

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

MUĞLA İLİNDE YETİŞEN BAZI SEBZE VE MEYVE
NUMUNELERİNDE ICP-OES METODU İLE KURŞUN,
KADMİNYUM VE CİVA TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PELİNSU BERFİN ABAZA

HAZİRAN 2024

MUĞLA

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

MUĞLA İLİNDE YETİŞEN BAZI SEBZE VE MEYVE
NUMUNELERİNDE ICP-OES METODU İLE KURŞUN,
KADMİNYUM VE CIVA TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PELİNSU BERFİN ABAZA

HAZİRAN 2024

MUĞLA

MUGLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

PELİNSU BERFİN ABAZA tarafından hazırlanan **MUĞLA İLİNDE YETİŞEN BAZI SEBZE VE MEYVE NUMUNELERİNDE ICP-OES METODU İLE KURŞUN, KADMİNYUM VE CIVA TAYİNİ** başlıklı tezinin, 18/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. Yasin ARSLAN (**Jüri Başkanı**)

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı,
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur

Prof. Dr. İbrahim KULA (**Danışman**)

Kimya Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Doç. Dr. Ali İmran VAİZOĞULLAR (**Üye**)

Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

İmza:

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Mehmet UĞURLU

Kimya Anabilim Dalı Başkanı
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. İbrahim KULA (**Danışman**)

Kimya Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

İmza:

Savunma Tarihi: 12/06/2024

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Pelinsu Berfin ABAZA

12/06/2024

ÖZET

MUĞLA İLİNDE YETİŞEN BAZI SEBZE VE MEYVE NUMUNELERİNDE ICP-OES METODU İLE KURŞUN, KADMİNYUM VE CIVA TAYİNİ

Pelinsu Berfin ABAZA

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim KULA

Haziran 2024, 54 sayfa

Ağır metaller, toksikolojik özelliklere sahip oldukları ve buldukları ortamlardaki kalıcılıkları sebebiyle antropojenik kökenli en tehlikeli çevresel kirleticilerden biridir. Ağır metal kontaminasyonu açısından kömür yakan santraller oldukça risk oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Muğla-Yatağan Termik Santrali emisyonlarının santral çevresinde yetiştirilen bazı sebze ve meyvelerin ağır metal kapsamı üzerine etkileri araştırılmıştır. Sıklıkla tüketilen yirmi iki çeşit besin 2 farklı bölgeden yaz ve kış olarak 2 ayrı mevsimde toplanarak bu bitkilerdeki cıva (Hg), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) konsantrasyonları indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometrisi tekniği ile belirlenmiştir. Çalışılan gıda numunelerindeki Hg, Cd ve Pb konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen sınır değerlerin altında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metaller, ICP-OES, Yatağan Termik Santrali, besin

ABSTRACT

DETERMINATION OF LEAD, CADMIUM AND MERCURY IN SOME VEGETABLE AND FRUIT SAMPLES GROWING IN MUĞLA PROVINCE BY ICP-OES METHOD

Pelinsu Berfin ABAZA

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim KULA

June 2024, 54 pages

Heavy metals are among the most dangerous environmental pollutants of anthropogenic origin due to their toxicological properties and persistence in the environment. Coal-fired power plants pose a significant risk in terms of heavy metal contamination. This study investigates the effects of emissions from the Muğla-Yatağan Thermal Power Plant on the heavy metal contents of certain vegetables and fruits grown in the vicinity of the plant. Twenty-two commonly consumed food items were collected from two different regions during two separate seasons, summer and winter, and the concentrations of mercury (Hg), cadmium (Cd), and lead (Pb) in these plants were determined using the inductively coupled plasma optical emission spectrometry technique. It was found that the concentrations of Hg, Cd, and Pb in the studied food samples were below the threshold values set by the World Health Organization (WHO).

Keywords: Heavy metals, ICP-OES, Yatağan Coal Fired Power Plant, food

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca benimle birlikte aylarca gecenin geç saatlerine kadar sabırla beraber çalışan, tecrübesini, bilgisini ve maddi-manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen hayatım boyunca hakkını ödeyemeyeceğim sayın danışman hocam Prof. Dr. İbrahim KULA'ya sonsuz şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca her zaman bana destek olan, karşılaştığım güçlüklerde her zaman bir çözüm yolu bulan, kendisinden yardım istediğimde kendi işini bırakıp bana yardım edebilmek için uğraşan diğer hocalarım sayın Dr. Muhammet ATASOY, sayın Doç. Dr. Dilek YILDIZ ve sayın Doç. Dr. Ali İmran VAİZOĞULLAR'a da sonsuz şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kadmiyum (Cd).....	4
1.2. Kurşun (Pb)	6
1.3. Cıva (Hg).....	9
1.4. ÇEŞİTLİ GIDA ÖRNEKLERİNDE ESER ELEMENT TAYİNİ İÇİN KULLANILAN ANALİTİK TEKNİKLER:	11
1.4.1. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi:.....	11
1.4.2. Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (FAAS):	12
1.4.3. Elektrotermal Atomizasyon Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (ETAAAS):	13
1.4.4. Hidrür Oluşturma Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (HG-AAS):.....	13
1.4.5. Soğuk Buhar Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (CV-AAS):.....	14
1.4.6. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS):.....	15
1.4.7. İndüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektroskopisi (ICPOES):.....	16
1.4.7.1. İndüktif Eşleşmiş Plazma Karakteristikleri.....	18
1.4.7.2. Enstrümantasyon:.....	19
1.4.7.3. Örnek Giriş.....	19
1.4.7.4. Nebulizatör	20
1.4.7.5. Dedektörler.....	20
1.4.7.6. Örnek Hazırlama:	21
2. MATERYAL VE YÖNTEM	24
2.1. Numunelerin Analize Hazırlanması	24
2.2 Çalışma Koşulları.....	30
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35

KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	41



ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kronik Toksisitelerin Klinik Yönleri.....	3
Çizelge 1.2 Endüstrilerde kullanılan çeşitli toksik metaller ve bunların canlı organizmalarda sağlığa zararları	3
Çizelge 2.1 ICP-OES çalışma koşulları	30
Çizelge 2.2 Deneysel ve sertifikalı değerlerin NIST-SRM 1547 Peach Leaves; karşılaştırılmaları.....	30
Çizelge 2.3 Yöntemin analitik parametreleri	31
Çizelge 3.1. Yaz döneminde Ula bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları	31
Çizelge 3.2. Yaz döneminde Yatağan bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları	32
Çizelge 3.3. Kış döneminde Ula bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları	33
Çizelge 3.4. Kış döneminde Yatağan bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İndüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) ...	17
Şekil 1.2 Çalışma alanı.....	23
Şekil 2.1. Yaz döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan önceki görüntüsü	24
Şekil 2.2. Yaz döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü	25
Şekil 2.3. Kış döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan önceki görüntüsü	25
Şekil 2.4. Kış döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü	26
Şekil 2.5. Kış döneminde Yatağan yerel halk pazarından toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü.....	26
Şekil 2.6. Kış döneminde Ula halk pazarından toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü	27
Şekil 2.7. Numunelerin tartılması	27
Şekil 2.8. Numunelerin mikrodalga yakma ünitesine konulmadan önce hazırlanması	28
Şekil 2.9. Mikro Dalga Yakma Ünitesi (CEM MARS 6)	28
Şekil 2.10. Analiz için hazırlanan ve polietilen kaplara konulan numunelerin görüntüsü	29

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi
AFS	Atomik Floresans Spektrometrisi
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
EDX	Enerji Ayrımlı X Işınları
FI-CVG-ICP-MS	Akışa Enjeksiyon Uçucu Bileşik Oluşturma İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometrisi
HG-AAS	Hidrür Oluşturmalı Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi
HG-AFS	Hidrür Oluşturmalı Atomik Floresans Spektrometrisi
HG-IAT	Hidrür Oluşturmalı Bütünleştirilmiş Atom Tuzağı
HG-IAT-AAS	Hidrür Oluşturmalı Bütünleştirilmiş Atom Tuzağı Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi
IAT	Bütünleştirilmiş Atom Tuzağı
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometrisi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometrisi
LOD	Gözlenebilme Sınırı
LOQ	Tayin Sınırı
NaBH ₄	Sodyum Bor Hidrür
NaOH	Sodyum Hidroksit
PTFE	Politetrafloroetilen Polimeri, Teflon
QTA	Kuvars Tüp Atomlaştırıcı
QTA-HG-AAS	Kuvars Tüp Atomlaştırıcı Hidrür Oluşturmalı Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi
RSD	Bağıl Standart Sapma
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SRM	Standart Referans Madde
TiO ₂	Titanyum Dioksit
W	Tungsten
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Metaller doğal olarak yer kabuğunda bulunur ve bileşimleri farklı yerler arasında değişir, bu da çevredeki konsantrasyonların yapısal farklılıklarına yol açabilmektedir. Endüstride ve günlük hayatımızda çok çeşitli metallerin kullanımının artmasıyla, çevrenin toksik metal kirliliğinden kaynaklanan sorunlar önemli boyutlara ulaşmıştır. Toprakta biriken yüksek metal konsantrasyonu, üretkenlik ve verimlilik üzerinde zararlı etkilere neden olurken bu metaller ayrıca yiyecek, su veya hava yoluyla sisteme girerek uzun süre boyunca biyoakümülyasyona uğrayabilmektedir. İnsan vücudunda öldürücü metallerin birikmesi, büyüme ve gelişim anormallikleri, kanser oluşumu, nöromüsküler bozukluklar, mental hastalıklar ve metabolik aktivitelerin başarısızlığı gibi ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilmektedir. (Mishra ve ark., 2019)

Metaller genellikle küçük miktarlarda besin maddesi olarak gereklidir, çeşitli enzimatik ve metabolik yollarla ilgilidir ve kofaktör olarak işlev görürler ancak, bu tür metallerin büyük miktarları tüm yaşam formları, mikroorganizmalar, bitkiler, hayvanlar ve insanlar için güçlü bir şekilde engelleyici/ölümcül hale gelebilmektedir. Metal iyonlarının memeli sistemlerine toksisitesi, iyonların hücresel yapısal proteinler, enzimler ve membran sistemi ile kimyasal reaktivitesinden kaynaklanmaktadır ve belirli metal toksisitelerinin hedef organları genellikle metalin en yüksek konsantrasyonlarını biriktiren organlardır. Krom ve nikel gibi bazı metaller, maruz kalan insan popülasyonlarında kanserle ilişkilendirilmiştir. (Mahurpawar, 2015)

Eser element, yer kabuğunda yaklaşık 1000 mg/kg veya daha az miktarda bulunan element olarak tanımlanabilir. Eser elementler yoğunluklarına göre hafif ve ağır elementler olarak sınıflandırılmaktadır. Yoğunlukları 5g/cm^3 'den küçük olan elementler "hafif" elementler olarak kabul edilirken, yoğunlukları 5g/cm^3 'den büyük olan elementler ise "ağır" elementler olarak kabul edilmektedirler. Eser elementlerin seviyeleri belirli yoğunluklara ulaştığında insan sağlığına ve çevreye yönelik olası tehlikeleri nedeniyle kirlenme açısından oldukça önemlidir.

Ağır metaller, yer kabuğunun ana elementleri olup, tamamen biyolojik olarak parçalanamayan, ancak toksik olmayan formlara dönüştürülebilen kalıcı çevresel kirleticiler olarak var olurlar. (Mishra ve ark., 2019) Ağır metaller, kadmiyum, kurşun, cıva, nikel, krom, arsenik, antimon, bizmut, seryum, kobalt, kalay, bakır ve çinko gibi metalleri içermektedir.

Çevre kirliliğinin en tehlikeli kirleticisi, yüksek toksisiteleri ve çevrede uzun süre kalmaları nedeniyle ağır metallerdir ve önceki araştırmalar, yüksek düzeyde ağır metal maruziyetinin insan vücudunda birikmelerine neden olacağını ortaya koymuştur. İnsanların ağır metallere maruz kalması sindirim, soluma ve deri emilimi olmak üzere üç ana yolla gerçekteşmektedir fakat çoğu birey için bu zehirli maddelere maruz kalmanın başlıca yolu su ve gıdalar olmaktadır. (Hamad, 2018) Cıva, kurşun ve kadmiyum en zehirli ağır metallerdir.

Bazı ağır metaller eser miktarlarda canlı organizmalar açısından metabolik faaliyetlerine bağlı olarak oldukça önemlidir ve çeşitli ağır metallerin yüksek çözünürlüğu, birçok endüstriyel faaliyet tarafından deşarj edildiklerinde onları su ve toprak için son derece zehirli ve tehlikeli bir kirleticisi haline getirebilmektedir bu metaller çevreye salındığında, yeraltı sularına sızabilir, birikebilir veya yüzey sularına ve toprağa karışarak su ve toprak kirliliğine yol açabilmektedir. Böylece ağır metaller, besin zincirlerinde transferde yer alabilen çevre için potansiyel bir kirleticisi haline gelebilmektedir. Ağır metallerin toksisitesi temel olarak fizyolojik biyo-toksik etkilerden sorumlu olan bağlı oksidasyon durumuna bağlıdır ve bu metaller canlı organizmaların içine girdiğinde, proteinler, enzimler ve DNA molekülleri ile birleşerek son derece kararlı biyotoksik bileşikler oluşturur, böylece bunların düzgün işleyişini değiştirir ve biyoreaksiyonlarını engelleyebilmektedir. (Mishra ve ark., 2019) Öldürücü metallerin insan vücudunda birikmesi, büyüme ve gelişme anormallikleri, kanserojen etkiler, akıl hastalıkları ve metabolik faaliyetlerde başarısızlık gibi ciddi sağlık sonuçları yaratır.

Araştırmalara göre ağır metal toksisiteleri beyin hasarına veya zihinsel süreçlerin ve merkezi sinir fonksiyonlarının azalmasına, düşük enerji seviyelerine, DNA hasarına, gen ifadesinde değişikliklere, deri, kas, kan bileşimi, akciğerler, böbrekler, karaciğer, kalp, insanlar ve diğer canlı organizmalar için diğer hayati organlar üzerinde etkilidir. Uzun süreli maruziyetinde ise, Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı, kas distrofisi,

multipl skleroz, kangren, diabetes mellitus, hipertansiyon ve iskemik kalp hastalığını taklit eden yavaş ilerleyen fiziksel, kas ve nörolojik dejeneratif süreçlerle sonuçlanabilmektedir ayrıca alerjiler yaygındır ve bazı ağır metaller veya bileşikleri ile tekrarlanan uzun süreli temas kansere neden olabilmektedir. (Fernandez-Luqueno ve ark., 2013) Kronik toksisitelerin olası birincil kaynak ve klinik olarak etkileri Çizelge 1.1’de verilmiştir. (Mahurpawar, 2015)

Çizelge 1.1. Kronik Toksisitelerin Klinik Yönleri

Metal	Hedef Organlar	Birincil Kaynaklar	Klinik Etkiler
Arsenik	Pulmoner Sinir Sistemi ve Cilt	Endüstriyel Toz, Tıbbi Kullanım ve Su	Burun Perforasyonu Septum, Solunum Kanseri, Periferik Nöropati: Dermatolar, Deri, Kanseri
Kadmiyum	Böbrek, İskelet ve Akciğer	Endüstriyel Toz, Duman, Kirlilik, Su ve Beslenme	Proteinüri, Glukozüri, Osteomalazi, Aminoasitüri, Amfizemi
Krom	Akciğer	Endüstriyel Toz, Duman, Kirlilik ve Beslenme	Ülser, Perforasyon Nazal Septum, Solunum Kanseri
Mangan	Sinir Sistemi	Endüstriyel Toz ve Duman	Merkezi ve Çevresel Nöropatiler
Kurşun	Sinir Sistemi, Hematopoetik Sistem ve Böbrek	Endüstriyel Toz, Duman, Kirlilik ve Beslenme	Ensefalopati, Periferik Nöropati, Merkezi Sinir Bozuklukları, Anemi.
Nikel	Akciğer ve Cilt	Endüstriyel Toz, Aerosoller	Kanser, Dramatis
Kalay	Sinir, Akciğer Sistem	Tıbbi Kullanım, Endüstriyel Toz	Merkezi Sinir Sistemi Bozuklukları, Görsel Kusurlar ve EEG Değişiklikleri, Pnömokonyoz
Cıva	Sinir Sistemi, Böbrek	Endüstriyel Toz, Duman, Kirlilik, Su ve Beslenme	Proteinüri

Endüstride kullanılmakta olan çeşitli toksik metaller ve bunların canlı organizmaların sağlığı üzerindeki oluşabilecek olumsuz etkileri Çizelge 1.2’de belirtilmiştir. (Mishra ve ark., 2019)

Çizelge 1.2 Endüstrilerde kullanılan çeşitli toksik metaller ve bunların canlı organizmalarda sağlığa zararları

Metaller	Uygulamalar	Sağlık Tehlikeleri
Cr	Tabaklama, mantar ilaçları, boya pigmentleri	Kanser, nefrit, ülserasyon ve saç dökülmesine sebep olmaktadır.

Hg	Kömür vinil klorürler, elektrik piller, termometreler	Otoimmün hastalık, depresyon, uyuşukluk, yorgunluk, saç dökülmesi, uykusuzluk, hafıza kaybı, huzursuzluk, görme bozukluğu, titreme, öfke patlamaları, beyin hasar, akciğer ve böbrek rahatsızlıkları
Pb	Plastik, boya, boru, pil, benzin, oto egzozu	Nörotoksik ve riskli kardiyovasküler hastalık
Cd	Gübre, plastik, pigmentler	Kanserojenik, mutajenik, endokrin bozucu, böbrek hasar, akciğer hasarı ve kırılğan kemikler, kalsiyumu etkiler biyolojik sistemlerde değişikliklere neden olabilir.
Zn	Gübre	Baş dönmesi, yorgunluk, kusma, böbrek hasarı ve kramplar
Co	B-12 Vitamini, ahşap koruyucular	İshal, düşük tansiyon ve felç
Se	Kömür ve sülfür	Endokrin sistemin fonksiyonunu etkiler, bağışıklık sisteminde bozulmaya yol açabilir, hepatotoksisite, gastrointestinal rahatsızlıklar, karaciğer, böbrek, dalakta hasara neden olabilir ve gerginlik yaratır.
Ni	Elektrokaplama	Akciğer kanseri, alerjik kaşıntı gibi hastalıklar, immünotoksik, nörotoksik, teratojenik, kanserojenik, genotoksik ve mutajeniktir, doğurganlığı ve saç dökülmesini etkiler
Be		Kanserojenik, akut ve kronik zehir
Cu	Kömür ve roket yakıtında Elektronik, ahşap koruyucular ve mimarlıkta	Beyin ve böbrek hasarı, karaciğerde yüksek seviyeler ve siroz, kronik anemi, mide ve bağırsakta tahriş
As	Pestisitler, işlenmiş ahşap ürünler ve herbisitler	Temel hücresel yapıları etkiler , arsenikoz ve kanser
Ba	Uygun toz kontrolü ekipman ve endüstriyel kontroller	Kardiyak aritmilere neden olur. Solunum yetmezliği, gastrointestinal disfonksiyon, kas seğirmesi ve yüksek kan basıncı

1.1. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum yer kabuğunda kilogram başına ortalama 0.1 miligram düzeyinde yaygın olarak dağılmaktadır ve çevredeki en büyük Cd konsantrasyonu tortul kayaçlarda birikir ve deniz fosfatları kilogram başına yaklaşık on beş miligram Cd içerir. (Hamad, 2018) Cd, önemi giderek artan bir çevresel kirleticidir. Son 15 yılda Kapsamlı Çevresel Müdahale, Tazminat ve Sorumluluk Yasası (CERCLA), Cd'yi öncelikli tehlikeli maddeler listesinde kalıcı olarak listelemiştir (Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR] 2007). (Wu ve ark., 2012)

Kimyasal bir element olarak Cd bozunamaz ve çevredeki konsantrasyonu büyük ölçüde insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak sürekli artar. (Wu ve ark., 2012) Kadmiyum çok sayıda endüstriyel faaliyette yaygın olarak kullanılmaktadır ve başlıca endüstriyel kullanım alanları pigmentler, alaşımlar ve pil üretimidir. (Hamad, 2018) Kömür ve mineral gübreler de dahil olmak üzere tüm topraklar ve kayalar bir miktar kadmiyum içermektedir. Kadmiyumun piller, pigmentler, metal kaplamalar ve plastikler dahil olmak üzere birçok kullanım alanı vardır ayrıca elektro kaplamada yaygın olarak kullanılmaktadır. (Martin ve ark., 2009) Kadmiyum boyalar için pigmentlerde, emaye, cam, plastik, baskı mürekkepleri, kauçuk ve lakelerde, alaşımlarda; Ni-Cd pillerin üretiminde; termoplastiklerde stabilizatör olarak ve fotoiletkenler ve fotoelektrik güneş pilleri, otomobil lastikleri ve nükleer reaktörlerdeki kontrol çubuklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Wu ve ark., 2012) Kirlenmiş topraklarda yetişmekte olan bitkiler kadmiyumu alabilir ve insanların diyetle ve solunum yoluyla maruz kalmasına neden olabilir ayrıca kadmiyumla kirlenmiş topraklar bozulduklarında ve bu toz bulunduğu da insan maruziyeti meydana gelebilmektedir. Yüksek miktarda et (özellikle karaciğer ve böbrek) veya deniz memelilerinden elde edilen ürünleri yüksek miktarda içeren diyetler aşırı kadmiyum alımına neden olabilir. (Mahurpawar, 2015) Metal endüstrileri, bozulmuş ve israf edilmiş gıdalar, sigaralar ve fabrikalar ve çalışma alanlarıyla ilgili kadmiyum ürünleri dahil olmak üzere birçok kaynakla solunum veya sindirim yoluyla kadmiyum kontaminasyonuna yoğun şekilde maruz kalmak insan ve hayvanları ciddi şekilde etkilemektedir. (Mishra ve ark., 2019)

İnsanlar kadmiyuma inhalasyon ve sindirim yoluyla maruz kalır, ancak literatürde kaydedilen başlıca sağlık etkileri diyet yoluyla (böbrek ve kemik hasarı) ve tütün kullanımı ile mesleki maruziyetten kaynaklanan inhalasyon yoluyla (akciğer hasarı) ortaya çıkabilmektedir ve sigara içmeyenlerde ise tüm maruziyetin %90'ı diyet yoluyla gerçekleşir. (Mahurpawar, 2015)

Kadmiyumun akut zehirlenmesi testisler, karaciğer, böbrek ve akciğerlerde hasara yol açmaktadır ayrıca kronik maruziyet obstrüktif hava yolu hastalıklarına, amfizeme, son dönem böbrek yetmezliklerine, diyabetik ve renal komplikasyonlara, düzensiz kan basıncına, kemik bozukluklarına ve bağışıklık sisteminin baskılanmasına yol açar. (Wu ve ark., 2012) Kadmiyumun toksisitesi 1955 gibi erken bir tarihte Japonya'da itai-

itai hastalığı olarak ortaya çıkmıştır ve ilk kez kadmiyum kirliliğinin insan sağlığı üzerinde ciddi sonuçları olduğu gösterilmiştir. Artık Cd'nin balıklar aracılığıyla da biyolojik olarak biriktirilebildiği ve daha sonra besin zinciri yoluyla büyütülebildiği kabul edilmektedir ve en önemli etkileri böbrek hasarları (tübüler ve glomerüler disfonksiyonlar dahil), immün yetmezlikler, apatiler, kemik hasarları (osteomalazi ve osteoporoz), femoral ağrı, lumbago ve iskelet deformasyonudur. (Wu ve ark., 2012) Böbreklerde uzun süreli kadmiyum maruziyeti, böbrek tübüllerinde proteinlerin yeniden emiliminden sorumlu olan çeşitli enzimleri olumsuz etkileyebilmektedir ve böbrek fonksiyon bozukluğuna ve proteinüriye yol açabilmektedir. Kadmiyumun neden olabileceği kardiyovasküler hasarlar arasında ateroskleroz, hipertansiyon ve kardiyomiyopati bulunmaktadır.

Kadmiyum, histidin, sistein, aspartat ve glutamat ligandlarına kolayca bağlanabildiğinden demir eksikliklerine neden olabilmektedir aynı zamanda, ciddi emilim sonrası böbrek ve karaciğer hasarlarına, komaya yol açabilir ve ciddi bir gastrointestinal irritan olarak görev yapabilir. (Mishra ve ark., 2019) Ayrıca, kadmiyum maruziyetinin akciğer, prostat, böbrek, endometriyum, meme ve mide kanserleri gibi kanserlerin potansiyel bir nedeni olarak kabul edilmektedir bu nedenle de Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC - The International Agency for Research on Cancer) tarafından potansiyel bir kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. (Wu ve ark., 2012)

1.2. Kurşun (Pb)

Kurşun (Pb), periyodik tablonun IV grubuna ve 6. periyoduna ait mavimsi gri bir metaldir. Doğal olarak S'li sülfürler (PbS, PbSO₄) veya oksijenli oksitler (PbCO₃) gibi diğer bileşenlerle birlikte mineral olarak bulunur ve yer kabuğunda 10 ila 30 mg kg⁻¹ arasındaki konsantrasyonlarda bulunur. Kurşun yaygın olarak oto egzozu, saç boyaları, boyalar, sindoor (vermillion), surma (collyrium), çanak çömlek ve emaye eşyaların sırlanmasında kullanılmaktadır. (Mishra ve ark., 2019)

Kurşun, çevredeki küresel olarak bol dağılmış fakat en önemli toksik ağır element olmakla birlikte önemli fizikokimyasal özellikleri nedeniyle, kullanımı tarihi zamanlara kadar uzanmaktadır. Biyolojik olarak parçalanamayan doğası ve sürekli

kullanımı nedeniyle, konsantrasyonu artan tehlikelerle birlikte çevrede birikebilmektedir. Kurşun, vücuttaki hemen hemen her organı etkileyen oldukça zehirli bir metaldir. (Ara ve ark., 2015)

Kurşun tarımsal, endüstriyel ve yerel gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır ve bu dağılımın %83'ünü kurşun-asit akü üretimi oluşturmaktadır, geri kalan kullanım ise sırasıyla %3,5, %2,6 ve %1,7 oranında boya, cam, pigment ve kimyasallar için mühimmat oksitleri ve levha kurşun gibi çeşitli ürünleri içermektedir. (Hamad, 2018) Akü, mühimmat, lehim ve boru gibi metal ürünler ve X-ray koruyucu cihazlar üretmek için de kullanılmaktadır. (Martin ve ark., 2009)

Yetiştirildikleri topraklardan yüksek kurşun seviyeleri ile kirlenmiş meyve ve sebzeler nedeniyle kurşun toksisitesi oluşabilmektedir ve kandaki kurşun seviyesinin 25 ila 60 µg/dL arasında olması, tepki süresinde gecikme, sinirlilik ve konsantrasyon güçlüğü gibi nöropsikiyatrik etkilerin yanı sıra motor sinir iletiminde yavaşlama ve baş ağrısına yol açmaktadır. (Ara ve ark., 2015)

Karayolu taşımacılığı ve taşıtlar, çevreye yüksek miktarda kurşun salınımının başlıca sorumlularıdır ayrıca, kömür yanması, kurşunlu yakıtlar ve pirometalurjik demir dışı metal üretimi gibi insan faaliyetleri, su kütleleri ve toprak kaynaklarının kurşunla kirlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Kurşun, iyonik, oksit, hidroksit ve oksianyon formlarında çevrede bulunabilmektedir ve bu formlar arasında Pb (II) formu yaygın ve oldukça reaktif ve iyonik bir formdur, oysa Pb (VI) bileşikleri kovalent ve güçlü oksitleyici özelliklere sahiptir.

Endüstriyel kurşun maruziyeti, zeka katsayısında düşüşe, hafıza kaybına, kısırlığa, ruh hali değişimine ve kısırlığa neden olmaktadır. Kurşuna maruz kalmanın en önemli yollarından biri, kirlili toprak veya tozun yemek yoluyla doğrudan alınmasıdır ayrıca, solunum da kurşun zehirlenmesinin önemli nedenlerindedir.

Kurşun son derece tehlikeli bir ağır metaldir ve insan vücudu için gerekli değildir, ancak kontamine gıda alımı yoluyla insan vücuduna girebilir, ciddi ve belirgin hastalıklara, eklemelerde zayıflığa, mide bulantısına, uykusuzluğa, iştahsızlığa ve hatta ölüme neden olabilmektedir. (Mishra ve ark., 2019) Yetişkinlere kıyasla gençler ve bebekler kurşun zehirlenmelerine karşı daha duyarlıdır.

Kurşun, vücuttaki hemen hemen her organı etkileyen son derece zehirli bir metaldir. (Ara ve ark., 2015) Kurşun zehirlenmesi genellikle kurşunla kontamine olmuş yiyecek veya suyun yutulmasıyla meydana gelmekle birlikte kurşunun hızla kan dolaşımına emildiği ve merkezi sinir sistemi, kardiyovasküler sistem, böbrekler ve bağışıklık sistemi gibi belirli organ sistemleri üzerinde olumsuz etkiler yarattığı düşünülmektedir ve son derece düşük fakat sürekli kurşun maruziyetinin çocukların bilişsel kapasitesini azalttığı bulunmuştur. (Ara ve ark., 2015) Çok yüksek kan kurşun seviyelerinde, kurşun güçlü bir düşük yapıcı olmakla birlikte daha düşük seviyelerde ise düşükler ve bebeklerin düşük doğum ağırlıkları ile ilişkilendirilmiştir. Düşük seviyeli kurşun maruziyetinin küçük çocuklar üzerindeki potansiyel etkileri konusunda çok sayıda tartışma bulunmaktadır.

Kurşun toksisitesinde en çok etkilenen organlar arasında sinir sistemi hem çocuklarda hem de yetişkinlerde hedef alınabilmektedir ancak, çocuklardaki toksisite etkisi yetişkinlere göre çocukların iç ve dış dokularının yetişkinlerden daha yumuşak olması nedeniyle daha büyüktür.

Yetişkinlerin uzun süreli maruz kalması, sinir sistemi işlevlerini ölçen bazı bilişsel performans testlerinde düşüşe neden olabilmektedir ayrıca bebekler ve küçük çocuklar, düşük kurşun seviyelerine bile özellikle duyarlıdır ve bu durum davranış problemlerine, öğrenme eksikliklerine ve düşük IQ'ya katkıda bulunabilir.

Uzun süreli kurşun maruziyetinin, yaşlı ve orta yaşlı insanlarda hem sentezini önleyerek veya etkisiz hem sentezine yol açarak ardından mikrositik anemiye neden olduğu ve kan basıncında artışa yol açtığı bildirilmiştir. Anemi, 50 µg/dL'den daha yüksek kan kurşun seviyelerinde ortaya çıkabilmektedir.

Hem yetişkinlerde hem de çocuklarda yüksek kurşun seviyelerine maruz kalmanın, beyin ve böbreklerde ciddi hasara yol açtığı ve ölümlerle sonuçlanabildiği bulunmuştur. Hamile kadınlarda yüksek kurşun maruziyeti düşük yapmaya neden olabilmektedir ve kronik kurşun maruziyetinin erkeklerde ise doğurganlığı azalttığı tespit edilmiştir. (Ara ve ark., 2015)

Yaklaşık 20 µg/100 ml'nin üzerindeki kan kurşun seviyelerinde çocukların nöropsikolojik gelişimi üzerinde hafif etkiler görülebilir. Çalışmalar, erkek kurşun işçilerinde duyuşsal motor reaksiyon süresinde yavaşlama ve kan kurşun seviyesi >40 µg/100 ml olan işçilerde bilişsel işlevlerde bazı bozukluklar olduğunu göstermiştir.

Periferik motor nöropati, kronik yüksek seviyeli kurşun maruziyetinin bir sonucu olarak görülmektedir. İnorganik kurşun işçilerinde nöropsikolojik fonksiyonlarda, görsel/motor performans, hafıza, dikkat ve sözel anlamada, hafif değişiklikler görülmektedir.

US EPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) tarafından kurşun muhtemel bir kanserojen olarak belirlenmiştir. (Martin ve ark., 2009)

1.3. Cıva (Hg)

Cıva (Hg), periyodik tablonun 6. periyoduna ve d bloğuna ait ağır gümüş beyazı bir geçiş metalidir. Cıva kalıntıları, termometre ve barometre gibi bilimsel araç ve gereçlerde, kan basıncını ölçmek için kullanılan aletlerde, diş restorasyonu için amalgamda, floresan aydınlatmada sıklıkla kullanılmaktadır ve büyük ölçüde klor üretiminin elektrokimyasal sürecinde ve klor-alkali endüstrisinde bir elektrot olarak yer almaktadır. Ayrıca cıva, kostik soda üretiminde ve farmasötik ürünlerin korunmasında, nükleer reaktörlerde ve ahşap işleme için antifungal ajanlarda yer almakta ve reaktif ve değerli metaller için çözücü görevi görmektedir.

Cıva, doğada genellikle merkürük (Hg^{2+}), merkürlü (Hg_2^{2+}), elementel (Hg^0) veya alkillenmiş formda (metil/etil Hg) bulunan tehlikeli bir metaldir. Cıvanın kararlılığı, redoks potansiyeli ve sistemin pH'ına bağlıdır ve cıvanın alkilat formu son derece toksik, suda kolayca çözünür ve havada uçucudur. Cıva, temel olarak metalik elementler, inorganik tuzlar ve organik bileşiklerde bulunur ve bu bileşikler farklı toksisite ve biyoyararlanım özelliklerine sahiptir. Tüm bu formlar son derece zehirlidir ve gastrointestinal toksisite, nörotoksisite ve nefrotoksisiteye neden olur. Metil cıva, mitokondri hasarı, lipid peroksidasyonu, nörotoksik moleküllerin birikimi ve mikrotübül yıkımı gibi etkiler oluşturur. (Mishra ve ark., 2019)

Sinir sistemi, tüm cıva türlerine karşı çok hassastır. Yüksek seviyelere maruz kalmak, beyin, böbrekler ve gelişmekte olan fetüslerde kalıcı hasara yol açabilmektedir bu beyin fonksiyonları üzerindeki etkiler arasında sinirlilik, çekingencilik, titremeler, görme veya işitme değişiklikleri ve hafıza problemleri bulunmaktadır. Kısa süreli yüksek seviyelerde metalik cıva buharlarına maruz kalmak, akciğer hasarı, bulantı,

kusma, ishal, kan basıncı veya kalp atış hızında artış, cilt döküntüleri ve göz tahrişine neden olabilir. (Martin ve ark., 2009)

Çevredeki cıva salınımları volkanlar gibi doğal kaynaklardan veya demir dışı metal üretimi (izabe tesisleri), çimento, kostik soda ve ayrıca atık bertarafı gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır ayrıca tarımsal işlemede fosfatlı gübre kullanımı nedeniyle bitkisel gıdalar da cıva ile kirlenmiş olabilir. İnsanlar için cıvanın ana kontaminasyonu gıdalardan, özellikle de balık ve deniz ürünlerinden kaynaklanmaktadır ve balıklarda elementel cıva doğal olarak yüksek toksisiteye sahip bir bileşik olan metil cıvaya dönüşür. Cıva toksisitesinden en çok çocuklar ve bebekler etkilenmektedir. (Ferreira ve ark., 2015)

Metilcıva açısından, insan maruziyetinin ana kaynağı deniz ürünleri ve balıklardan gelen diyetel alım olmaktadır. Solunan elementel cıva buharının yaklaşık %80'i akciğer dokusunda tutulur, burada kan-beyin bariyerini geçerek nörolojik etkilere yol açar. Elementel cıvanın yutulması her zaman yüksek seviyelerde emilime yol açmamaktadır, ancak ölümler bildirilmiştir. Elementel cıva buharının solunması ise, titreme, duygusal kararsızlık, uykusuzluk, hafıza kaybı, nöromusküler değişiklikler ve baş ağrıları gibi belirtilere neden olduğu gözlemlenmiştir ve yüksek maruziyetler ölüme yol açabilmektedir ancak kritik etkiler nörotoksik ve renal olmaktadır.

İnorganik cıvaya maruz kalmanın ana yolu ise diyeteldir, ancak bazı nüfus alt grupları için cilt beyazlatma kremleri, sabunlar ve geleneksel tıpta/ritüel uygulamalarda kullanım gibi ürünler hem inorganik hem de elementel cıvaya önemli maruziyetlere neden olabilmektedir. Metilcıva, gelişmekte olan insan beynine zarar veren güçlü bir nörotoksindir ve plasenta bariyerini ve kan-beyin bariyerini kolayca geçebilir, bu da hamilelik sırasında herhangi bir maruziyeti büyük bir endişe haline getirmektedir. (Mahurpawar, 2015)

US EPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) tarafından cıva klorür ve metil cıvanın olası kanserojenler olduğu belirlenmiştir. (Martin ve ark., 2009)

1.4. ÇEŞİTLİ GIDA ÖRNEKLERİNDE ESER ELEMENT TAYİNİ İÇİN KULLANILAN ANALİTİK TEKNİKLER:

1.4.1. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi:

Atomik Absorpsiyon, elementlerin buhar fazında atomlar halinde kendilerine özgü olan dalga boyunda elektromanyetik ışınları emmesi olarak tanımlanmaktadır. Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) ise gaz halindeki atomların, bir ışık kaynağından gelen elektromanyetik dalgayı absorbe etmesi sonucunda ışığın şiddetindeki azalmayı ölçen yöntemdir. Alev atomlaştırıcıda, örnek çözeltisi, kullanılacak sıcaklığa bağlı olarak değişen yanıcı gazla karışabilen yükseltgen gaz akışıyla taşınmaktadır ve alev içine püskürtülmektedir. Bu işlem sonrasında araştırılan elementin atomik buharı oluşur. Metal atomları, emisyon yapmalarını sağlayacak bir üst enerji seviyesine yükseltirse de, alev içerisindeki metal atomlarının büyük bir kısmı emisyon yapmadan kararlı hallerini korumaktadır. Kararlı durumdaki bu atomlar, karakteristik rezonans dalga boylarındaki ışığa maruz kaldıklarında ışığı absorbe ederler ve bu, sistemde bir absorbans değeri olarak ölçülmektedir. Bu değer, alev içerisindeki atomların yoğunluğu ile orantılı olmaktadır. (Biçer, 2018) Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) teknikleri, alev veya elektro termal atomizasyon atomik absorpsiyon spektroskopisi ((FAAS veya ETA-AAS) kullanılarak birçok laboratuvarında farklı gıda örneklerinde konsantrasyon elementlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır; ETA-AAS ile gıdalarda Pb ve Cd tayini; CVAAS kullanılarak gıdalarda cıva (Hg) tayini; HG-AAS veya ETA-AAS kullanılarak gıda örneklerinde Se ve As tayini.

Spektroskopik yöntemler arasında, Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) daha çok element analizleri için uygun olmaktadır. Ancak, aynı anda yalnızca bir elementin analizini yapabilmesi ve dolayısıyla çok sayıda elementin analizinin uzun zaman alması gibi dezavantajları vardır. Ayrıca bazı elementler özel teknikler gerektirdiğinden, bu durumlarda ICP teknikleri tercih edilmiştir. (Zurnacı, 2015) As, Sn, Pb, Hg ve Cd tayini için gıda örneklerinin analizine ilişkin bir yeterlilik testi raporu, ETA-AAS ve FAAS gibi atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile ilgili tekniklerden elde edilen sonuçların, indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) ve İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) gibi

indüktif olarak eşleşmiş plazma ile ilgili tekniklerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında iyi olmadığını göstermiştir. (Al-jaf, 2017)

1.4.2. Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (FAAS):

Alevli atomik absorpsiyon spektroskopisi (FAAS), farklı gıda örneklerinde farklı seviyelerde birçok besleyici ve toksik elementin belirlenmesinde kullanılabilir. (Al-jaf, 2017) Alevli atomlaştırıcılarda, örnek çözeltisi bir sisleştirici aracılığıyla alev püskürtülmektedir. Bu işlem sırasında, önce damlacıkların kurumması, çözücünün buharlaşması gerçekleşir. Buharlaşmanın ardından oluşan katı parçacıklar erir, daha sonra buharlaşır ve atomlaşırlar. Alev içinde organik bileşikler yanarken, inorganik maddeler buharlaşmaktadır veya alev gazları ile tepkimeye girmektedir. Çözeltideki taneciklerin buharlaştıktan sonra oluşan gaz molekülleri, ısıl ayrışmayla atomlarına ayrılmaktadır. (Ege, 2005). Alevli atomik absorpsiyon spektroskopisinde alev, numunenin çözelti halinde alevde çekileceği ve alevin hava-asetilen alevi ile 2300 °C'ye kadar, azot dioksit sistemi (N₂O)-asetilen alevi ile 2700 °C'ye kadar ulaşabilen yüksek sıcaklığı ile serbest atoma dönüştürüleceği atomlaştırıcı olarak kullanılmaktadır daha sonra numunelerin sindirilmesi ve analitik çözeltilerin hazırlanması için kuru külleme veya ıslak sindirim yöntemleri kullanılmaktadır ayrıca gıda numunelerindeki bazı elementlerin düşük konsantrasyonlarını belirlemek için analitik çözeltilerin konsantrasyonunun belirlenmesi gerektiğinde FAAS tekniği diğer çok elementli tekniklerden daha hızlı olabilmektedir fakat eser miktarda bulunan bazı önemli elementlerin miktarını belirlemek için yeterli hassasiyete sahip değildir, bu nedenle (Pb, Ni, Cr ve Cd) gibi elementleri belirlemek için indüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) gibi daha hassas bir teknik kullanılması tercih edilmektedir. (Yıldız, D., Kula, İ., Ay, 2008), (Kula, İ., Yıldız, D., Doğan, Y., Ay, 2008)

1.4.3. Elektrotermal Atomizasyon Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (ETA AAS):

Elektrotermal atomizasyon atomik absorpsiyon spektroskopisi (ETA AAS - genellikle grafit fırın olarak adlandırılmaktadır), farklı gıda örneklerinde farklı seviyelerde birçok besleyici ve toksik elementi belirlemek için de kullanılmaktadır. (Al-jaf, 2017) Elektrotermal atomlaştırıcılar (ETA), gaz halinde serbest metal atomları oluşturmak amacıyla elektrik ile ısıtılan cihazlardır. Çeşitli elektrotermal atomlaştırıcı türleri geliştirilmiştir; bunlar arasında grafit çubuklar, metal şeritler, metal bobinler ve grafit tüpler bulunmaktadır. Grafit tüp (fırın), etrafı kapatılarak yerleştirilmiş olup atmosferdeki oksijenden N₂, Ar gibi gaz akışı ile korunmaktadır. Fırın, AAS'nin ışın yoluna yerleştirilmektedir, bir ışık kaynağından gelen karakteristik ışık, kuartz pencereden geçip grafit tüpten geçmektedir, monokromatör tarafından ayrıştırılarak dedekte edilerek kaydedilmektedir. (Ege, 2005) Genellikle 10-50 µL arasındaki sıvı örnek, örnek verme oyuğundan soğuk tüpe ya da tüpdeki platforma verilmektedir. Tüp daha sonra programlanabilir güç kaynağı yardımı aracılığıyla ısıtılmaktadır. (Bruno Elias Dos Santos Costa, Nivia Maria Melo Coelho, Luciana Melo Coelho, 2015)

1.4.4. Hidrür Oluşturma Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (HG-AAS):

1969 yılında ilk olarak kullanılan hidrür oluşturma yöntemi, günümüzde As, Sb, Sn, Te, Se, Ge, Pb ve Bi gibi elementler için oldukça yaygın bir numune aktarma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, klasik hidrür oluşturan elementlerin dışında bazı elementlerin de asidik ortamda katı veya çözeltideki NaBH₄ ile reaksiyona girerek uçucu türler oluşturabileceğini gösteren çalışmalar bulunmuştur. (Kayaalp, 2012) Hidrit jenerasyon atomik absorpsiyon spektrometrisi (HG-AAS) daha çok, çeşitli gıda örneklerinde selenyum (Se) ve arsenik (As) konsantrasyonunu belirlemek için kullanılmaktadır. (C. Delgado-Andrade, M. Avarro, H. Lopez, 2003) Bu teknikte gıda örnekleri, organometalik bileşiklerin, özellikle de organoarsenik bileşiklerin oksitlenmesi için titizlikle sindirilmelidir ve örneklerin sindirimi genellikle H₂SO₄-HClO₄-HNO₃ kullanılarak gerçekleştirilir veya magnezyum oksit (MgO) ve

magnezyum nitrat ($Mg(NO_3)_2$) ile kuru kül haline getirilir ve hidroklorik (HCl) çözeltisi ile analitik çözeltiler hazırlanır ayrıca alternatif olarak numunenin sindirimi için sadece HNO_3 kullanılabilir, ancak arseniğin (As) doğru ölçümü için yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmelidir ve analitik çözeltiler, Se(VI)'dan Se(IV)'e Se ön indirilmesi ve As(V)'den As(III)'e As ön indirilmesi için, genellikle sodyum borohidrit ilavesiyle hidritlerini oluşturmadan önce NaI veya KI ile ısıtılmalıdır, daha sonra bu hidritler, atomik absorpsiyon için atomizasyonun gerçekleşmesi için ısıtılacağı grafit fırın veya kuvars tüpe taşınacaktır. HGAAS, gıda örneklerinde Se ve As konsantrasyonunu belirlemek için standart yöntemlerde kullanılır. (Kula ve ark., 2008)

HGAAS yöntemi, analiti elektrolitik veya kimyasal yöntemlerle uçucu türlere dönüştürmektedir, dönüşüm sonucunda oluşan uçucu türler, azot, argon gibi gazlar aracılığıyla atomlaştırıcıya taşınmaktadır ve bu yöntem, sadece basit ve ucuz olmasıyla kalmayıp, aynı zamanda konvansiyonel püskürtme yöntemine göre yüksek aktarma verimliliğine sahip olmasıyla da dikkat çekmektedir. Bunun sonucunda da yüksek duyarlılık sağlanmaktadır ayrıca, analitin matriksten seçici olarak ayrılması, atomlaştırma aşamasında matriks kaynaklı girişimlerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. HGAAS yönteminde genellikle dışarıdan ısıtılmalı kuvars T-tüp atomlaştırıcı kullanılmaktadır. Fakat Hg ve Cd elementlerinin tayini için atomlaştırıcının ısıtılmasına gerek yoktur; bu elementler oda sıcaklığında serbest halde bulunabildiğinden atomik sinyal oluşturabilmektedirler. (Kayaalp, 2012)

1.4.5. Soğuk Buhar Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (CV-AAS):

Farklı numunelerdeki cıva (Hg) miktarını belirlemek için birçok analitik teknik kullanılabilir, ancak farklı gıda numunelerindeki cıva (Hg) konsantrasyonunu belirlemek için hala ağırlıklı olarak kullanılan teknik soğuk buhar atomik absorpsiyon spektroskopisi (CV-AAS)'dir. Cıva buharı, sodyum borohidrit ($NaBH_4$) veya stannöz klorür ($SnCl_2$) kullanılarak analitik çözeltilerden oluşturulacak ve daha sonra atomik absorpsiyonunu ölçmek için bir hücreye taşınacaktır genellikle hücre oda sıcaklığında tutulur, ancak tekniğin güvenilirliği hücrenin ısıtılmasıyla artırılabilir. Sebze ve meyve

örneklerinde cıva (Hg) miktarını belirlemek için standart yöntemler mevcuttur. (Susan C. Hight ve ark., 2005)

1.4.6. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS):

İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) cihazı şu bölümlerden oluşmaktadır; Sisleştirici, ICP, Aktarıcı Koniler, İyon Lensleri, Kütle Analizörü ve Detektör. ICP-MS spektrofotometrelerinde örnekler cihaza katı veya sıvı olarak verilebilmektedir, sıvı numune peristaltik pompa yardımı aracılığıyla klasik veya ultrasonik sisleştiriciye gönderilmektedir ve aerosol haline dönüştürülmektedir. Oluşan aerosol taşıyıcı gaz (Ar) ile ICP'ye taşınarak atomlaştırılır/iyonlaştırılır. Periyodik tablodaki birçok elementin birinci iyonlaşma enerjisi argonun birinci iyonlaşma enerjisinden (15,76 eV) küçük olduğu için elementler plazmada (+1) yüklü iyonlar oluşturmaktadır, cihazın MS kısmında örnekleme ve sıyırıcı olmak üzere su soğutmalı aktarıcı koniler bulunmaktadır ve iyonlar bunlar tarafından atmosferik basınçtaki ICP'den yüksek vakum bölgesine çekilmektedir, iyon lens sistemiyle odaklanan iyonlar kütle analizörüne gönderilmektedir, burada m/z oranlarına göre ayrılmaktadır. Kuadropol kütle analizörü belirli bir zaman diliminde sadece belirli m/z oranına sahip iyonların geçişine izin verir ve bu iyonların sayısı elektron çoğaltıcı tüp detektörü yardımıyla sırası ile ölçülmektedir. (Zurnacı, 2015)

1980'lerin başında geliştirilmesinden bu yana, indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) eser elementlerin belirlenmesi için iyi bilinen birçok elementli analitik teknik haline gelmiştir ve bu teknik, geniş dinamik aralık ile çok düşük seviyelerde (eser ve ultra eser) birçok elementi tespit edebilmektedir tekniğin hassasiyeti, ICP-AES (indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi) ile karşılaştırıldığında iki ila üç büyüklük mertebesi kadar geliştirilmiştir fakat bununla birlikte, cihazın çalışması karmaşık ve daha maliyetlidir ve diğer moleküler türlerden spektral girişim mümkündür. İzobarik girişimlerin üstesinden gelmek için kullanılan bir kuadropol indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS), dinamik reaksiyon hücresi veya çarpışma ve reaksiyon hücreleri şu anda kullanılmaktadır ve çift odaklı manyetik sektörlü ICP-MS hala izobarik girişimin bastırılmasında nihai araçtır, ancak cihazın fiyatı diğer ICP-MS cihazlarından çok daha yüksektir. (Eleni C.

Mazarakioti, Anastasios Zatos, Anna-Akrivi Thomatou, Achilleas Kotogeorgos, Angelos Patakas ve Athasios Ladavos, 2022)

1.4.7. İndüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES):

Atomik absorpsiyon spektrometresi ile kıyaslandığında daha fazla çalışma aralığı, çoklu element tayini imkânı, termal bozunmaya karşı dirençli olan (refrakter) elementlerin tayininde çok daha duyarlı sonuç vermesi gibi özellikleriyle, metal tayinlerinde daha sık başvurulan teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. (Caner, 2015)

İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES), çeşitli numunelerdeki elementleri belirlemek amacıyla kullanılan en önemli tekniklerden biridir. Bu teknikte, ilk adım numune çözeltisinin bir nebülizör veya diğer numune giriş yöntemleri aracılığıyla radyofrekans (RF) ile indüklenmiş argon plazmasına enjekte edilmesidir. Numune sisleri plazmaya ulaştığında hızla kurutulur, daha sonra buharlaştırılır ve ardından yüksek sıcaklıkta çarpışmalarla enerjilendirilir. Plazmadan kaynaklanan atomik emisyonlar daha sonra gözlemlenir, bir ayna veya lens tarafından toplanarak monokromatörün giriş yarığına yönlendirilmektedir. Tek bir elementin ölçümleri, basit bir monokromatörün bir foto çoğaltıcı tüp (PMT) ile birleştirilmesiyle uygun maliyetli bir şekilde yapılabilir ve polikromatörün bir dizi dedektörle birleştirilmesiyle 70'ten fazla farklı element için aynı anda birden fazla elementin belirlenmesi sağlanmaktadır.

İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) tekniği genel olarak farklı gıda örneklerinin analizinde, özellikle majör ve minör element seviyeleri için kullanılabilir. Ayrıca bu tekniğin çoklu element özelliği, onu diyet çalışmaları için faydalı kılmaktadır. (Ngigi ve ark., 2019)

Eksenel olarak görüntülenen plazma ve iki boyutlu bir dedektör olarak yük transfer cihazı gibi cihazdaki bazı gelişmeler ICP-OES tekniğinin verimliliğini artırmakla birlikte ayrıca ICP-OES tekniğinin ETAAS ve FAAS gibi diğer atomik spektrometri tekniklerine göre diğer bazı avantajları, ICP-OES'in daha yüksek hassasiyet, daha düşük tespit limitleri, daha hızlı ölçümler ve daha geniş doğrusal dinamik aralıklar sağlamasıdır ve iyonizasyon ve spektral girişimlerin olmaması nedeniyle, ICP-OES ile

yapılan analizlerde kalibrasyon genellikle standart çözeltilerle gerçekleştirilir. Matriks etkilerini kontrol etmek için standart çözeltilere numunelerin parçalanması için kullanılan HNO_3 ile aynı miktarda eklenir ayrıca, analiz boyunca sinyal kararsızlıklarını kontrol etmek için numunelere ve standart çözeltilere dahili standart eklenebilir. (Skoog ve ark., 2007)



Şekil 1.1. İndüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES)

Ayrıca bu bölgede tuz partikülleri tek tek gaz fazı moleküllerine ayrıştırılacak (vaporizasyon) ve bunlar daha sonra tek atomlara parçalanacaktır (atomizasyon) sonrasında örnek aerosollerin desolvasyonu, buharlaştırılması ve atomizasyonu tamamlandıktan sonra, plazma discharge tarafından sadece uyarma ve iyonizasyon/uyarma kalmaktadır. (Kula ve ark., 2011) İyonizasyon ve uyarma işlemleri esas olarak başlangıç radyasyon bölgesinde (IRZ) ve normal analitik bölgede (NAZ) yapılacaktır daha sonra uyarılmış durumdaki atomik ve iyonik türler bir foton yayıp temel duruma geri dönmektedirler. Bu fotonların dalga boyları, emisyonun kaynağını oluşturan elementin tanımlanmasında kullanılabilir. Emisyonun kaynağı olan elementin numunedeki konsantrasyonu, yayılan fotonların miktarı ile doğru orantılıdır. ICP tarafından yayılan fotonlar, içbükey bir ayna ya da lens tarafından toplanmaktadır. Bu odaklama optiği, monokromatörün giriş yarığında

ICP'nin bir görüntüsünü oluşturur. Fotodedektör, dalga boyu seçiciden çıkan belirli dalga boylarını elektrik sinyallerine dönüştürür ve sinyal dedektör tarafından iyileştirilir ve işlenir, ardından bilgisayar tarafından görüntülenir ve daha sonra saklanmaktadır. (Kula ve ark., 2010)

1.4.7.1. İndüktif Eşleşmiş Plazma Karakteristikleri

Plazma, nötr gaz, katyon ve elektron içeren iletken olan gaz karışımı olarak tanımlanmaktadır. Plazma gazı olarak argon (Ar) kullanılmasından dolayı, indüktif eşleşmiş plazmada (ICP) Ar, iyonlaşmış Ar ve elektronlar bulunmaktadır. İndüktif eşleşmiş plazma, iç içe geçmiş üç kuvars borudan oluşan bir hamaç (torch) ile oluşturulmaktadır. Argon, en dış ve ara borudan helezonik bir şekilde geçerek borunun ucuna ve indüksiyon bobininin sardığı bölüme ulaşmaktadır. Genellikle bakırdan yapılmış ve su soğutmalı indüksiyon bobini, hamaça 27 ya da 40 MHz frekansında ve 0,5-1,5 kW arasında güç sağlamaktadır. Tesla bobini sistemi yardımı ile kıvılcım oluşturularak argon iyonlaştırılır ve bu şekilde plazma hazır olmaktadır. (Zurnacı, 2015) İndüktif olarak eşleşmiş plazmanın diğer farklı uyarım kaynaklarına göre en büyük avantajı, ICP kaynağının farklı numunelerdeki birçok elementi buharlaştırma, atomize etme, heyecanlandırma ve iyonize etme konusundaki verimliliği ve tekrarlanabilirliğidir bunun başlıca nedeni, ICP kaynağının çıkış bölgesindeki yaklaşık 7000-8000 K'lık yüksek sıcaklığıdır ve bu da yaklaşık (3300 K) olan fırınların ve alevlerin en yüksek sıcaklığından oldukça yüksektir. (Kula ve ark., 2008) Bu yüksek sıcaklık, ICP'nin refrakter elementleri uyarabilmesini ve matris girişimine daha az eğilimli olmasını sağlar ek olarak, ICP elektrotsuz bir kaynak olduğu için elektrot malzemelerinde bulunan safsızlıklardan kaynaklanan kontaminasyonlar mevcut olmayacaktır ve nispeten bir ICP düzeneği kurmak zor değildir ve LIP gibi diğer kaynaklara kıyasla daha ucuzdur. ICP kaynaklarının en avantajlı özelliklerinden bazıları aşağıda listelenmiştir: (Hamad, 2018)

- Yaklaşık 7000-8000 K arasında değişebilmekte olan daha yüksek miktarda sıcaklıklar
- 1014 ila 1016 cm³ arasında değişebilmekte olan yüksek elektron yoğunluğu
- Çeşitli elementler bakımından önemli seviyede iyonlaşma derecesi

- Eşzamanlı multielement kapasitesi (S ve P dahil olmak üzere 70'ten fazla element)
- Diğer kaynaklara nazaran daha düşük seviyelerde arka plan emisyonları ve daha düşük oranda kimyasal girişim mümkündür.
- Yüksek stabilitesi sayesinde daha yüksek hassasiyet ve doğruluk imkânı sağlar.
- Elementleri çoğu için çok daha düşük tespit limiti (0,1-100 ng/mL)
- Daha geniş miktarda doğrusal dinamik aralık (LDR)
- Refrakter elementlerin belirlenmesi için uygundur.
- Uygun maliyette analiz sağlar.

1.4.7.2. Enstrümantasyon:

ICP-OES'de numuneler sıvı akışı ile cihaza enjekte edilir daha sonra, numune çözeltisi nebulizasyon işlemi yardımıyla bir aerosole dönüştürülmektedir ve aerosol numune plazmaya taşınır ve burada çözünme, buharlaşma, atomizasyon ve numune çözeltisinin uyarılması ve/veya iyonizasyonu plazma tarafından gerçekleştirilir. Daha sonra uyarılan atomlar ve iyonlar, optik cihazlar tarafından toplanan spesifik radyasyonlarını yayacak ve radyasyon monokromatör aracılığıyla ayrı dalga boyuna izole edilecektir sonrasında ise dedektör radyasyonu algılar, elektrik sinyallerine dönüştürmektedir, ardından bilgisayar aracılığıyla konsantrasyon hakkında bilgiye dönüştürülebilmektedir. (Skoog ve ark., 2007)

1.4.7.3. Örnek Giriş

Sıvılar plazma emisyonu ile analiz edilen en yaygın formdur ve bunlar genellikle atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) için kullanılan benzer bir nebulizatör ve püskürtme odası kombinasyonu ile verilir bir aerosol oluşturulur ve enjektör tüpü aracılığıyla nebulizör gaz akışı ile plazmaya verilir. (Skoog ve ark., 2007) Numune çözeltisi, bir peristaltik pompa aracılığıyla sisleştiriciye iletilir ve ardından argon ile çarpıştırılarak aerosol oluşturulur. Küçük çaplı damlacıklar, taşıyıcı argon ile en içteki ince borudan hamlaça ulaşır; burada atomlaşma/iyonlaşma gerçekleşir. Plazmaya sıvı ve katı numuneleri göndermek için başka bir yöntem ise elektro termal buharlaştırmadır; buhar plazma hamlaça bir argon akışı aracılığıyla taşınmaktadır.

Gözlenen sinyal, elektro termal atomik absorpsiyonda elde edilen piklere benzer geçişli pik olmaktadır. Bir plazma hamaç ile eşleştirilmiş elektro termal buharlaştırmada çok az miktarda numune ile çalışılabilir ve geniş, doğrusal bir çalışma aralığında düşük gözlenebilme sınırlarına ulaşılabilir. Ayrıca, girişimler önlenabilir ve ICP ile çoklu element tayini mümkün olabilir. (Zurnacı, 2015)

1.4.7.4. Nebulizatör

Sıvı numuneleri numune aerosolüne dönüştüren ve daha sonra plazmaya taşınan cihaza nebulizatör denir. ICP-OES'deki en kritik işlemlerden biri nebulizasyon işlemidir. Ticari cihazlar ICP ile sadece iki tip nebulizatör kullanır: (i) pnömatik nebulizatör ve (ii) ultrasonik nebulizatör. (Skoog ve ark., 2007)

1.4.7.5. Dedektörler

Plazmada oluşan atom ve iyonların emisyonu, farklı şekillerde ölçülebilir; ICP-OES cihazları, sıralı ölçüm yapanlar (sequential) ve aynı anda ölçüm yapanlar (simultaneous) olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Sıralı cihazlarda, monokromatörle birlikte sadece bir dedektör (fotoçoğaltıcı tüp) bulunur. Seçilen dalga boyundaki ışık, dedektöre gönderilir ve ışının şiddeti ölçülür; bu işlem, her bir element veya her bir dalga boyu için tekrarlanır. Simultane cihazlarda ise tüm ışın emisyonları aynı anda ölçülür. Bir tip cihazda, çok sayıda fotoçoğaltıcı dedektör, önceden belirlenmiş dalga boylarında ölçüm yapmak için sabit slitlerin arkasına monte edilir ve diğer avantajları ise analizlerde iç standart kalibrasyonu yapılmasına olanak tanınmasıdır. (Zurnacı, 2015) Spektrometre ile uygun emisyon çizgisinin izolasyonundan sonra, emisyon çizgilerinin yoğunlukları dedektör ile elektronikleri aracılığıyla ölçülmektedir ve daha sık kullanılmakta olan dedektörler şunlardır: (Skoog ve ark., 2007)

- Foto çoğaltıcı tüp
- Dizi dedektörler
- Fotodiyot dizisi Şarjenjeksiyon cihazları (CID)
- Şarj-bağlantılı cihazlar (CCD)

1.4.7.6. Örnek Hazırlama:

Kimyasal elementlerin, özellikle de yüksek toksisiteye sahip olanların tespiti ve miktarının belirlenmesi, kimyasal analizin önemli yönlerindedir. Element konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik geleneksel yöntemler arasında gravimetrik, volumetrik, kolorimetrik ve spektroskopik yöntemler yer almaktadır. Bunlar arasında, endüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometrisi (ICPMS) ve endüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) gibi endüktif olarak eşleşmiş plazma (ICP) yöntemleri, olağanüstü doğruluk, hassasiyet ve düşük tespit limitleri ile bilinmektedir. ICP-OES, birden fazla elementi aynı anda ölçebilme özelliği nedeniyle element analizi amacıyla tercih edilmekte olunan bir yöntem olmuştur. Bu teknik, karakteristik elektromanyetik radyasyon yayan uyarılmış atomlar ve iyonlar üretmek için indüktif olarak eşleşmiş plazma kullanır. Herhangi bir ICP cihazının temel bileşeni olan plazma, yüksek sıcaklıklarda ve düşük basınçlarda serbest elektronlar ve katyonlar içeren iyonize bir gazdır ve genellikle serbest çalışan bir radyo frekansı (RF) jeneratörü tarafından çalıştırılır. Plazma, maddenin birincil hallerinden biri olarak kabul edilmektedir. İndüksiyon plazması veya "indüktif olarak bağlı plazma", belirli basınç ve sıcaklık koşulları altında akan bir gazın plazma kaynağı olarak kullanılmasını ifade eder.

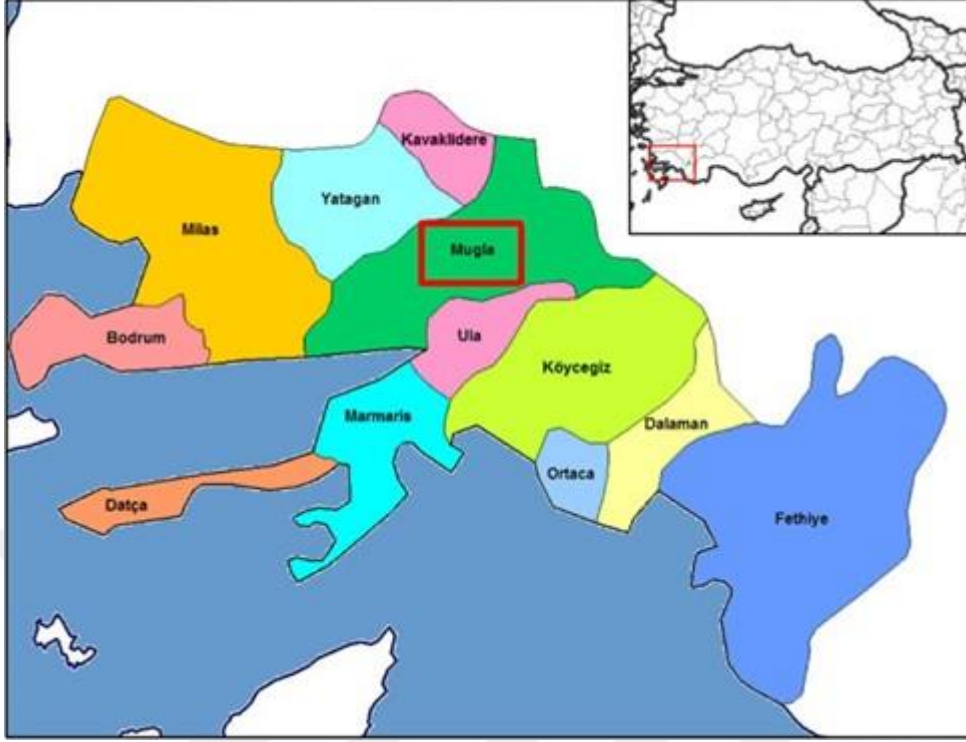
Birçok durumda, numuneyi numune giriş sistemi için uygun bir forma dönüştürmek için numune hazırlama gereklidir. ICP-OES'te kullanılan numune giriş sistemlerinin çoğu sıvı çözeltiler için tasarlanmıştır. Numune hazırlama genellikle kurutma, öğütme, eleme, çözündürme, filtreleme ve bazen ön konsantrasyon teknikleri dahil olmak üzere çeşitli adımları kapsar. Bu işlemler, analiz için ICP-OES sistemine etkili bir şekilde sokulabilecek homojen ve temsili bir numune elde edilmesine yardımcı olur. Katı numuneler, analiz edilen numunenin değişen su içeriği yüzdelерinden etkilenmemesini sağlamak için tipik olarak kurutulur. Kurutma gerekliyse, buharlaşmadan kaynaklanan analit kayıplarını azaltmak için genellikle 105 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, tüm numuneler için tutarlı bir süre boyunca gerçekleştirilmelidir. Numuneleri çözmek için yaygın yaklaşım asit sindirimini içerir; burada numune metal çözünürleştirmeyi kolaylaştırmak için asit(ler) varlığında ısıtılır. Isı uygulaması, oksitleyici maddelerin eklenmesiyle birlikte numune matrisinin parçalanmasına yardımcı olur. Ortaya çıkan nitrat tuzları suda yüksek oranda çözünür olduğundan, nitrik asit oksitleyici özellikleri

ve çözünmeyen tuzların oluşumunu en aza indirme kabiliyeti nedeniyle genellikle tercih edilen asittir. Analit(ler)in sinyalinin cihazın tespit limitinin altına düştüğü durumlarda, ön konsantrasyon gerekli hale gelir. Bu durum özellikle As gibi bazı eser elementler için su numunelerinin analizinde geçerlidir. Ön konsantrasyon için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Örnek olarak numune çözeltisinin bir kısmının veya tamamının buharlaştırılması ve ardından elde edilen kalıntının asidik bir çözeltide sindirilmesi verilebilir. Sindirimi takiben çözünmemiş materyaller mevcut olduğunda, hortumun tıkanmasını önlemek ve cihaza tutarlı numune akışı sağlamak için filtreleme gerekli olabilir. Bu bağlamda, gerçek anlamda çözünmüş olan fraksiyonu doğru bir şekilde ayırt etmek için çeşitli filtre boyutlarının (0,45, 0,22 veya 0,1 µm) seçilmesinin öneminin altını çizmek zorunludur. Yaygın olarak kullanılan bir filtreleme metodolojisi, 0,45 µm cam veya polipropilen filtre kullanımını kapsar. Polipropilen filtreler, metalleri adsorbe etmedikleri veya eklemedikleri için cam elyaf filtrelerle göre tercih edilir ve numune bütünlüğünü korumada avantaj sağlar.

1.4.7.7 Çalışma Alanı

Çalışma Yatağan Termik Santrali ve çevresini içermektedir. Muğla iline bağlı Yatağan ilçesinin yakınlarında bulunan termik santral, Yatağan havzasından çıkarılmakta olan ve düşük olan kalitedeki linyitleri değerlendirmek için kurulmuştur. Çalışma alanı aşağıda Şekil 1.2’de verilmiştir. (Kula ve ark., 2011)

Şekil 1.2 Çalışma alanı



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Numunelerin Analize Hazırlanması

Muğla Ula ve Yatağan bölgelerinin yerel pazarlarından yaz ve kış aylarına ait sebze numuneleri temin edildi. Temin edildikten sonra laboratuvar ortamında açık havada 24 saat oda sıcaklığında süresince kurutuldu.



Şekil 2.1. Yaz döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan önceki görüntüsü



Şekil 2.2. Yaz döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü



Şekil 2.3. Kış döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan önceki görüntüsü



Şekil 2.4. Kış döneminde toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü



Şekil 2.5. Kış döneminde Yatağan yerel halk pazarından toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü



Şekil 2.6. Kış döneminde Ula halk pazarından toplanan sebzelerin kurutulmadan sonraki görüntüsü

Kurutulduktan sonra blenderden geçirildi. Numuneler homojen hale getirildi. Homojen hale getirilen numunelerden 0,5g hassas terazi ile tartıldı.



Şekil 2.7. Numunelerin tartılması

Tartılan numuneler mikro dalga yakma ünitesinin (CEM MARS 6) teflon kaplarına alındı. Her birinin üzerine 10 ml derişik nitrik asit ilave edildi.



Şekil 2.8. Numunelerin mikrodalga yakma ünitesine konulmadan önce hazırlanması

Teflon kapların kapakları kapatılarak mikro dalga yakma ünitesine yerleştirildi. Yerleştirildikten sonra FOOD programı ile gıda örnekleri çözündürüldü.



Şekil 2.9. Mikro Dalga Yakma Ünitesi (CEM MARS 6)

Mikro dalga yakma ünitesinin çözündürme prosedürü aşağıdaki gibidir: 20 dakika içinde 210°C sıcaklığa yükseltilmiş ve 15 dakika boyunca bu sıcaklıkta tutulmuştur.

Numuneler çözündürüldükten ve soğuduktan sonra süzgeç kağıdından süzüldü ve ultra saf su ile son hacimleri 50 ml'ye tamamlandı. Daha sonra her bir numune polietilen kaplara aktarıldı ve analiz gününe kadar +4°C'deki buz dolabında muhafaza edildi.



Şekil 2.10. Analiz için hazırlanan ve polietilen kaplara konulan numunelerin görüntüsü

2.2 Çalışma Koşulları

ICP-OES çalışma koşulları aşağıda Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 ICP-OES çalışma koşulları

Dalga boyları	Cd: 228.802 Hg: 253.652 Pb: 220.353
Plazma pozisyonu	Axial
Frekans	27.12 MHz
Güç	1.1 kW
Soğutucu gaz	Ar, 14.01 L min ⁻¹
Auxiliary gaz	Ar, 0.5 L min ⁻¹
Nebulizer gaz	Ar, 1.0 L min ⁻¹
Basınç	2.4 bar
Örnek akış hızı	1.0 µL min ⁻¹

Deneysel verilerin değerlerinin karşılaştırılması aşağıda Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Deneysel ve sertifikalı değerlerin NIST-SRM 1547 Peach Leaves; karşılaştırılmaları

Elementler	Sertifikalı Değer (N=5, mg/kg)	Deneysel Değer (N=5, mg/kg)
Hg	0.031	0.029±0.070
Cd	0.21	0.22±0.10
Pb	0.87	0.86±0.22

Yöntemin analitik parametreleri aşağıda Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Yöntemin analitik parametreleri

Pb için;	
Gözlenebilme sınırı (L.O.D., 3s)	0,33 ppm
Tayin sınırı (L.O.Q., 10s)	1,00 ppm
Doğrusal aralık (L.O.L)	1,00-100 ppm
Cd için;	
Gözlenebilme sınırı (L.O.D., 3s)	0,15 ppm
Tayin sınırı (L.O.Q., 10s)	0,49 ppm
Doğrusal aralık (L.O.L)	0,15-15 ppm
Hg için;	
Gözlenebilme sınırı (L.O.D., 3s)	0,033 ppm
Tayin sınırı (L.O.Q., 10s)	0,11 ppm
Doğrusal aralık (L.O.L)	0,11-11 ppm

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yaz ve kış aylarında ula ve yatağan bölgelerinden toplanan gıda numuneleri için ICP-OES’de ölçülen konsantrasyonlar aşağıda çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yaz döneminde Ula bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları

Besin	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Hg (mg/L)
Patlıcan	2,92±0,10 mg/L	0,51±0,01 mg/L	0,55±0,04 mg/L

Yeşil Biber	4,61±0,14 mg/L	0,90±0,08 mg/L	0,34±0,01 mg/L
Çilek	5,20±0,12 mg/L	0,91±0,10 mg/L	0,34±0,01 mg/L
Börülce	2,90±0,11 mg/L	0,69±0,07 mg/L	0,42±0,02 mg/L
Bamya	5,73±0,18 mg/L	1,13±0,10 mg/L	0,38±0,02 mg/L
Dolmalık Biber	4,36±0,14 mg/L	0,83±0,05 mg/L	0,34±0,03 mg/L
Armut	2,75±0,12 mg/L	0,65±0,05 mg/L	0,43±0,01 mg/L
Salatalık	6,12±0,19 mg/L	1,28±0,09 mg/L	0,38±0,03 mg/L
Kabak	4,41±0,14 mg/L	0,84±0,02 mg/L	0,42±0,02 mg/L
Semiz	5,11±0,22 mg/L	1,01±0,03 mg/L	0,39±0,02 mg/L
Domates	6,48±0,27 mg/L	1,15±0,03 mg/L	0,35±0,03 mg/L

Yaz döneminde Yatağan bölgesi ve çevresinden toplanan gıda numuneleri için ICP-OES’de ölçülen konsantrasyonlar aşağıda çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yaz döneminde Yatağan bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları

Besin	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Hg (mg/L)
Patlıcan	4,13±0,14 mg/L	0,56±0,04 mg/L	0,82±0,05 mg/L
Yeşil Biber	5,53±0,12 mg/L	0,97±0,05 mg/L	0,42±0,01 mg/L
Çilek	3,68±0,10 mg/L	0,63±0,03 mg/L	0,47±0,01 mg/L
Börülce	3,35±0,11 mg/L	0,60±0,01 mg/L	0,44±0,02 mg/L
Bamya	2,66±0,09 mg/L	0,54±0,02 mg/L	0,40±0,01 mg/L
Dolmalık Biber	2,91±0,10 mg/L	0,54±0,02 mg/L	0,45±0,02 mg/L
Armut	2,73±0,11 mg/L	0,52±0,01 mg/L	0,43±0,03 mg/L
Salatalık	3,23±0,08 mg/L	0,68±0,03 mg/L	0,43±0,01 mg/L
Kabak	3,22±0,10 mg/L	0,63±0,02 mg/L	0,38±0,01 mg/L
Semiz	3,02±0,14 mg/L	0,65±0,03 mg/L	0,48±0,03 mg/L
Domates	3,24±0,11 mg/L	0,68±0,04 mg/L	0,47±0,03 mg/L

Kış döneminde Ula bölgesi ve çevresinden toplanan gıda numuneleri için ICP-OES’de ölçülen konsantrasyonlar aşağıda çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kış döneminde Ula bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları

Besin	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Hg (mg/L)
Isırgan	9,95±0,22 mg/L	1,51±0,08 mg/L	0,42±0,03 mg/L
Pırasa	6,21±0,16	1,16±0,04	0,15±0,01
Brokoli	4,88±0,14	1,10±0,04	0,18±0,01
Lahana	4,71±0,14	1,06±0,09	0,19±0,02
Havuç	5,26±0,16	1,08±0,05	0,13±0,04
Kırmızı Turp	6,02±0,18	1,22±0,10	0,08±0,01
Beyaz Turp	6,19±0,10	1,47±0,12	0,04±0,01
Maydanoz	7,21±0,16	0,98±0,08	0,66±0,06
Roka	8,41±0,14	1,00±0,05	0,32±0,02
Dereotu	9,95±0,20	1,17±0,09	0,13±0,01
Ispanak	6,32±0,19	1,04±0,05	0,09±0,01

Kış döneminde Yatağan bölgesi ve çevresinden toplanan gıda numuneleri için ICP-OES’de ölçülen konsantrasyonlar aşağıda çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kış döneminde Yatağan bölgesinden temin edilen gıda numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları

Besin	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Hg (mg/L)
Isırgan	6,88±0,18	1,11±0,05	0,33±0,01
Pırasa	5,34±0,14	1,23±0,06	0,23±0,01
Brokoli	5,56±0,15	1,22±0,06	0,20±0,02
Lahana	6,13±0,11	1,22±0,08	0,18±0,01
Havuç	6,50±0,22	1,02±0,01	0,16±0,03
Kırmızı Turp	5,55±0,14	1,17±0,03	0,16±0,01
Beyaz Turp	5,06±0,18	1,14±0,01	0,09±0,01

Maydanoz	6,81±0,10	1,09±0,03	0,16±0,02
Roka	6,33±0,19	1,75±0,10	0,12±0,03
Dereotu	5,60±0,14	1,05±0,09	0,12±0,02
Ispanak	6,20±0,24	1,88±0,20	0,02±0,01



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada termik santral çevresinde yetişen ve bölge halkı tarafından sıklıkla tüketilen bazı sebze ve meyvelerdeki kadmiyum (Cd), cıva (Hg) ve kurşun (Pb) konsantrasyonları ICP-OES tekniği kullanılarak belirlendi. İlk önce sebze ve meyve numuneleri temin edildi. Numuneler, Yatağan termik santrali ve yakın çevresinde yetişen ve Ula beldesinde yetişen olmak üzere iki farklı bölgeden temin edilmiş olup; sebze ve meyveler yaz ve kış dönemi olmak üzere iki farklı dönemlerde temin edildi. NIST-SRM 1547 Peach Leaves kullanılarak metodun doğruluğu ve kesinliği değerlendirilmiştir. Ayrıca bu 22 besinden elde edilen sonuçlar bölgesel ve dönemsel olarak birbiri içerisinde değerlendirildi. Ağır metal analizlerinde kullanılan indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) yöntemi diğer yöntemlere kıyaslandığında daha hızlı, doğru, kesin ve duyarlı bir yöntem olduğu için alınan besin numunelerinin kadmiyum (Cd), cıva (Hg) ve kurşun (Pb) konsantrasyonları bu teknik aracılığıyla belirlenmiştir.

Çalışılan besinlerin Cd, Hg ve Pb değerleri literatürlerle ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen standart olan değerler ile karşılaştırılarak insan sağlığı açısından değerlendirildi. Çalışılan bu besinlerin Cd, Hg ve Pb değerleri WHO tarafından belirlenen standart sınır değerlerin altında olarak belirlenmiştir ve bu besinlerin tüketilmelerinin uygun oldukları belirlenmiştir. Ancak her bir besin için belirlenen ağır metal konsantrasyonları WHO tarafından belirlenen standart değerlerin altında olmuş olmasına rağmen, bu besinlerin diyetle çok yüksek miktarlarda alımlarında toplam toksisite sınır değerlerini aşarak insan sağlığını tehdit edebilecek düzeylere ulaşabileceğinin unutulmaması önerilmiştir.

Bu çalışmada Yatağan Termik Santrali ve çevresinde yetiştirilmiş besin örnekleri toplanarak örneklerde biriken ağır metallerin konsantrasyon değerleri incelenerek, Yatağan bölgesi ve çevresine ait hava kirliliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Yatağan Termik Santrali, etrafı tepe ve dağlarla çevrili küçük bir ovada kurulmuştur. Bu konum, 120 metre yükseklikteki santral bacalarından salınmakta olunan

emisyolların rüzgar etkisi aracılığıyla çevreye yayılmalarına neden olmaktadır. Bu durum, tarım alanları ve ormanlık bölgelerde birçok soruna yol açabilmektedir. (Haktanır ve ark., 2010) Termik santrallerde yüksek sıcaklıklarda yakılan linyit kömürünün içeriğindeki ağır metaller, külde yoğunlaşır. Tam yanmamış organik maddelerle birlikte ağır küller, ocak tabanına düşerek dip külü oluşturmaktadır, hafif küller ise sıcak gazlarla birlikte bacaya taşınarak uçucu külü meydana getirmektedir. Bu uçucu küller, baca gazı desülfürizasyon sistemi ile büyük ölçüde tutulmaktadır.

Ancak, Yatağan Termik Santrali'nde baca gazı desülfürizasyon sistemi 2001 yılında devreye girmiş olmasına rağmen, bu sistem bazen devre dışı kalabilmektedir ve bazı dönemlerde santral, baca gazı desülfürizasyon sistemi devrede olmadan çalışmak zorunda kalmaktadır. Böylece yanma sonucu kömürün yapısında bulunan ağır metaller de açığa çıkabilmektedir.

İnsan sağlığı bakımından incelendiğinde durum daha önemli olmaktadır çünkü analizi yapılan bu ağır metaller insan sağlığı bakımından en tehlikeli olan ağır metallere aittir. Kurşun ve cıva elementlerinin insan vücudu üzerinde metabolik rolleri bulunmadığından, alındığı tüm dozlarda insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Amerikan İlaç ve Gıda Örgütü (FDA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından günlük maksimum cıva alım limiti 0,3 mg/hafta veya 0,03 mg/gün olarak belirlenmiştir. Cıva vücuttan atılabilen elementlerden biri olmasına rağmen özellikle karaciğerde birikerek kronik toksisite oluşturabilmektedir.

Kurşun ve insan sağlığı üzerindeki etkileri bakımından literatürde oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Kurşun esasen insan sağlığını tehdit edebilen ve vücut için esansiyel olmayan bir element olarak kabul edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından son yıllarda önerilen normal kan kurşun seviyesi sıfır olarak belirlenmiştir ve insan sağlığı açısından vücutta hiçbir yolla birikmemesi gerekmektedir. Kurşun zehirlenmesi, çocuklarda mental bozukluklar başta olmak üzere hematolojik, endokrin ve renal sistem bozukluklarına yol açabilmekte olup ayrıca, hamile kadınlar üzerinde yapılan araştırmalarda ise, kurşunun plasentadan fetüse geçebildiğini göstermektedir. Ülkemizde kurşunla ilgili yapılmış çalışmalar ve elde edilen sonuçlar arasında en yüksek seviyeyi temsil eden çalışma Yatağan ve çevresinde 0,6-6 yaş arası 236 çocuk üzerinde yapılan çalışma olmakla birlikte çalışmanın sonucunda çocukların kanlarındaki ortalama kurşun düzeyi 36,2 µg/dL olarak oldukça yüksek bir değer bulunmuştur. (Tekin, 2019)

Bu çalışmada elde ettiğimiz verilere bakacak olursak Yatağan ve Ula bölgelerinden toplanan sebze ve meyvelerin cıva (Hg), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonları arasında yüksek bir fark bulunmadığı gözlemlenmiştir. Yaz döneminde Yatağan bölgesi ve çevresinde yetişen sebze ve meyveler arasında en yüksek cıva konsantrasyonuna sahip olan besin 0,82 ppb düzeyi ile patlıcan iken en düşük cıva konsantrasyonuna sahip besin 0,38 ppb düzeyi ile kabak olarak görülmüştür. Yatağan ve çevresinden yaz döneminde toplanan sebze ve meyveler kurşun bakımından incelendiğinde en yüksek kurşun konsantrasyonuna sahip olan besin 5,53 ppb düzeyi ile yeşil biber, en düşük kurşun konsantrasyonuna sahip olan besin ise 2,66 ppb düzeyi ile bamya olarak belirlenmiştir. Yaz döneminde Yatağan ve çevresinden toplanan sebze ve meyveler kadmiyum bakımından incelendiğinde ise en yüksek kadmiyum konsantrasyonuna sahip olan besin 0,97 ppb düzeyi ile yeşil biber olarak bulunur iken en düşük kadmiyum konsantrasyonuna sahip olan besin 0,52 ppb düzeyi ile armut olarak bulunmuştur. Yaz döneminde Ula bölgesi ve çevresinde yetişen sebze ve meyvelerin konsantrasyonlarını değerlendirecek olursak da cıva bakımından en yüksek konsantrasyona 0,55 ppb düzeyi ile patlıcan sahiptir. Ula bölgesi ve çevresinde yaz döneminde yetişen sebze ve meyveler kurşun açısından incelendiğinde en yüksek kurşun konsantrasyonuna 6,48 ppb düzeyi ile domates sahip olmak üzere en düşük kurşun konsantrasyonuna ise 2,75 ppb düzeyi ile armut sahiptir. Yaz döneminde Ula bölgesi ve çevresinde yetişen sebze ve meyveler kadmiyum bakımından değerlendirildiğinde ise en yüksek kadmiyum konsantrasyonuna sahip olan besin 1,28 ppb düzeyi ile salatalık, en düşük kadmiyum konsantrasyonuna sahip besin ise 0,51 ppb düzeyi ile patlıcan şeklinde sıralanmaktadır.

Kış döneminde Yatağan bölgesinde ve çevresinde yetişen sebze ve meyveler kurşun açısından incelenecek olursa en yüksek kurşun konsantrasyona sahip olan besin 6,88 ppb düzeyi ile ısırgan olarak görülürken en düşük kurşun konsantrasyonuna sahip besin ise 5,06 ppb düzeyi ile beyaz turp olarak görülmektedir. Yatağan bölgesinde ve çevresinde kış döneminde yetişen sebze ve meyveleri kadmiyum açısından değerlendirildiğinde sırasıyla en yüksek kadmiyum konsantrasyona sahip besin 1,88 ppb düzeyi ile ıspanak olarak belirlenirken en düşük kadmiyum düzeyine sahip olan besin ise 1,02 ppb düzeyi ile havuç olarak belirlenmiştir. Kış döneminde Yatağan bölgesinde ve çevresinde yetişen sebze ve meyveler cıva bakımından incelendiğinde

ise en yüksek cıva konsantrasyonuna sahip olan besin 0,33 ppb düzeyi ile ısırgan olarak görülürken en düşük cıva konsantrasyonuna sahip olan besin 0,02 ppb düzeyi ile ıspanak olarak bulunmuştur.

Kış döneminde Ula bölgesi ve çevresinde yetişen sebze ve meyveler kurşun açısından değerlendirilecek olursa sırasıyla en yüksek kurşun konsantrasyonuna sahip olan besin 9,95 ppb düzeyi ile dereotu iken en düşük kurşun konsantrasyonuna sahip besin 4,71 ppb düzeyi ile lahana olarak belirlenmiştir. Ula bölgesinde ve çevresinde kış döneminde yetişen sebze ve meyveler kadmiyum bakımından incelendiğinde en yüksek kadmiyum konsantrasyonuna sahip olan besin 1,51 ppb düzeyi ile ısırgan olarak görülürken en düşük kadmiyum konsantrasyonuna sahip olan besin ise 0,98 ppb düzeyi ile maydanoz olarak görülmüştür. Kış döneminde Ula bölgesi ve çevresinde yetişen sebze ve meyveler cıva konsantrasyonları açısından değerlendirildiğinde en yüksek cıva konsantrasyonuna sahip besin 0,66 ppb düzeyi ile maydanoz olmakla beraber en düşük cıva konsantrasyonuna sahip olan besin 0,04 ppb düzeyi ile beyaz turp olarak belirlenmiştir. Kış döneminde Ula ve Yatağan bölgeleri ve çevresinden alınan sebze ve meyve örnekleri arasında kurşun, kadmiyum ve cıva konsantrasyonları açısından yüksek oranda bir farklılık görülmemiştir.

Çalışmamızda yaz ve kış döneminde iki ayrı bölgede ve çevresinde yetişen sebze ve meyve örneklerini toplayarak örneklerin kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve cıva (Hg) konsantrasyonları bakımından inceleyerek Muğla Yatağan Termik Santrali etrafındaki hava yoluyla besin kirliliği incelenmiş fakat çok yüksek oranda bir farklılık belirlenememiştir. Çalışmamızda incelenen sebze ve meyvelerin kadmiyum (Cd), cıva (Hg) ve kurşun (Pb) değerlerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen standart değerlerin altında olduğu ve incelenen bu sebze ve meyvelerin tüketilmeye uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak her bir besin için bulunan ağır metal konsantrasyonları WHO tarafından belirlenen sınır değerlerin altında olmasına rağmen, bu sebze ve meyvelerin çok fazla tüketilmesi durumunda toplamda toksisite sınırını geçerek sağlığı tehdit edici dozlara ulaşabileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Atasoy Muhammet, Yıldız Dilek, Kula İbrahim, Vaizoğullar Ali İmran, 2023. Determination and speciation of methyl mercury and total mercury in fish tissue samples by gold-coated W-coil atom trap cold vapor atomic absorption spectrometry. Food Chemistry
- Atasoy Muhammet, Kula İbrahim, 2022. Speciation and determination of inorganic selenium species in certain fish and food samples by gold-coated W-coil atom trap hydride generation atomic absorption spectrometry. Elsevier BV
- Al-jaf, S.H.M. (2017) Comparison of metal content of coffee samples grown in different countries by icp-oes, Yüksek Lisans Tezi, Fırat University, Elazığ, 81s
- Anastasiah N. Ngigi, Brian M. Muraguri, 2019, ICP-OES determination of essential and non-essential elements in *Moringa oleifera*, *Salvia hispanica* and *Linum usitatissimum*, Scientific African, 6 (1-6),
- Ara, A., ve Usmani, J. A. (2015). Lead toxicity: a review. Interdisciplinary toxicology, 8(2), 55-64.
- Biçer, Ü. N. S. (2018). Karamanda üretilen bazı pekmez çeşitlerinde ağır metal içeriklerinin icp-oes ve aas metodlarıyla belirlenmesi (Master's thesis, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi).
- Bruno Elias Dos Santos Costa , Nívia Maria Melo Coelho , Luciana Melo Coelho., 2015, Determination of arsenic species in rice samples using CPE and ETAAS ,Food Chem , 1(178) , 89-95.
- Caner, C. (2015). Bazı metal iyonlarının bulutlanma noktası ekstraksiyonu ile zenginleştirilerek USN-ICP-OES cihazı ile tayini.
- C Delgado-Andrade , M Navarro, H López, M C López, (2003). Determination of total arsenic levels by hydride generation atomic absorption spectrometry in foods from south-east Spain: estimation of daily dietary intake, Food Additives and Contaminants, 20(10), 923–932.
- Ege, A. (2005). Deniz suyu ve mineral sulardaki bazı eser elementlerinin Al (OH) 3 ile birlikte çöktürülerek ayrılması ve faas ile tayini (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Eleni C. Mazarakioti, Anastasios Zotos, Anna-Akrivi Thomatou, Achilleas Kontogeorgos, Angelos Patakas, 1 and Athanasios Ladavos , 2022, Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS), a Useful Tool in Authenticity of Agricultural Products' and Foods' Origin, Foods. 11(22), 3705-3711
- Fernandez-Luqueno, F., Lopez-Valdez, F., Gamero-Melo, P., Luna-Suarez, S., Aguilera-Gonzalez, E. N., Martínez, A. I., ... ve Pérez-Velázquez, I. R. (2013).

- Heavy metal pollution in drinking water-a global risk for human health: A review. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(7), 567-584.
- Ferreira, S. L., Lemos, V. A., Silva, L. O., Queiroz, A. F., Souza, A. S., da Silva, E. G., ... ve das Virgens, C. F. (2015). Analytical strategies of sample preparation for the determination of mercury in food matrices—A review. *Microchemical Journal*, 121, 227-236.
- Haktanır, K., Ok, S. S., Karaca, A., Arcak, S., Çimen, F., Topçuoğlu, B., ... ve Yıldız, H. (2010). Muğla-Yatağan termik santrali emisyonlarının etkisinde kalan tarım ve orman topraklarının kirlilik veri tabanının oluşturulması ve emisyonların vejetasyona etkilerinin araştırılması. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(1), 13-30.
- Hamad, D.D. (2018) Elemental analysis for crude oil & oilfield area “soil” using icp-oes technique, Yüksek Lisans Tezi, Fırat University, Elazığ, 71s
- Hsieh, H. F., Chang, W. S., Hsieh, Y. K., ve Wang, C. F. (2009). Lead determination in whole blood by laser ablation coupled with inductively coupled plasma mass spectrometry, *Talanta*, 79(2):183-188.
- Karaca, A. (2001). AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRALI EMİSYONLARININ ÇEVRE TOPRAKLARININ FİZİKSEL, KİMYASAL VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 95-102.
- Karaca, A., Türkmen, C., Arcak, S., Haktanır, K., Topçuoğlu, B., & Yıldız, H. (2009). Çayırhan termik santrali emisyonlarının yöre topraklarının bazı ağır metal ve kükürt kapsamlarına etkilerinin belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(1).
- Kayaalp, Y. (2012). Saroz Körfezi bazı balık türlerinde selenyumun hidrür oluşturmali atomik absorpsiyon ve grafit fırın atomik absorpsiyon spektrometre ile tayini (Master's thesis, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kula, I., Solak, M. H., Uğurlu, M., Işıloğlu, M., & Arslan, Y. (2011). Determination of mercury, cadmium, lead, zinc, selenium and iron by ICP-OES in mushroom samples from around thermal power plant in Muğla, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87, 276-281.
- Kula, İ., Yıldız, D., Doğan, Y., Ay, G., Başlar, S., 2010. Trace element contents in plant growing at Mt. Akdag, Denizli. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*
- Kula, İ., Arslan, Y., Bakırdere, S., Ataman, O.Y., 2008. A novel analytical system involving hydride generation and gold-coated W-coil trapping atomic absorption spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*
- Mahurpawar, M. (2015). Effects of heavy metals on human health, *Int J Res Granthaalayah*, 530(516): 1-7.
- Martin, S., ve Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, 15(5).

- Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., ve Chowdhary, P. (2019). Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. *Environmental biotechnology: For sustainable future*, 103-125.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2007). *Instrumental analysis* (Vol. 47). Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Susan C. Hight, John Cheng, 2005, Determination of total mercury in seafood by cold vapor-atomic absorption spectroscopy (CVAAS) after microwave decomposition, *Food Chemistry*, 91(3), 557-570.
- Ölgen, M., ve Gür, F. (2012). Yatağan termik santrali çevresinden toplanan likenlerde (*Xanthoria parietina*) saptanan ağır metal kirliliğinin coğrafi dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (57), 43-54.
- Tekin, E. Diyarbakır aktarlarında satılan bazı tıbbi bitkilerdeki As, Cd, Hg ve Pb elementlerinin ICP-MS ile tayini (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- World Health Organization. (1980). Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals: report of a WHO study group [meeting held in Geneva from 5 to 11 June 1979]. World Health Organization.
- Wu, P., Li, C., Chen, J., Zheng, C., ve Hou, X. (2012). Determination of cadmium in biological samples: An update from 2006 to 2011. *Applied Spectroscopy Reviews*, 47(5), 327-370.
- Yıldız, D., Kula, İ., Ay, G., Başlar, S., Doğan, Y., 2010. Determination of trace elements in the plants of Mt. Bozdağ, İzmir, Turkey. *Archives of Biological Sciences*
- Zurnacı, M. (2015). Vitamin komplekslerindeki metallerin ICP-OES cihazı kullanılarak tayini (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : P***** B***** A****
Uyruk : **
Doğum Yeri ve Tarihi: **.**.****
Medeni Hali : *****
Telefon : * *****
E-posta : *****@gmail.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Canik IMKB Anadolu Lisesi	2016
Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2021
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2024

İş Tecrübesi

Yıl	Yer	Pozisyon/görev

Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce, vs)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma		X	
Anlama		X	
Okuma		X	