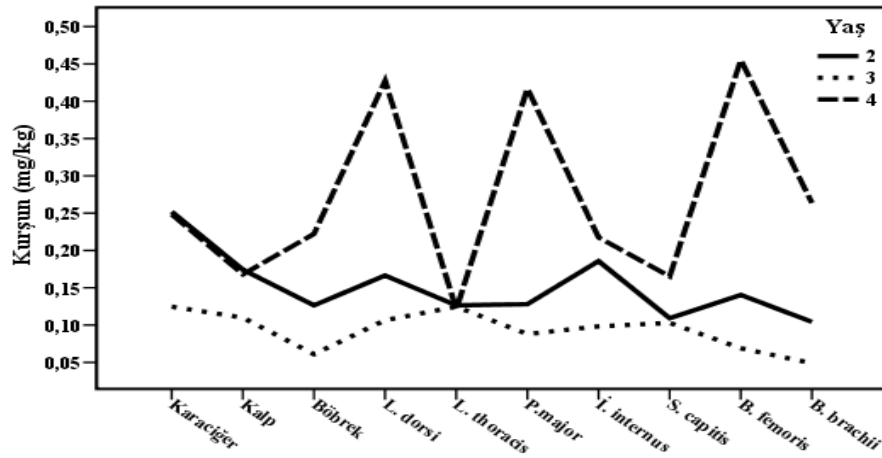
Şekil 8. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Zn İçeriği

Tablo 10’da görüldüğü gibi sakatat örneklerinde, yaşlara göre Cu içeriği 32,22–80,66 mg/kg, kas örneklerinde ise 31,85–89,38 mg/kg arasındadır. Yaşa bağlı olarak Cu içeriği karaciğer ve böbrekte istatistiki açıdan farklılık göstermiştir ($P<0,05$). Sakatatlarda en yüksek değer 2 yaşındaki sığır karaciğerinde, en düşük değer ise 3 yaşındaki sığır böbreğinde tespit edilmiştir. Kaslarda ise en yüksek değer 4 yaşındaki sığırların *M. longissimus dorsi*, en düşük değer ise 2 yaşındaki sığırların *M. biceps brachii*’de belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Cu İçeriği

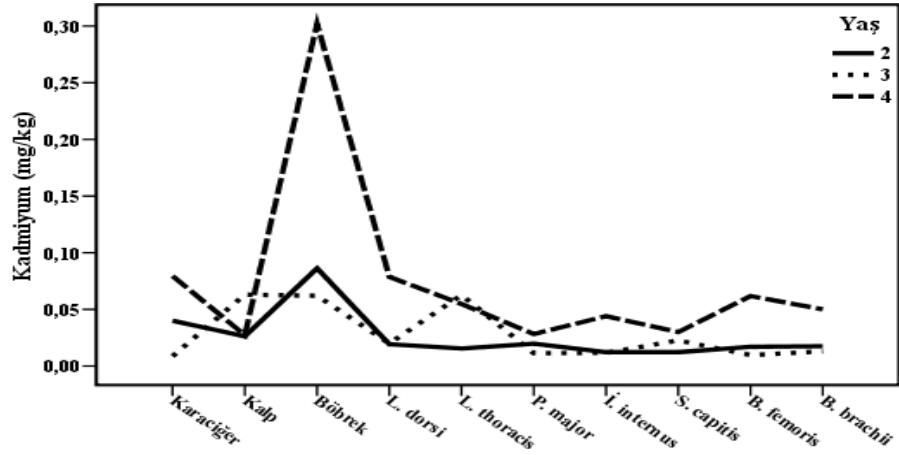
Sakatat örneklerinde, Pb içeriği 0,06–0,25 mg/kg arasında olup en düşük değer 3 yaşındaki sığır böbreğinde görülürken en yüksek değerler ise 2 ve 4 yaşındaki sığır karaciğerinde belirlenmiştir. Kas örneklerinde Pb miktarı en düşük ve en yüksek 0,07–0,46 mg/kg arasında olup her iki değerde 3 ve 4 yaşındaki sığırların *M. biceps femoris* kasında görülmüştür (Şekil 10). Yaşa bağlı olarak Pb miktarı istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$) (Tablo 10).



Şekil 10. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Pb İçeriği

Tablo 10’da görüldüğü gibi sakatatlarda yaşıya göre Cd içeriği 0,01–0,30 mg/kg, kaslarda 0,01–0,08 mg/kg arasında tespit edilmiştir. Yalnızca karaciğerde yaşıya bağlı olarak Cd içeriği istatistiki açıdan farklılık göstermiştir ($P<0,05$). Sakatatlarda en düşük değer 3 yaşındaki sığır karaciğerinde, en yüksek değer ise 4 yaşındaki sığır böbreğinde görülmüştür. Kas örneklerinde ise en yüksek değer 4 yaşındaki sığırların *M. longissimus dorsi*’de görülürken en düşük değer 2 yaşındaki sığırların *M. semispinalis capitis* ve *M.*

intercostalis internus ile 3 yaşındaki *M. intercostalis internus* ve *M. biceps femoris*'de belirlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Sığır Sakatat ve Kaslarının Yaşa Göre Cd İçeriği

4.2. Sığır Sakatat ve Kaslarında Irka Göre İz Element İçerikleri

Bu çalışmada, sığırların 3 sakatat (karaciğer, kalp ve böbrek) ve 7 kasında (*M. longissimus dorsi*, *M. longissimus thoracis*, *M. psoas major*, *M. intercostalis internus*, *M. semispinalis capitis*, *M. biceps femoris*, *M. biceps brachii*) DAK ve Montofon ırklarına göre Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd içerikleri (mg/kg) ve standart sapmaları Tablo 11'da; ırka göre iz element içerikleri ile ilgili grafikler ise Şekil 12, 13, 14, 15 ve 16'da verilmiştir.

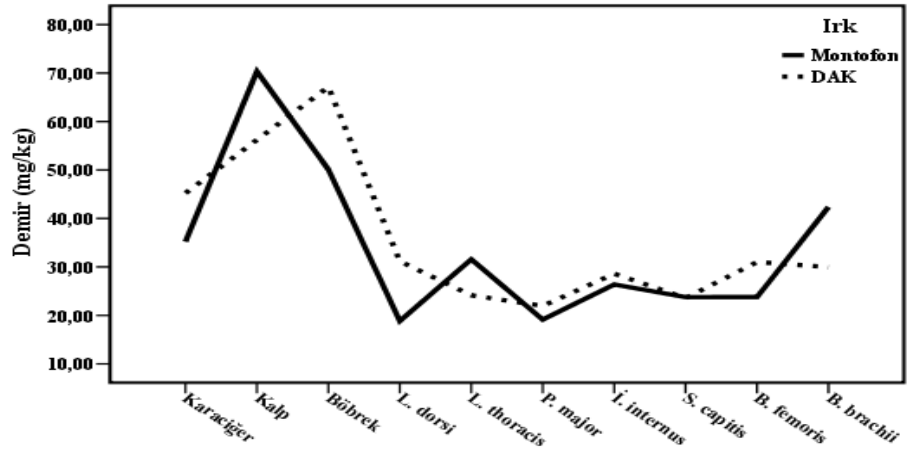
Tablo 11'da görüldüğü gibi sakatat örneklerinde ırklara göre Fe içerikleri 35,19–70,34 mg/kg arasında yer almaktadır. Kas örneklerinde ise 18,85–42,39 mg/kg aralığında değişmektedir. Irklar arasındaki Fe içeriğinde istatistiki açıdan bir farklılık göstermemiştir ($P>0,05$). Sakatatlarda, en yüksek ve en düşük değerler montofon ırkı

sığırların sırasıyla kalp ve karaciğerinde tespit edilmiştir. Kaslarda ise en yüksek ve en düşük değerler montofon ırkı sığırların sırasıyla *M. biceps brachii* ve *M. longissimus dorsi* kaslarında belirlenmiştir (Şekil 12).

Tablo 11. Sığırların Irklara Göre Farklı Sakatat ve Kaslarındaki İz Element İçerikleri ile Standart Sapmaları (mg/kg)

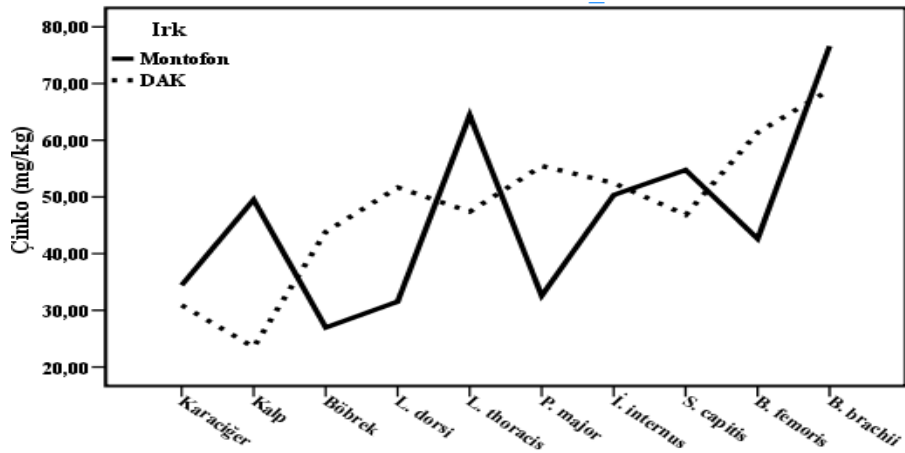
Numune	İrk	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Karaciğer	Montofon	35,19 ± 25,87	34,43 ± 21,58	64,94 ± 23,07	0,24 ± 0,11	0,02 ± 0,02
	DAK	45,23 ± 33,81	30,91 ± 28,36	68,40 ± 21,91	0,20 ± 0,13	0,06 ± 0,05
	t Değeri	-0,552	0,231	-0,244	0,504	-1,673
Kalp	Montofon	70,34 ± 81,71	49,52 ± 36,35	61,37 ± 16,94	0,18 ± 0,15	0,05 ± 0,06
	DAK	56,25 ± 36,75	23,51 ± 33,88	45,35 ± 26,37	0,14 ± 0,19	0,03 ± 0,02
	t Değeri	0,327	1,170	1,225	0,322	0,782
Böbrek	Montofon	50,10 ± 50,60	26,97 ± 24,56	38,39 ± 14,18	0,11 ± 0,11	0,08 ± 0,04
	DAK	67,16 ± 54,17	43,84 ± 77,53	60,30 ± 19,03	0,16 ± 0,19	0,20 ± 0,33
	t Değeri	-0,524	-0,531	-2,170	-0,520	-0,960
M. longissimus dorsi	Montofon	18,85 ± 23,61	31,54 ± 26,90	39,92 ± 12,09	0,15 ± 0,07	0,02 ± 0,01
	DAK	31,17 ± 56,44	51,68 ± 77,79	80,61 ± 34,28	0,30 ± 0,45	0,06 ± 0,06
	t Değeri	-0,505	-0,623	-2,846*	-0,863	-1,758
M. longissimus thoracis	Montofon	31,58 ± 44,60	64,42 ± 35,56	47,16 ± 18,38	0,16 ± 0,13	0,06 ± 0,05
	DAK	24,15 ± 29,33	47,40 ± 41,34	47,11 ± 10,61	0,10 ± 0,11	0,03 ± 0,06
	t Değeri	0,298	0,719	0,005	0,717	0,685
M. psoas major	Montofon	19,13 ± 26,87	32,57 ± 22,03	31,85 ± 8,76	0,11 ± 0,13	0,02 ± 0,01
	DAK	21,97 ± 31,77	55,46 ± 77,93	73,50 ± 64,92	0,29 ± 0,52	0,02 ± 0,02
	t Değeri	-0,157	-0,728	-1,671	-0,895	-0,852
M. intercostalis internus	Montofon	26,38 ± 34,60	50,34 ± 44,92	46,76 ± 19,87	0,19 ± 0,14	0,02 ± 0,01
	DAK	28,61 ± 41,93	52,45 ± 63,40	45,80 ± 22,60	0,16 ± 0,28	0,03 ± 0,03
	t Değeri	-0,095	-0,064	0,073	0,201	-0,733
M. semispinalis capitis	Montofon	23,77 ± 31,81	54,76 ± 22,46	42,05 ± 26,58	0,11 ± 0,11	0,02 ± 0,02
	DAK	23,59 ± 37,05	46,83 ± 49,85	48,82 ± 19,74	0,14 ± 0,19	0,02 ± 0,02
	t Değeri	0,008	0,362	-0,444	-0,274	-0,336
M. biceps femoris	Montofon	23,79 ± 32,97	42,62 ± 26,59	34,91 ± 20,52	0,16 ± 0,12	0,02 ± 0,01
	DAK	31,02 ± 51,76	61,38 ± 99,75	51,61 ± 44,75	0,28 ± 0,55	0,04 ± 0,07
	t Değeri	-0,282	-0,469	-0,844	-0,556	-0,800
M. biceps brachii	Montofon	42,39 ± 48,43	76,61 ± 46,17	31,52 ± 17,91	0,13 ± 0,15	0,02 ± 0,01
	DAK	29,97 ± 36,74	68,89 ± 68,10	45,35 ± 29,54	0,16 ± 0,31	0,03 ± 0,03
	t Değeri	0,493	0,223	-0,966	-0,391	-0,820

*: p<0.05



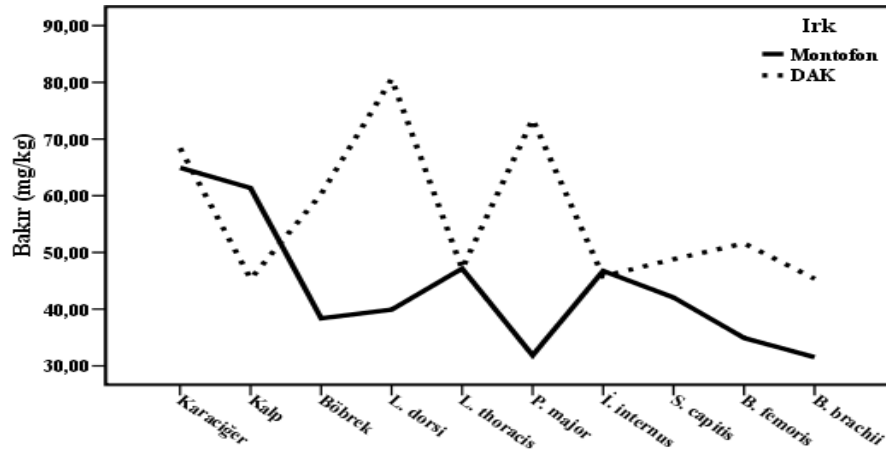
Şekil 12. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Fe İçeriği

Sakatat örneklerinde, en düşük ve en yüksek Zn içeriği kalpte belirlenmiş olup düşük 23,51 mg/kg ile DAK ırkında, en yüksek ise 49,52 mg/kg ile montofonda tespit edilmiştir. Kas örneklerinde ise Zn içeriğinin en düşük değeri 31,54 mg/kg ile montofon ırkı sığırların *M. longissimus dorsi*'de, en yüksek değer 76,61 mg/kg ile montofon ırkı sığırların *M. biceps brachii*'de belirlenmiştir (Şekil 13). Irklara bağlı olarak Zn içeriği istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$) (Tablo 11).



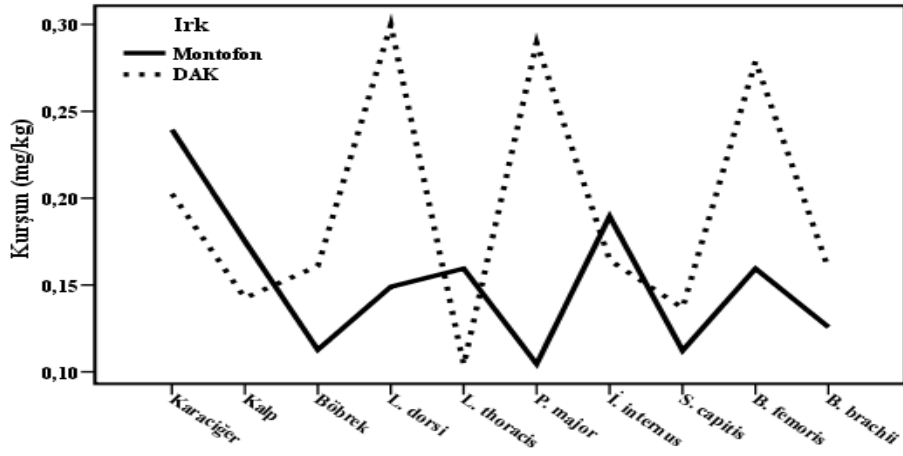
Şekil 13. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Zn İçeriği

Tablo 11’da görüldüğü gibi sakatat örneklerinde ırklara göre Cu içeriği 38,39–68,40 mg/kg arasındadır. En yüksek değer DAK ırkı sığır karaciğerinde, en düşük değer ise montofon ırkı sığır böbreğinde tespit edilmiştir. Kas örneklerinde ise en yüksek Cu değeri 80,61 mg/kg ile DAK ırkı sığırların *M. longissimus dorsi* kasında, en düşük değer 31,52 mg/kg ile montofon ırkı sığırların *M. biceps brachii* kasında belirlenmiştir (Şekil 14). İstatistiki açıdan DAK ırkı sığırların yalnızca *M. longissimus dorsi* kasındaki Cu değeri montofonlardan daha yüksektir ($t(9) = -2,85$ $p < 0,05$).



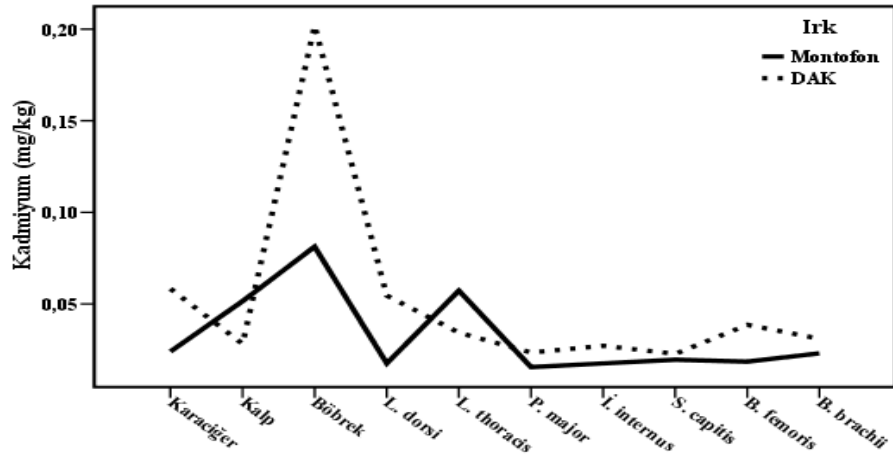
Şekil 14. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Cu İçeriği

Sakatat örneklerinde, Pb içeriği 0,11–0,24 mg/kg arasında olup en düşük değer montofon sığır böbreğinde görülürken, en yüksek değer yine montofon ırkı sığır karaciğerinde belirlenmiştir. Kas örneklerinde, Pb miktarı en düşük ve en yüksek 0,10–0,29 mg/kg arasında olup her iki değerde DAK ırkı sığırların sırasıyla *M. longissimus thoracis* ve *M. psoas major* kasında görülmüştür (Şekil 15). Irklar arasındaki Pb miktarı istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P > 0,05$) (Tablo 11).



Şekil 15. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Pb İçeriği

Tablo 11’da görüldüğü gibi sakatat örneklerinde ırklara göre Cd içeriği 0,02–0,20 mg/kg iken, kas örneklerinde 0,02–0,06 mg/kg arasında tespit edilmiştir. Irklar arasındaki Cd içeriği istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$). Sakatatlarda en yüksek değer DAK ırkı sığır böbreğinde, en düşük değer ise montofon ırkı sığır karaciğerinde belirlenmiştir. Kaslarda ise en yüksek değer montofon ırkı sığırların *M. longissimus thoracis*’te görülmüştür (Şekil 16).



Şekil 16. Sığır Sakatat ve Kaslarının Irka Göre Cd İçeriği

4.3. Sığır Sakatat ve Kaslarında İz Element İçerikleri

Sığır sakatat ve kasındaki 10 farklı dokuda belirlenen ortalama Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd içerikleri (mg/kg) Tablo 12 ve ilgili grafik Şekil 17’de verilmiştir.

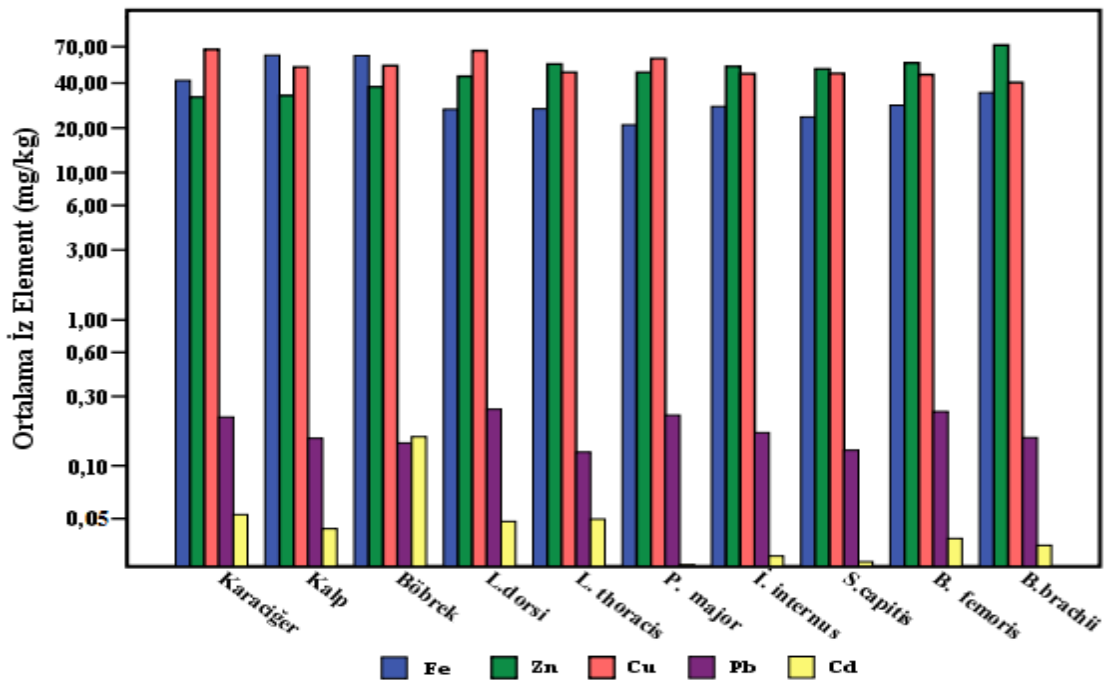
Sakatatlardaki en yüksek Fe miktarı kalpte 61,37 mg/kg olup, elde edilen değerler arasında istatistiki açıdan farklılık görülmemiştir ($P>0,05$). Sakatatlardaki Fe miktarı kalp>böbrek>karaciğer şeklinde sıralanmaktadır. Kaslarda ise en yüksek değer *M. biceps brachii*’de 34,49 mg/kg, en düşük değer ise *M. psoas major*’de 20,94 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Kaslar arasında Fe miktarı istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$) (Tablo 12).

Tablo 12. Sığırların Farklı Sakatat ve Kaslarındaki İz Element Miktarları ile Standart Sapmaları (mg/kg)

Numune	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Karaciğer	41,58 ± 30,21	32,19 ± 25,01	67,14 ± 21,23	0,22 ± 0,12	0,05 ± 0,04
Kalp	61,37 ± 53,51	32,97 ± 35,46	51,17 ± 23,85	0,15 ± 0,17	0,04 ± 0,04
Böbrek	60,95 ± 51,02	37,71 ± 62,13	52,34 ± 20,00	0,14 ± 0,16	0,16 ± 0,26
F Değeri	0,661	0,051	1,843	0,739	2,093
M. longissimus dorsi	26,69 ± 46,01	44,35 ± 62,86	65,81 ± 34,21	0,25 ± 0,36	0,04 ± 0,05
M. longissimus thoracis	26,85 ± 33,57	53,59 ± 38,45	47,13 ± 13,00	0,13 ± 0,12	0,04 ± 0,05
M. psoas major	20,94 ± 28,71	47,13 ± 62,63	58,35 ± 54,71	0,22 ± 0,42	0,02 ± 0,02
M. intercostalis internus	27,80 ± 37,62	51,69 ± 54,94	46,15 ± 20,62	0,17 ± 0,23	0,02 ± 0,03
M. semispinalis capitis	23,65 ± 33,57	49,71 ± 40,72	46,36 ± 21,39	0,13 ± 0,16	0,02 ± 0,02
M. biceps femoris	28,39 ± 44,12	54,56 ± 79,20	45,54 ± 37,40	0,24 ± 0,43	0,03 ± 0,05
M. biceps brachii	34,49 ± 39,40	71,70 ± 58,63	40,32 ± 25,85	0,15 ± 0,25	0,03 ± 0,03
F Değeri	0,135	0,256	0,828	0,318	0,651

Tablo 12’de görüldüğü gibi sakatatlardaki Zn içeriği en yüksek böbrekte 37,71 mg/kg olup böbrek>kalp>karaciğer şeklinde sıralanmaktadır. Sakatatlarda Zn içeriği

istatistiki açıdan farklılık göstermemektedir ($P<0,05$). Kaslarda en yüksek değer *M. biceps brachii*'de (71,70 mg/kg), en düşük değer ise *M. longissimus dorsi*'de (44,35 mg/kg) tespit edilmiştir. Kaslar arasında Zn içeriği istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P<0,05$).



Şekil 17. Sığırların Sakatat ve Kaslarındaki İz Element İçerikleri

Sakatatlardaki en yüksek Cu miktarı karaciğerde 67,14 mg/kg olup elde edilen değerlerde sakatatlar arasında istatistiki açıdan farklılık yoktur ($P>0,05$). Sakatatlarda Cu miktarı karaciğer>böbrek>kalp şeklinde sıralanmaktadır. Kaslarda ise en yüksek değer *M. longissimus dorsi*'de (65,81 mg/kg), en düşük değer ise *M. biceps brachii*'de (40,32 mg/kg) tespit edilmiştir. Kaslar arasında Cu miktarı istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$) (Tablo 12).

Tablo 12’de görüldüğü gibi sakatatlardaki Pb içeriği en yüksek karaciğerde 0,22 mg/kg olarak belirlenmiştir. Sakatatlar, Pb içeriğine göre karaciğer>kalp>böbrek şeklinde sıralanmakta olup elde edilen değerlerde istatistiki açıdan farklılık yoktur ($P>0,05$). Kaslarda, en yüksek değer *M. longissimus dorsi*’de 0,25 mg/kg, en düşük değer ise *M. longissimus thoracis* ve *M. semispinalis capitis*’de 0,13 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Kaslar arasında Pb içeriği istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$).

Sakatatlardaki en yüksek Cd miktarı böbrekte 0,16 mg/kg olup elde edilen değerlerde sakatatlar arasında istatistiki açıdan farklılık yoktur ($P>0,05$). Sakatatlarda Cd miktarı böbrek>karaciğer>kalp şeklinde sıralanmaktadır. Kaslarada ise en yüksek değer *M. longissimus thoracis* ve *M. longissimus dorsi* kaslarında 0,04 mg/kg, en düşük değer ise *M. semispinalis capitis*, *M. psoas major* ve *M. intercostalis internus* kaslarında 0,02 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Kaslar arasında Cd miktarı istatistiki açıdan farklılık göstermemiştir ($P>0,05$) (Tablo 12).

Sığır sakatat ve etindeki ortalama Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd içerikleri (mg/kg) Tablo 13’de ve aralarındaki korelasyon Tablo 14 ve 15’de verilmiştir.

Tablo 13. Sığır Sakatat ve Etindeki Ortalama İz Element Miktarları ile Standart Sapmaları (mg/kg)

Numune	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Sakatat	54,64 ± 45,62	34,29 ± 42,44	56,88 ± 22,32	0,17 ± 0,15	0,08 ± 0,16
Et	26,97 ± 36,68	53,25 ± 56,50	49,95 ± 32,04	0,18 ± 0,30	0,03 ± 0,04
t Değeri	3,083**	-1,728	1,130	-0,201	1,785**

**: $p<0,01$

Tablo13’de görüldüğü gibi ortalama Fe, Cu ve Cd içerikleri sığır sakatatında etten daha fazla olmasına karşın istatistiki açıdan Fe ve Cd içeriğinde görülmüştür ($P<0,05$).

Bununla birlikte sığır sakatatındaki Zn ve Pb içeriği etten daha az olmasına rağmen istatistiki açıdan farklılık yoktur ($P>0,05$).

Tablo 14. Sığır Sakatatlarında Bulunan İz Elementler Arasındaki Korelasyon

İz element	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Fe	1	0,862**	0,272	0,781**	0,501**
Zn		1	0,408*	0,856**	0,736**
Cu			1	0,653**	0,331
Pb				1	0,498**
Cd					1

*: $P<0,05$; **: $P<0,01$

Elde edilen verilerde sığır sakatatlarındaki Fe ile Zn, Pb ve Cd içerikleri ($P<0,01$) ve Zn ile Cu değeri arasında pozitif yönde ($P<0,05$) korelasyonun olduğu belirlendi (Tablo 14). Bununla birlikte kas dokularında tespit edilen bütün iz elementler arasında pozitif yönde ($P<0,01$) korelasyonun olduğu görülmüştür (Tablo 15).

Tablo 15. Sığır Kaslarında Bulunan İz Elementler Arasındaki Korelasyon

İz element	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Fe	1	0,936**	0,591**	0,843**	0,554**
Zn		1	0,698**	0,919**	0,632**
Cu			1	0,813**	0,490**
Pb				1	0,655**
Cd					1

** : $P<0,01$

4.4. Yaş ve Irka Göre Sığır Et ve Sakatatında İz Element İçeriği

Sığırların yaşa göre et ve sakatat dokusundaki ortalama iz element içerikleri ve standart sapmaları Tablo 16’de, ilgili grafik Şekil 18’de verilmiştir.

Tablo 16 incelendiğinde etteki en yüksek Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd içerikleri 4 yaşındaki sığırlarda sırasıyla 37,16; 70,87; 60,49; 0,30 ve 0,05 mg/kg olarak belirlenmiştir. Ette ölçülen ortalama Fe, Pb ve Cd içeriklerinin yaşa bağlı olarak istatistiki açıdan önemli olduğu görülmüştür ($P<0,05$).

Tablo 16. Sığır Et ve Sakatatının Yaş Göre İz Element İçerikleri İle Standart Sapmaları (mg/kg)

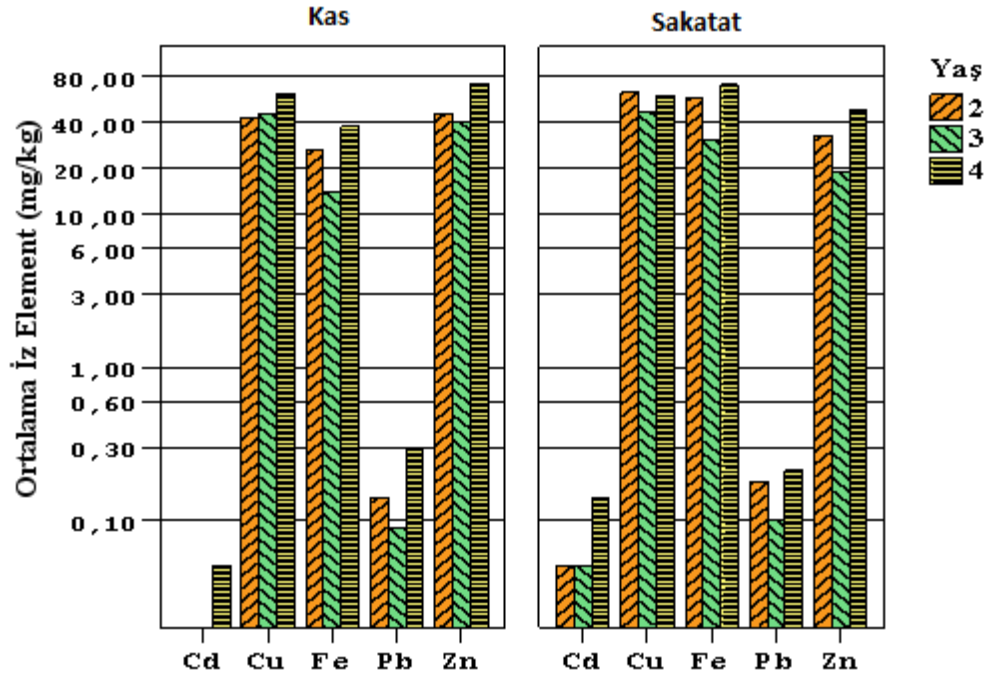
Numune	Yaş	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Et	2	26,58 ± 32,31ab	45,19 ± 35,03	43,05 ± 20,87	0,14 ± 0,11ab	0,02 ± 0,01b
	3	13,90 ± 9,48b	40,48 ± 13,30	45,09 ± 16,70	0,09 ± 0,06b	0,02 ± 0,03b
	4	37,16 ± 49,36a	70,87 ± 84,32	60,49 ± 45,43	0,30 ± 0,46a	0,05 ± 0,05a
	F Değeri	2,512	2,255	2,503	3,602*	7,746**
	Ortalama	26,97 ± 36,68	53,25 ± 56,50	49,95 ± 32,04	0,18 ± 0,30	0,03 ± 0,04
Sakatat	2	57,69 ± 51,45	32,41 ± 30,20	62,01 ± 19,33	0,18 ± 0,12	0,05 ± 0,04
	3	30,25 ± 11,59	18,61 ± 7,42	47,17 ± 19,19	0,10 ± 0,05	0,05 ± 0,05
	4	69,88 ± 50,60	47,94 ± 62,28	59,04 ± 29,39	0,21 ± 0,20	0,14 ± 0,26
	F Değeri	2,121	1,267	1,245	1,637	1,171
	Ortalama	54,64 ± 45,62	34,29 ± 42,44	56,88 ± 22,32	0,17 ± 0,15	0,08 ± 0,16

a,b: Aynı sütundaki farklı harfler arasında istatistiki açıdan önemli fark vardır.

*: $p<0,05$

**: $p<0,01$

Sakatatta, en yüksek Fe (69,88 mg/kg), Zn (47,94 mg/kg), Pb (0,21 mg/kg) ve Cd (0,14 mg/kg) miktarları 4 yaş sığırlarda, Cu ise 2 yaşındaki sığırlarda 62,01 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Sakatatlardaki ortalama iz element miktarları yaşa göre farklılık göstermesine rağmen istatistiki açıdan önemli değildir ($P>0,05$) (Tablo 16).



Şekil 18. Yaşa Göre Kas ve Sakatat Dokusundaki Ortalama İz Element İçerikleri

İrklara göre sığırların et ve sakatat dokusundaki ortalama iz element içerikleri ve standart sapmaları Tablo 17’de; ilgili grafik Şekil 19’de verilmiştir.

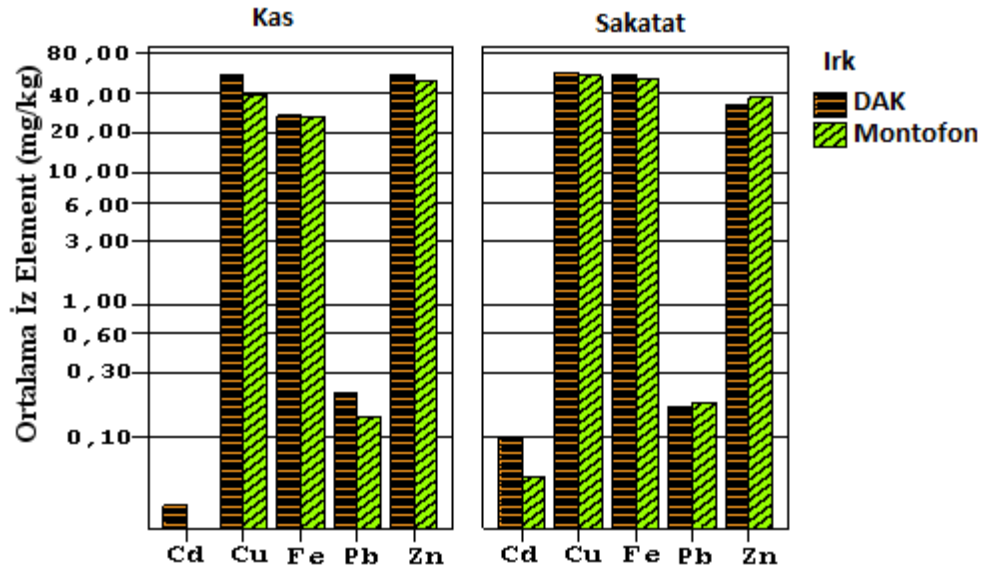
Tablo 17. Sığır Et ve Sakatatının Irka Göre İz Element İçerikleri ile Standart Sapmaları (mg/kg)

Numune	İrk	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Et	Montofon	26,56 ± 32,41	50,41 ± 33,36	39,17 ± 17,49b	0,14 ± 0,11	0,02 ± 0,02
	DAK	27,21 ± 39,24	54,87 ± 66,49	56,11 ± 36,69a	0,21 ± 0,36	0,03 ± 0,04
	Ortalama	26,97 ± 36,68	53,25 ± 56,50	49,95 ± 32,04	0,18 ± 0,30	0,03 ± 0,04
	t değeri	-0,075	-0,331	-2,735*	-0,882	-1,038
Sakatat	Montofon	51,88 ± 54,11	36,98 ± 27,35	54,90 ± 20,71	0,18 ± 0,13	0,05 ± 0,05
	DAK	56,21 ± 41,39	32,76 ± 49,63	58,02 ± 23,60	0,17 ± 0,17	0,10 ± 0,2
	Ortalama	54,64 ± 45,62	34,29 ± 42,44	56,88 ± 22,32	0,17 ± 0,15	0,08 ± 0,16
	t değeri	-0,259	0,271	-0,381	0,129	-0,752

*: p<0,05

Etteki, en yüksek Fe (27,21 mg/kg), Zn (54,87 mg/kg), Cu (56,11 mg/kg), Pb (0,21 mg/kg) ve Cd (0,03 mg/kg) miktarları DAK ırkı sığırlarda belirlenmiştir (Tablo 16). Ette ölçülen ortalama iz element miktarları, Cu dışında ırklara bağlı olarak istatistiki açıdan önemli olmadığı görülmüştür ($P < 0,05$). İstatistiki açıdan sığır etindeki Cu miktarı ise DAK ırkında (56,11 mg/kg) montofondan (39,17 mg/kg) daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($t(75) = -2,73$ $p < 0,05$).

Tablo 17 incelendiğinde, sakatatda en yüksek Fe (56,21 mg/kg), Cu (58,02 mg/kg) ve Cd (0,10 mg/kg) içerikleri yine DAK ırkı sığırlarda tespit edilmiştir. Zn ve Pb ise montofon ırkı sığırlarda sırasıyla 36,98 mg/kg ve 0,18 mg/kg olarak belirlenmiştir. Sakatatdaki ortalama iz element içerikleri ırklara göre farklılıklar göstermesine rağmen istatistiki açıdan önemli değildir ($P > 0,05$).



Şekil 19. Irka Göre Kas ve Sakatat Dokusundaki Ortalama İz Element İçerikleri

5. TARTIŞMA

İz elementler vücutta sentezlenmeyen, mutlaka dışardan alınması zorunlu gıda bileşenleridir. Bu elementleri dışardan almanın en güvenilir ve sağlıklı yolu gıdalarla olmaktadır. Böylece, vücudun ihtiyacı olan iz elementler, dengeli beslenme ile yeterli güvenilir düzeyde alınabilir. Beslenme açısından iyi bir gıda kaynağı olarak kabul edilen kırmızı et, kalsiyum hariç insan organizması için esansiyel olan iz elementler bakımından oldukça zengindir.

Sığır sakatat ve kas dokusunda bulunan iz element içeriklerine yaş ve ırkın etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla onbir sığırın farklı sakatat ve kas dokularından alınan 110 numunenin ICP-AES ile Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd miktarları tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre farklı sakatat ve kas dokularının belirli yaş ve ırklarda ölçülen iz element değerleri arasındaki etkileşim, yapılan istatistiki analizlere göre önemli bulunmamıştır. Yalnızca, karaciğerde Cu ve Cd içeriği yaşlar arasında ve *M. longissimus dorsi* kasında ise Cu içeriği ırklar arasında istatistiki açıdan farklılık göstermiştir ($P<0,05$).

Yapılan analizlere göre; sakatatlardaki Fe, Cu ve Cd miktarı, etten daha fazla olmasına karşın yalnızca Fe ve Cd içeriklerinde istatistiki açıdan farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$). Ayrıca, sığır sakatatlarının iz element miktarı $Cu>Fe>Zn>Pb>Cd$ iken, ette $Zn>Cu>Fe>Pb>Cd$ şeklinde oluşu belirlenmiştir. Bununla birlikte en yüksek Fe, Cu ve Cd miktarı 4 yaşındaki DAK ırkı sığırların sakatatlarında belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda, kas dokularındaki Fe içeriği, *M. biceps brachii*>*M. biceps femoris*>*M. intercostalis internus*>*M. longissimus thoracis*>*M. longissimus dorsi*>*M. semispinalis capitis*>*M. psoas major* şeklinde sıralanırken, Zn içeriği *M. biceps brachii*>*M. biceps femoris*>*M. longissimus thoracis*>*M. intercostalis internus*>*M.*

semispinalis capitis>*M. psoas major*>*M. longissimus dorsi* ve Cu içeriği bakımından ise *M. longissimus dorsi*>*M. psoas major*>*M. longissimus thoracis*>*M. semispinalis capitis*>*M. intercostalis internus*>*M. biceps femoris*>*M. biceps brachii* şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Sığır et ve karaciğerlerinde belirlenen Fe, Zn, Pb ve Cd içerikleri, Surtipanti el al.³⁶’ın elde ettiği değerlerden daha yüksek olmasına karşın Koréneková and Skalická²⁹’nın tespit ettiği değerlerden daha düşük bulunmuştur. Ayrıca Abou-Arab³³ tarafından yapılan çalışmada kırsal alanlarda beslenen sığırların kasında Fe, karaciğerinde Fe, Cu, Pb ve Cd, böbrekte Pb ve Cd, endüstriyel alanlardakilerde ise kasta Fe, Zn, karaciğerde Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd, böbrekte Fe, Zn, Pb ve Cd, kalpte Pb ve Cd içeriği bu çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Hayvanların et ve sakatatındaki ağır metal içeriği bölgesel değişim göstermekle birlikte endüstriyel alanlarda büyüyen hayvanların belirli organlarında özellikle karaciğer ve böbreklerinde daha fazla birikime neden olduğu görülmektedir. Bu durum hayvanların beslenmesinde kullanılan ot ve sulardaki iz element içeriklerinin fabrika atıklarıyla kontamine olmasıyla açıklanabilir. Bu durum, hayvan çiftliklerinin endüstriyel alanlardan uzak yerlerde kurulmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ankara ve Bursa illerinde Şenavcı ve ark.²⁶’nın sığır karaciğer ve böbrek dokularında belirledikleri Pb ve Cd miktarlarının, bu çalışmada belirlenen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu araştırmacıların, çalışmalarını sanayileşmiş ve araç trafiği bakımından oldukça yoğun bir bölgede yürütmüş olmaları, bu değerlerin yüksek çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Ankara çayının metal içeriğiyle ilgili yapılan bir araştırmaya¹⁰² göre; Cd ve Mn miktarları, yer yer kirli ve çok kirli sınıfına girdiği ve Güney Marmara’daki tarım topraklarının ise Pb, Ni, Cr ve Sb miktarları sınır

değerlerinin üzerinde olması, sığır karaciğer ve böbrek dokularındaki Pb ve Cd miktarının yüksek olması sonucunu desteklemektedir.

Özellikle yüksek ağır metal içeriğine sahip olan sanayi atıklarının ve egzoz gazlarının etkisiyle yöre toprak ve sularının bu metallere maruz kalması, yetiştirilen bitki ve hayvanların belirli organlarında birikiminde önemli oranda artışa sebep olabileceği görülmektedir. Ağır metallere maruz kalan bitkisel ve hayvansal gıdaları, hayvan ve insanlar tarafından tüketilmesi sonucu belirli organlarında birikerek toksikasyona neden olabilmektedir.

Bu araştırmada, sığır kas numunelerinden elde edilen Zn miktarı, Alonso et al.²⁷'in belirlemiş olduğu değerlerle oldukça benzerlik gösterirken, kas, karaciğer ve böbrek dokularında belirlenen Cu değeri ise Alonso et al.²⁷ ve Surtipanti et al.³⁶'ın araştırma sonuçlarından oldukça yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, sığırların kas ve organlarının iz element miktarının; biyolojik (örn., tür, ırk, cinsiyet, yaş, kas) ve ekolojik (örn., beslenme şekli, yetiştikleri yer, mevsim) faktörlere bağlı olarak değişebilmesiyle açıklanabilir.

Leonhardt et al.²⁴'in yaptığı çalışmada sığır *M. longissimus dorsi* kasını Fe içeriği bu çalışmada belirlenen değerden düşük, Zn içeriği ise daha yüksektir. Bunu karşın Demirel et al.²⁵'in yaptığı çalışmada, sığır etindeki Fe miktarı bu araştırmada bulunan değerden oldukça yüksek, Zn ve Cu miktarı ise düşüktür. Bu durum, aynı ülke coğrafyasında bile farklılıkların olduğunu ve bu nedenle iz element değerlerini standartlaştırılmasını ve birbirleriyle direkt kıyaslanmasını oldukça zorlaştırmaktadır¹⁶.

Sığır kasları ve bölümlerinin iz element içerikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda^{19-23,37,38} farklı kas dokularındaki Fe, Zn ve Cu içeriğinin bu çalışmada belirlenen değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, hayvanların iz element

içeriklerinin coğrafik faktörlere ve bölge topraklarının mineral içeriğine bağlı olarak değişebileceği gerçeğinden kaynaklanabilir.

Bu araştırmada, incelenen örneklerin büyük bir kısmı Erzincan ilinde yetiştirilen sığırlardan alınmıştır. Bu yöre topraklarının Fe, Zn ve Cu miktarları toprak kirliliği kontrol yönetmeliğinde belirtilen değerlerin oldukça üstünde olması¹⁰³ toprak mineral dağılımının o bölgede yetiştirilen hayvanların mineral seviyeleri üzerinde etkili olabileceği düşüncesini desteklemektedir.

Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ’inde, sığır et ve sakatatlarında müsaade edilen maksimum Pb miktarının sırasıyla 0,10 ve 0,50 mg/kg, Cd miktarının ise sığır et ve karaciğerinde 0,05 mg/kg ve böbreğinde 1,00 mg/kg olabileceği belirtilmiştir¹⁰⁴. Bu araştırmada, analizi yapılan numulere Pb miktarı yalnızca etlerde sınır değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Cd değeri ise hem sakatat hemde ette bu sınırların altında tespit edilmiştir.

6. SONUÇ

Araştırmada, insan beslenmesinde oldukça önemli olan iz elementlerin sığır sakatat ve kaslarındaki içeriklerinin yaş ve ırka bağlı olarak değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırmada sığır sakatat ve kaslarında belirlenen iz element içeriğinin benzer çalışmalardan yüksek çıkması, sığırların mineral seviyesinde biyolojik, ekolojik ve coğrafik faktörlerin etkili olabileceğini göstermektedir.

Yüksek ağır metal içeriğine sahip olan sanayi atıklarının ve egzoz gazlarının fazla bulunduğu bölgelerde yapılan çalışmaların sonuçlarının yüksek bulunması, o bölgelerin toprak ve suların ağır metallerle kontamine olduğunu ve hayvanların belirli kas ve sakatat dokularında bu metallerin daha fazla birikmesine neden olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle trafiğin yoğun olduğu yollara ve sanayileşmenin fazla olduğu bölgelere yakın yerlerde hayvan yetiştiriciliğinin yapılmamasına dikkat edilmelidir. Bu durumun dikkate alınmadığı şartlarda yetiştirilen hayvan etlerinin, insanlar tarafından tüketilmesi sonucu toksikasyonların halk sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmasına yol açacağı göz ardı edilemeyecek bir gerçektir. Bu durumun önüne geçilmesi için başta yerel yönetimler olmak üzere sivil toplum örgütlerinin çalışmalarıyla fabrikaların ağır metal yayılımını azaltacak önlemler almaları sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, uygun ortamlarda yetiştirilen sığırların et ve sakatatların tüketimi ile günlük tavsiye edilen iz elementlerin önemli bir kısmının karşılanabileceği ve insan beslenmesi açısından sığır et ve sakatatlarının özellikle demir, çinko ve bakır bakımından oldukça zengin kaynak olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Gerber N. The role of meat in human nutrition for the supply with nutrients, particularly functional long-chain n-3 fatty acids. Eidgenössische Technische Hochschule ETH, Degree of Doctor of Sciences Zürich, 2007.
2. Atasever M. Spor ve beslenme. MEB Temel Ders Kitabı, 2003: 30-42.
3. Akşit MA. Beslenmeye giriş. Anadolu Üniversitesi Yayınları, No: 491, 1991: 30-39.
4. Ferreira MMC., Morgano MA., Queiroz SCN., Mantovani DMB. Relationships of the minerals and fatty acid contents in processed turkey meat products. Food Chemistry 2000; 69(3): 259-265.
5. Öztan A. Et bilimi ve teknolojisi. Ankara: TMMOB Gıda Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No:1, 2005: 78-81.
6. Çağlar A., Ceylan ZG., Türkoğlu H. Makro minerallerin vücuttaki önemi ve fonksiyonları. Doğu Anadolu Tarım Kongresi, 1998: 2; 1739-1747.
7. Tarakçı Z., Küçüköner E. Değişik ot katkılı süt ürünlerinin bazı mineral madde ve ağır metal içeriklerinin irdelenmesi. 3. Gıda Mühendisliği Kongresi, 2003: 441-454.
8. Karlson P. Biyokimya. Tercüme: Telefoncu A. İstanbul: Arkadaş Tıp Kitapları, 1992: 340-343.
9. Esenkaya FE. Su ürünlerinde kadmiyumun biyobirikimi ve toksisitesi. Ege University Journal of Fisheries & Aquatic Sciences 2006; 23(1-2): 215-220.
10. Vural H. Ağır metal iyonlarının gıdalarda oluşturduğu kirlilikler. Çevre Dergisi 1993; 8: 3-8.
11. Erol İ. Gıda hijyeni ve mikrobiyolojisi. Pozitif Matbaacılık Ltd. Şti., 2007: 312-316.
12. Boğa A., Binokay S., Özgönen T. Çevre kirliliği ve kirliliklerin etki biçimleri. Arşiv 2006; 15: 1.

13. Gökalp HY., Kaya M., Tülek Y., Zorba Ö. Et ve et ürünlerinde kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama kılavuzu. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Yayın No: 318, 1995: 101.
14. Demirci M. Beslenme. Onur Grafik, 2005: 71–74.
15. Gökalp HY. Genel et bilimi ve teknolojisi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, 1984: 41.
16. Yıldırım Y. Et endüstrisi. Ankara: Yıldırım Basımevi, 1992: 343-345.
17. Farmer AA., Farmer AM. Concentrations of cadmium, lead and zinc in livestock feed and organs around a metal production centre in eastern Kazakhstan. The Science of the Total Environment 2000; 257: 53-60.
18. D’Ilio S., Petrucci F., D’Amato M., Di Gregorio M., Senofonte O., Violante N. Method validation for determination of cadmium and lead in offal by means of quadrupole inductively coupled plasma mass spectrometry. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2008; 56 (24): 11584-11588.
19. Doornenbal H., Murray AC. Effects of age, breed and sex and muscle on certain mineral concentrations in cattle. Journal Food Science 1981; 47: 55-58.
20. Kotula AW., Lusby WR. Mineral composition of muscles of 1- to 6-year-old steers. Journal Animal Science 1982; 54: 544-548.
21. Marchello MJ., Milne DB., Slinger WD. Selected macro and micro minerals in ground beef and longissimus muscle. Journal Food Science 1984; 49: 105-106.
22. Zarkadas CG., Marshal WD., Khalili AD., et al. Mineral composition of selected bovine, porcine and avian muscles, and meat products. Journal of Food Science 1987; 52(3): 520-525.

23. Huerta-Montauti D., Villa V., Arenas De Moreno L., Rodas-González A., Giuffrida-Mendoza M., Huerta-Leidenz N. Proximate and mineral composition of imported versus domestic beef cuts for restaurant use in Venezuela. *Journal of Muscle Foods* 2007; 18: 237–252.
24. Leonhardt M., Kreuzer M., Wenk C. Available iron and zinc in major lean meat cuts and their contribution to the recommended trace element supply in Switzerland. *Food/Nahrung* 2006; 41(5): 289–292.
25. Demirel Ş., Tüzen M., Saraçoğlu S., Soylak M. Evaluation of various digestion procedures for trace element contents of some food materials. *Journal of Hazardous Materials* 2008; 152:1020–1026.
26. Şenavcı V., Gürsel B., Erdiñç S., Sonal S., Seval S. Ankara ve Bursa’da tüketime sunulan sığır, koyun ve kanatlı karaciğer ve böbreklerinde ağır metal (Pb, Cd, Hg) kalıntı düzeylerinin araştırılması. Ankara: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Yayın No:30, 1997.
27. Alonso LM., Benedito JL., Miranda M., Castillo C., Hernández J., Shore RF. Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia, NW Spain. *The Science of The Total Environment* 2000; 246 (2-3): 237-248.
28. Naveed ZA. Distribution of essential/non essential heavy metals in edible liver. Quaid –I- Azam University Islamabad, Master Science Islamabad, 2001.
29. Koréneková B., Skalická M., Nad P. Concentration of some heavy metals in cattle reared in the vicinity of a metallurgic industry. *Veterinarski Arhiv* 2002; 72: 259-267.
30. Sabir SM., Khan SW., Hayat I. Effect of environmental pollution on quality of meat in district bagh, Azad Kashmir. *Pakistan Journal of Nutrition* 2003; 2 (2): 98-101.

31. Menzies PI., Boermans H., Hoff B., Durzi T., Langs L. Survey of the status of copper, interacting minerals, and vitamin E levels in the livers of sheep in Ontario. *The Canadian Veterinary Journal* 2003; 44: 898–906.
32. Sedki A., Lekouch N., Gamon S., Pineau A. Toxic and essential trace metals in muscle, liver and kidney of bovines from a polluted area of Morocco. *The Science of the Total Environment* 2003; 317: 201–205.
33. Abou-Arab AAK. Heavy metals contents in Egyptian meat and the role of detergent washing of their levels. *Food and Chemical Toxicology* 2001; 39: 593–599.
34. López Alonso M., Montaña FP., Miranda M., Castillo C., Hernández J., Benedito JL. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain. *BioMetals* 2004; 17: 389–397.
35. Gerber N., Brogioli R., Hattendorf B., Scheeder MRL., Wenk C., Günther D. Variability of selected trace elements of different meat cuts determined by ICP-MS and DRC-ICP-MS. *Animal* 2009; 3(1): 166-172.
36. Surtipanti S., Suwirma S., Yumiarti S., Mellawati Y. Determination of heavy metals in meat, intestine, liver, eggs and chicken using neutron activation analysis and atomic absorption spectrometry. *Atom Indonesia* 1995; 21(1): 1-8.
37. Lombardi-Boccia G., Lanzi S., Aguzzi A. Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats. *Journal of Food Composition and Analysis* 2005; 18(1): 39-46.
38. Williams PG., Droulez V., Levy G., Stobaus T. Composition of Australian red meat. 2002. 3. Nutrient profile. *Food Australia* 2007; 59(7): 331-341.

39. Demirezen D., Uruç K. Comparative study of trace elements in certain fish, meat and meat products. *Meat Science* 2006; 74: 255–260.
40. Holló G., Nuernberg G., Bogner P., et al. Effect of feeding on the fatty acid composition of different fatty tissues of Hungarian Grey and Holstein Friesian bulls. II. H-Nuclear Magnetic Resonance (NMR) investigations. *Archives of Animal Breeding* 2007; 50: 25-36.
41. Çağlar A., Ceylan ZG. Türkoğlu H. İz elementlerin önemi ve fonksiyonları. *Doğu Anadolu Tarım Kongresi*, 1998; 2: 1748–1755.
42. Dünder Y., Aslan R. Yaşamı kuşatan ağır metal kurşunun etkileri. *Kocatepe Tıp Dergisi* 2005; 6(2): 1-5.
43. Bogden JD, Klevay LM. Clinical nutrition of the essential trace elements and minerals. Totowa/NJ: Humana Press, 2000.
44. Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Güven A., Timur S. Metallerin çevresel etkileri –I. *Metallurji Dergisi* 2004; 136: 47–53.
45. Yaramış ÇP. Anemik ve anemik olmayan atların bazı eser element (çinko, bakır, demir) ve ağır metal (kurşun, kadmiyum) düzeylerinin belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi İstanbul, 2007.
46. McDowell LR. Minerals in animal and human nutrition. USA: Academic Press, 1992.
47. İmamoğlu ND. Anne kanındaki demir, total demir bağlama kapasitesi ve ferritin düzeylerinin fetal değerler ile ilişkisi. Sağlık Bakanlığı Bakırköy Doğumevi Kadın ve Çocuk Hastalıkları Eğitim Hastanesi, Uzmanlık Tezi İstanbul, 2005.

48. Bülbül SH. ocuk beslenmesinde demirin yeri ve nemi. TTB-STED 2004; 13(12): 446-450.
49. Onat T., Emerk K., Sözmen EY. İnsan biyokimyası. Ankara: Palme Yayıncılık, 2006; 593-603.
50. Uysal Z. Demir emilimi. Kırıkkale Tıp Fakültesi Pediatri Günleri II- Demir ve ocuk Sempozyumu, 2004.
51. Domke A., Groklaus R., Niemann B. Use of minerals in foods. Federal Institute for Risk Assessment, BfR-Wissenschaft, Berlin, 2005.
52. Ergin FT. Demir eksikliği anemisinin tiroid hormonları üzerine etkisi. Sağlık Bakanlığı Dr. Lütfi Kırdar Kartal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Uzmanlık Tezi İstanbul, 2005.
53. FAO/WHO. Expert consultation on human vitamin and mineral requirements. Bangkok, Thailand, 1998.
54. Özata M. Vitamin, mineral ve bitkisel ürün rehberi. Grer Yayınları, Yayın No: 24, 2008: 69-96.
55. Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü. Ulusal gıda ve beslenme stratejisi çalışma grubu raporu. Ankara, 2001.
56. Arcasoy A. Çinko ve çinko yetersizliği. Ankara: Talasemi Derneği Yayınları, 2002: 1-23.
57. Karadağ A. Astımlı ocuklarda serum çinko düzeyleri. Sağlık Bakanlığı Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Uzmanlık Tezi İstanbul, 2006.
58. Prasad AS. Zinc deficiency. British Medical Journal 2003; 326: 409-410.

59. Sandstead HH., Penland JG., Alcock NW. Essentiality of zinc in human nutrition. Report of An International Meeting, National Environmental Health Forum, 1997; 8–14.
60. Onosaka S., Tetsuchikawahara N., Min K. Paradigm shift in zinc: Metal pathology. The Journal of Experimental Medicine 2002; 196: 1–7.
61. Tüzün Y., Arzuhal N. Çinko eksikliği ile ilişkili deri hastalıkları. Dermatose 2004; 2: 84–91.
62. Scherz H. and Kirchhoff E. Trace elements in foods: Zinc contents of raw foods-A comparison of data originating from different geographical regions of the world. Journal of Food Composition and Analysis 2006; 19: 420–43.
63. Kessler J., Morel I., Dufey P.-A., Gutzwiller A., Stern A., Geyer H. Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. Livestock Production Science 2003; 81: 161–171.
64. Dreosti IE. Zinc: Nutritional aspects. Report of an International Meeting, National Environmental Health Forum, 1997; 14–19.
65. Akın I. İz elementler ve sığır tırnak hastalıkları. Veteriner Cerrahi Dergisi 2004; 10(3-4): 54-61.
66. Altınışık M. Mineral ve elektrolit. Aydın Sağlık Meslek Yüksek Okulu Biyokimya Ders Notları, <http://www.mustafaaltinisik.org.uk/sunularim.htm> (12.02.2009).
67. Çırak MT. Kelenderis iskelet populasyonunun paleodiyeti üzerine bir araştırma. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Ankara, 2003.

68. Güler Ç., Çobanoğlu Z. Kimyasallar ve çevre. Ankara: Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, Yayın No: 50, 1997.
69. Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Güven A., Timur S. Metallerin çevresel etkileri –II. Metalurji Dergisi 2004; 137: 46-51.
70. Onianwa PC., Adeyemo O., Idowu E., Ogabiela E. Copper and zinc contents of the Nigerian foods and estimate of adult dietary intakes. Food Chemistry 2001;72: 89-95.
71. Cıçık B. Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus Carpio* L.)’nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri. Çevre ve Ekoloji Dergisi 2003; 12(48): 32-36.
72. Aluçlu MU. İlk bulgusu ekstrapiramidal semptom olan wilson hastalığı: Olgu sunumu. Dicle Tıp Dergisi 2007; 34(2): 127-130.
73. <http://www.food-info.net/tr/metal/> (02.03.2009).
74. Doğan B., Eşiyok B., Cantürk G. Kurşun zehirlenmesi. Toksikoloji Dergisi 2004; 2(3): 25–30.
75. Duruibe JO, Ogwuegbu MOC., Ekwurugwu JN. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International Journal of Physical Sciences 2007; 2(5): 112-118.
76. European Commission DG ENV. E3. Heavy Metals in Waste. Final Report, Project ENV.E.3/ETU/2000/0058, Danimarka, 2002.
77. Baş AL. Çevresel toksikoloji yönünden bazı ağır metaller. Ekoloji Dergisi 1992; 5: 2-46.
78. Şanlı C., Hızıl S., Albayrak M. Kurşun ve çocuk sağlığı. TTB-STED 2005; 14(4): 70-75.

79. Mercan U. Toksikolojide serbest radikallerin önemi. 100.Yıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi 2004; 15(1-2): 91-96.
80. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for cadmium. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, 1999.
81. International Center For Environmental Technology Transfer (ICETT). Industrial Pollution Control Measure in Yokkaichi, Mie Ken. Seminar's Final Report, Yokkaichi City, 2004.
82. Taylor J., DeWoskin R., Ennever FK. Toxicological profile for cadmium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999.
83. Kayhan FE. Su ürünlerinde kadmiyumun biyobirikimi ve toksisitesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 2006; 23(1-2): 215–220.
84. Boğa A. Ağır metallerin özellikleri ve etki yolları. Arşiv 2006; 16: 218–234.
85. Jiang W., Liu D., Hou W. Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (*Allium sativum* L.). Bioresource Technology 2001; 76(1): 9-13.
86. İlhan Aİ., DüNDAR C., Öz N., Kılınç H. Hava kirliliği ve asit yağmurlarının çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü <http://www.meteor.gov.tr/2003/arge/havakirliligi/havakirliligi.htm> (28.03.2009).
87. Eroğlu A., Aksoy N. Jeotermal suların kimyasal analizi. TESKON Jeotermal Enerji Semineri, 2003;149-183.
88. Milacic R., Kralj B. Determination of Zn, Cu, Cd, Pb, Ni and Cr in some Slovenian foodstuffs. European Food Research and Technology 2003; 217: 211-214.

89. Clurdová E., Száková J., Mihalová D., Mestek O., Suchánek M. Evaluation of various mineralization methods and measurement techniques for trace element analysis of plant materials. *Analisis* 1998, 26: 116–121.
90. Türker İ. Laboratuvar Tekniği. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Yayın No: 1237, 1992.
91. Matusiewicz H. Wet Digestion Methods. Centre of Excellence in Environmental Analysis and Monitoring. Eds: Szpinek P., Chrzanowski W, Namieśnik J., The Chemical Faculty of the Gdańsk University of Technology, 2003.
92. Lamble KJ., Hill SJ. Microwave digestion procedures for environmental matrices. *Analyst* 1998; 123: 103R–133R.
93. Burguera M., Burguera JL. Microwave assisted sample decomposition in flow analysis. *Analytical Chimica Acta* 1998; 366: 63-80.
94. Eskillson C., Bjorklund E., Analytical scale microwave assisted extraction. *Journal of Chromatography A* 2000; 227-250.
95. Günal H., Erşahin S., Akbaş F., Budak M. Toprak biliminde kızıl ötesi spektrometrenin potansiyel kullanımı. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2007; 22(2): 219-226.
96. <http://w3.gazi.edu.tr/~mkaracan/enstrumental/Atomik%20Emisyon%20Spektroskopis> (25.04.2009).
97. Thomas R., A Beginner's guide to ICP-MS Part III: The Plasma Source. <http://spectroscopymag.findpharma.com/spectroscopy/data/articlestandard/spectroscopy/452001/1096/article.pdf> (15.04.2009).

98. Inczédy J., Lengyel T., Ure AM. Compendium of Analytical Nomenclature, Definitive Rules. 3rd ed., Blackwell Science, Oxford, UK; 1997.
99. Hazem A M. Development and evaluation of high resolution quadrupole mass analyzer and an inductively coupled plasma-mach disk. Iowa State University, Thesis (Ph.D.) Ames, IA US, 1999.
100. Forsgard N. Inductively coupled plasma spectrometry for speciation analysis. ACTA, Universitatis Upsaliensis Uppsala, 2007.
101. Manning TJ., Grow WR. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. The Chemical Educator 1997.
102. Başar H., Bursa ili topraklarının verimlilik durumlarının toprak analizleri ile incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2001; 15(2): 69-83.
103. Yıldırım N., Bayraktutan M., Çakal MA. Erzincan ovası topraklarının bitki besin elementi ve potansiyel toksik element miktarlarının belirlenmesi. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Projesi, 2008.
104. T.C. Resmi Gazetesi. 17.05.2008- tarihli ve 2008/26 nolu Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ Ankara, 2008.