

**T.C.**  
**AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ**  
**SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**BİYOKİMYA (VETERİNER)**  
**YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**AYDIN İLİ EFELER İLÇESİ ÇEŞME SULARINDAKİ BAZI**  
**AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**GURBET EMEK**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. Serap ÜNÜBOL AYPAK**

Bu tez Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından VTF-20016 proje numarası ile desteklenmiştir.

**AYDIN-2023**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalıőmamın baőından sonuna kadar her aőamasında bana destek olan tez danıőmanım Doç. Dr. Serap ÜNÜBOL AYPAK'a içtenlikle teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca katkıları olan Adnan Menderes Üniversitesi Biyokimya Ana Bilim Dalı Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Ayőegöl BİLDİK, Prof. Dr. Funda KIRAL ve Prof. Dr. Pınar ALKIM ULUTAŐ'a teşekkür ederim.

Çalıőmamın analiz bölümünde yardımlarını esigemeyen Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (SÜBİTAM) alıőanlarına teşekkür ederim. Hayatımın her anında desteklerini esirgemeyen aileme, çalıőmalarım sırasında her koşulda yanımda yer alan, araőtırmanın istatikselsel analizi ve literatür çevirilerinde katkıları olan eőim Ömer Ali EMEK'e sonsuz teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY .....	i
TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Dünya'daki Suyun Durumu ve Suyun Canlı Metabolizması İçin Önemi .....	3
2.2. Su Krizi, Suyun Yönetimi ve Kontrolü .....	6
2.3. İçme Suları ve İçme Suyu Kaynakları .....	9
2.4. İçme Suyu Problemi ve Kirlilik.....	10
2.5. Ağır Metal Kavramı ve İçme Sularında Ağır Metaller.....	12
2.5.1. Ağır Metaller .....	12
2.5.2. İçme Suyundaki Ağır Metallerin Etkileri .....	14
2.5.2.1. Arsenik .....	16
2.5.2.2. Bor .....	17
2.5.2.3. Kadmiyum .....	18
2.5.2.4. Krom.....	19
2.5.2.5. Kobalt .....	21
2.5.2.6. Bakır .....	22

2.5.2.7. Çinko .....	24
2.5.2.8. Kurşun .....	25
2.5.2.9. Demir .....	26
2.5.2.10. Molibden.....	28
2.5.2.11. Nikel .....	29
2.5.2.12. Mangan .....	30
2.5.2.13. Baryum .....	31
2.5.2.14. Sodyum.....	32
2.5.2.15. Cıva.....	33
2.5.2.16. Alüminyum.....	34
2.5.2.17. Stronsiyum.....	35
2.5.2.18. Uranyum .....	36
2.5.2.19. Vanadyum.....	37
2.5.3. İçme Suyundaki Ağır Metaller İçin Uluslararası Standart ve Kılavuz Değerler .....	39
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	41
3.1. Gereç.....	41
3.1.1. Çalışma Alanı ve Numune Lokasyonları.....	41
3.1.2. Numunelerin Toplanması .....	42
3.2. Yöntem .....	43
3.2.1. İndüktif Olarak Birleştirilmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS).....	43
3.2.1. EPA 200.8 Yöntemi.....	44
3.2.2. Stok, Standart Çözeltilerin Hazırlanması .....	46
3.3. İstatiksel Analiz .....	48
4. BULGULAR .....	50
5. TARTIŞMA.....	53
6. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	59

KAYNAKLAR.....	60
BİLİMSEL ETİK BEYANI .....	92
ÖZ GEÇMİŞ.....	93

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>µg</b>	: Mikrogram
<b>µmol</b>	: Mikromol
<b><math>\bar{X} \pm S_{\bar{x}}</math></b>	: Aritmetik ortalama $\pm$ Standart hata
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>AOLS</b>	: Assembly of Life Science (Yaşam Bilimleri Birliği)
<b>ASH</b>	: American Society of Hematology (Amerikan Hematoloji Derneği)
<b>As</b>	: Arsenik
<b>ATSDR</b>	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Defteri Ajansı)
<b>B</b>	: Bor
<b>Ba</b>	: Baryum
<b>Cd</b>	: Kadmiyum
<b>cm<sup>3</sup></b>	: Santimetreküp
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Cr</b>	: Krom
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>°C</b>	: Santigrat derece
<b>EC</b>	: Europe Commission (Avrupa Konseyi)
<b>EU</b>	: Europe Union (Avrupa Birliği)
<b>FAO</b>	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
<b>Fe</b>	: Demir

<b>g</b>	: Gram
<b>HCl</b>	: Hidroklorik asit
<b>Hg</b>	: Cıva
<b>HNO<sub>3</sub></b>	: Nitrik asit
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	: Hidrojen peroksit
<b>IARC</b>	: International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
<b>ICP-MS</b>	: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (İndüktif Olarak Birleştirilmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi)
<b>IHME</b>	: Institute for Health Metrics and Evaluation (Sağlık Ölçümleri ve Değerlendirme Enstitüsü)
<b>İTASHY</b>	: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>L</b>	: Litre
<b>mg</b>	: Miligram
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>Mo</b>	: Molibden
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>Na</b>	: Sodyum
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>NHMRC</b>	: National Health and Medical Research Council (Avustralya Ulusal Sağlık ve Tıbbi Araştırma Konseyi)
<b>NRC</b>	: National Research Council Canada (Ulusal Araştırma Konseyi Kanada)
<b>NTP</b>	: National Toxicology Program US (Birleşik Devletler Ulusal Toksikoloji Programı)

<b>Pb</b>	: Kurşun
<b>pH</b>	: Power of hydrogen (Hidrojen kontrasyon miktarı)
<b>ppb</b>	: Parts per billion (Milyarda bir kısım)
<b>ppm</b>	: Parts per million (Milyonda bir kısım)
<b>RG</b>	: Resmi Gazete
<b>Sr</b>	: Stronsiyum
<b>TS</b>	: Türk standardı
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>U</b>	: Uranyum
<b>UN</b>	: Birleşmiş Milletler
<b>USEPA</b>	: US Environment Protection Agency (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)
<b>V</b>	: Vanadyum
<b>WHO</b>	: Dünya Sağlık Örgütü
<b>WWF</b>	: World Wildlife Found (Doğal Hayatı Koruma Vakfı)
<b>WQA</b>	: Water Quality Association (Su Kalitesi Birliği)
<b>WPP</b>	: World Population Prospects (Dünya Nüfus Beklentileri)
<b>WPR</b>	: World Population Review (Dünya Nüfusu İncelemesi)
<b>Zn</b>	: Çinko



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünya Su Rezerv Dağılımı .....	4
Şekil 2. Dünya Su Stresi 2040 Projeksiyonu Haritası .....	6
Şekil 3. As, B, Cd, Cr ve Co için kalibrasyon eğrileri .....	47
Şekil 4. Cu, Zn, Pb, Fe ve Mo için kalibrasyon eğrileri .....	47
Şekil 5. Ni, Mn, Ba, Na ve Hg için kalibrasyon eğrileri .....	48
Şekil 6. Al, Sr, U ve V için kalibrasyon eğrileri .....	48

## TABLÖLAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> İçme suyu numunelerinin toplama bilgileri.....	41
<b>Tablo 2.</b> Gözlenebilirlik sınırı (LOD) ve ölçme sınırı (LOQ) değerleri ( $\mu\text{g/L}$ ) .....	45
<b>Tablo 3.</b> Efeler ilçesi ortalama ağır metal kontrasyonları ( $\mu\text{g/L}$ ) .....	50
<b>Tablo 4.</b> Efeler ilçesi mahallelerindeki ortalama ağır metal kontrasyonları ( $\mu\text{g/L}$ ). .....	51
<b>Tablo 5.</b> Ulusal ve uluslararası standart, limit ve kılavuz değerlerle karşılaştırılma ( $\mu\text{g/L}$ ) ...	54

## ÖZET

### AYDIN İLİ EFELER İLÇESİ ÇEŞME SULARINDAKİ BAZI AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Emek G. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyokimya (Veteriner) Programı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 2023.**

**Amaç:** Bu tez çalışmasında, Aydın ili Efeler ilçesinin içme suyu kalitesinin ağır metal düzeyleri (As, B, Cd, Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Fe, Mo, Ni, Mn, Ba, Cd, Sr, U, V) açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem:** Araştırma kapsamında Aydın ili Efeler ilçesindeki 9 mahallenin 7 farklı lokasyonundan toplam 63 adet su numunesi EPA 200.8 metodu ile toplanmıştır. Toplanan numuneler ICP-MS cihazı ile analiz edilerek ağır metal düzeyleri belirlenmiştir.

**Bulgular:** Efeler ilçesi içme sularında ortalama ağır metal düzeyleri As:  $1.66 \pm 0.53$ ; B:  $53.30 \pm 103.62$ ; Cd:  $0.10 \pm 0.01$ ; Cr:  $0.19 \pm 0.14$ ; Co:  $0.08 \pm 0.22$ ; Cu:  $12.39 \pm 15.49$ ; Zn:  $46.56 \pm 78.58$ ; Pb:  $0.98 \pm 1.24$ ; Fe:  $21.74 \pm 42.97$ ; Mo:  $0.76 \pm 0.22$ ; Ni:  $2.87 \pm 5.90$ ; Mn:  $3.97 \pm 8.31$ ; Ba:  $53.75 \pm 36.56$ ; Na:  $30238 \pm 33137$ ; Al:  $53.46 \pm 203.46$ ; Sr:  $438.74 \pm 363.99$ ; U:  $0.60 \pm 0.026$  ve V:  $0.11 \pm 0.02$   $\mu\text{g/ml}$  olarak tespit edilmiştir.

**Sonuç:** Aydın ili Efeler ilçesi içme sularındaki tüm ağır metal düzeylerinin ulusal ve uluslararası standartlar, limit ve kılavuz değerlerden düşük olduğu belirlenmiştir. As, Ni ve V ağır metalleri açısından mahalleler arasında farklılık olduğu, farklılıkların taşıyıcı ekipmandaki korozyondan kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Ağır metaller, İçme suları, Kirlilik, Su kalitesi.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF SOME HEAVY METAL LEVELS IN DRINKING WATERS IN THE EFELER DISTRICT OF AYDIN PROVINCE

**Emek G. Aydın Adnan Menderes University Institute of Health Sciences Biochemistry (Veterinary) Program, Master's Thesis, Aydın, 2023.**

**Objective:** The aim of this study was to evaluate the levels of heavy metals (As, B, Cd, Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Fe, Mo, Ni, Mn, Ba, Cd, Sr, U, V) in the drinking water quality of the Efeler district in Aydın province.

**Material and Methods:** In this research, a total of 63 water samples were collected from seven different locations in each of 9 neighborhoods of the Efeler district in Aydın province, using the EPA 200.8 method. The collected samples were analyzed using an ICP-MS device to determine the levels of heavy metals.

**Results:** According to the research, the average levels of heavy metals in the drinking water of the Efeler district are as followed: As:  $1.66\pm 0.53$ ; B:  $53.30\pm 103.62$ ; Cd:  $0.10\pm 0.01$ ; Cr:  $0.19\pm 0.14$ ; Co:  $0.08\pm 0.22$ ; Cu:  $12.39\pm 15.49$ ; Zn:  $46.56\pm 78.58$ ; Pb:  $0.98\pm 1.24$ ; Fe:  $21.74\pm 42.97$ ; Mo:  $0.76\pm 0.22$ ; Ni:  $2.87\pm 5.90$ ; Mn:  $3.97\pm 8.31$ ; Ba:  $53.75\pm 36.56$ ; Na:  $30238\pm 33137$ ; Al:  $53.46\pm 203.46$ ; Sr:  $438.74\pm 363.99$ ; U:  $0.60\pm 0.026$ ; and V:  $0.11\pm 0.02$   $\mu\text{g/ml}$  were determined.

**Conclusion:** Aydın province's Efeler district has been determined to have lower levels of heavy metals in its drinking water than national and international standards, limits, and guideline values. However, it has been identified that there are differences among neighborhoods in terms of heavy metals such as As, Ni, and V, and these differences may be due to corrosion in the distribution equipment.

**Key Words:** Drinking water, Heavy metals, Pollution, Water quality.

# 1. GİRİŞ

Dünya nüfusu; 21. yüzyılın başındaki hızlı artışıyla birlikte günümüzde 7.780.814 kişiye ulaşmıştır (WPR, 2020). Önümüzdeki 50 ila 75 yıl içinde bu sayının üç milyar daha artabileceği düşünülmektedir (WPP, 2019). Bu artışa paralel olarak insan popülasyonunun ihtiyaçları da artmaktadır. Ancak dünya genelinde var olan doğal kaynakların sınırlı olması, insani ihtiyaçların karşılanması noktasında bazı sorunları beraberinde getirmektedir. Nüfustaki artış, besin ve suya erişimde bu kaynakların kirlenmesine yol açmaktadır. Bu nedenle doğal kaynakların yönetimi, etkin değerlendirilmesi ve kaynakların kirlenmesinin önlenmesi gibi durumları içeren süreç değerlendirmelerinin yapılması zorunlu bir hal almaktadır (Menteşe, 2017).

İnsan yaşamı açısından temel gereksinim niteliğindeki su, sadece tatlı su kaynaklarından sağlanmaktadır. Tatlı su, dünyadaki toplam suyun %3'ü kadardır ve tatlı suyun sadece küçük bir kısmı (%0.01) insani kullanıma uygundur (Hinrichsen ve Tacio, 2002). İnsan popülasyonundaki ciddi artışlar göz önünde tutulduğunda var olan kullanılabilir suyun rezerv durumu yetersiz kalmaktadır. Kullanılabilir su kaynakları, artan insani ihtiyaçlar ve faaliyetler (sanayi, kentleşme vb.) sonucu kirlenmekte, bu durum kullanılabilir su kaynakları rezervlerinin daha da azalmasına neden olmaktadır (Cosgrove ve Loucks, 2015). Dünya su rezervi dağılımı da dengeli değildir. Dünya genelinde kullanılabilir ve içilebilir suya erişim, insani ihtiyacı karşılamamaktadır (Eichelberger ve diğerleri 2020). Bu nedenle içilebilir suyun temini ve suyun kirlenmesinin önlenmesi canlı yaşamının sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir (Smith, 2017).

İçme suyu ve kullanılabilir su kaynaklarının en önemli kirleticilerinin başında ağır metaller gelmektedir (Joseph ve diğerleri 2019). Sulardaki ağır metallerin sebep olduğu kirlenme inorganik kirlenme olarak tanımlanmaktadır. İnorganik kirlenmenin diğer kirlilik faktörlerinden daha önemli olmasının sebebi alıcı ortamlarda değişime uğramadan sürekli olarak artan miktarlarda birikmesidir (Förstner, 1980). Bu birikim sadece alıcı ortamlarda kalmamakta; beslenme ve su alımı sonucu canlıların doku ve hücrelerinde görülmektedir (Gadzała-Kopciuch ve diğerleri, 2004). Birikim düşük düzeylerde ve önemsiz olsa da ağır metaller sürekli maruz kalan canlı dokularında toksikolojik ve kanser yapıcı riskler oluşturmaktadır (Chowdhury ve ark, 2016; Emek, 2019).

Türkiye içme suyu ve kullanılabilir su ihtiyacının büyük bir kısmını yüzey ve yer altı su kaynaklarından elde etmektedir (Akın ve Akın, 2007). Ancak, yeraltı ve yüzey suları buldukları bölgenin kayaç ve toprak yapısından dolayı bileşiminde ağır metalleri belirli oranlarda taşımaktadır (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2003; Akın ve Akın, 2007). Bunun yanı sıra yerleşim yerlerinde oluşan evsel ve endüstriyel atıkların alıcı ortamlara yeterince arıtılmadan verilmesi sonucu yer altı ve yüzey suları kaynaklarının kirlenmesine, kaynakların doğal niteliklerinin değişmesine neden olmaktadır (Shakeel ve diğerleri, 2021). Bu değişimle birlikte kirlilik etkeni hem etrafa yayılmakta hem de toprakta ve suda birikerek canlılar için büyük bir risk faktörü haline gelmektedir (Çolak Esetlili, 2010; Göksel, 2015; Lu ve diğerleri, 2015; Qadri ve Faiq, 2020). İçme suyu alt yapısında kullanılan malzemelerin düşük kalitede olması ve yıpranması gibi nedenlerle şehir içme sularının etkilendiğine dair raporlar oluşturulmuştur (Wang ve diğerleri, 2009; Narula ve diğerleri, 2011; Thomas ve diğerleri, 2016; Pieper ve diğerleri, 2018; Pauli, 2020). Bu durum günümüzde içme suyu olarak kullanılan suların ağır metal düzeylerinin araştırılmasını halk ve çevre sağlığı açısından zaruri hale getirmiştir.

Araştırmada, Aydın İli Efeler ilçesinde tüketilen içme suyundan alınan numunelerde; As, B, Cd, Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Fe, Mo, Ni, Mn, Ba, Na, Hg, Al, Sr, U ve V düzeylerinin belirlenmesi sonucunda, halk sağlığı açısından risklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede hem Aydın ili Efeler ilçesindeki içme suyu kalitesini değerlendirmek hem de olası kirliliğin durumu hakkında bilgi sahibi olunarak halk ve çevre sağlığının durumu ortaya konulmuştur.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Dünya'daki Suyun Durumu ve Suyun Canlı Metabolizması İçin Önemi

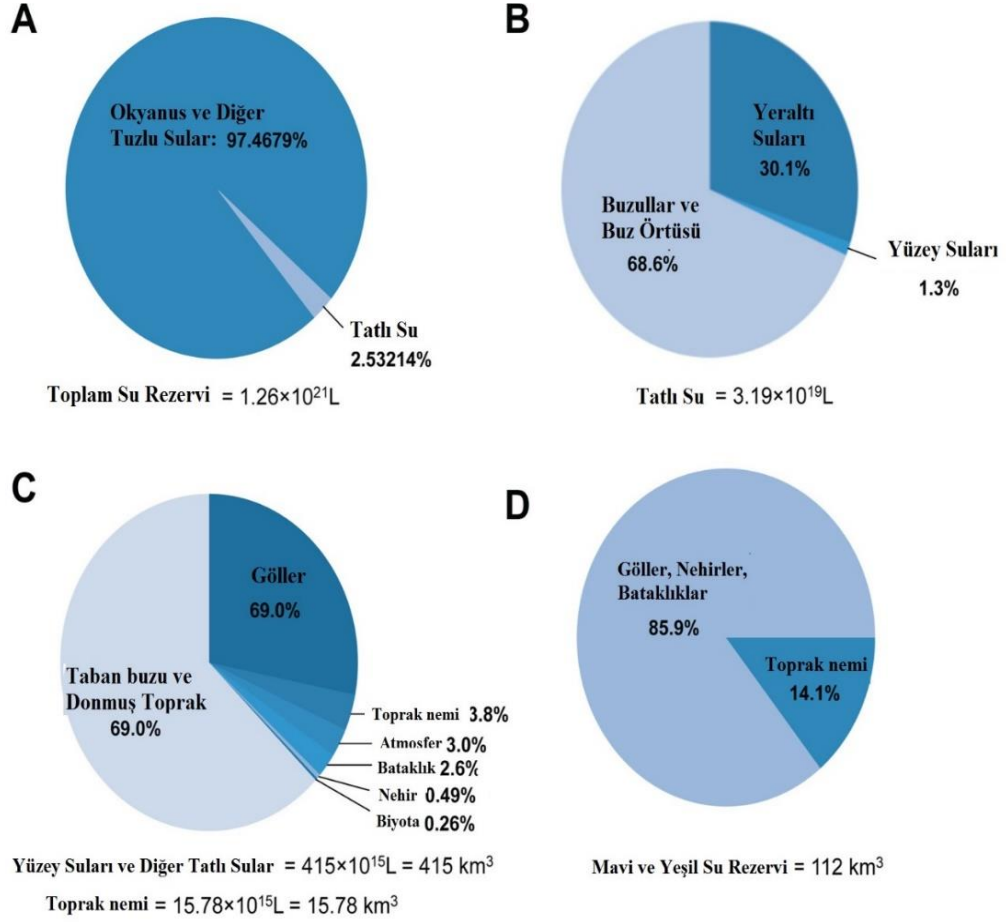
Su, hayatın devamlılığı için vazgeçilmez bir unsur olmakla birlikte, insanlık için uygarlığın ön koşuludur (Vuorinen ve diğerleri, 2007). İlk insan yerleşimleri su kaynaklarının etrafında şekillenmiştir (Yılmaz ve Peker, 2013). Bir insan açlığa uzun süre dayanabilmesine rağmen, su olmadan ancak 3- 5 gün dayanabilmektedir (İkinci Ak, 2015). Su, canlılarda hayati önem taşıyan birçok metabolik faaliyetin gerçekleştirilebilmesi için elzemdir. Öyle ki dünya dışı yaşam arayışlarında ilk gözlemlenmeye çalışılan maddelerden biri de sudur (Sarıgül, 2018).

Dünyamızın yüzey alanının büyük bir çoğunluğu sularla kaplı olsa da kullanılabilir olan tatlı su kaynakları, dünya üzerindeki su kaynaklarının sadece %2,5'ini oluşturmaktadır. Tatlı suyun büyük bir kısmı ise buzullarda ve kar kütlesi içinde depo halde bulunmaktadır. Bu miktarın toplam tatlı suyun %70'i kadar olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra tatlı suyun sadece küçük bir kısmı olan %0.01'i kadarının insani kullanım için uygun olduğu belirtilmiştir (WWF-Türkiye, 2014).

İnsanlık için yeterli miktarda ve sağlık açısından iyi kalitedeki suya erişim, insan varlığının devamlılığının sağlanmasında olduğu kadar gıda güvenliği ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında da temel bir ihtiyaç olarak görülmektedir (Connor, 2015). Bunun yanı sıra suya erişim ve su yönetimi günümüzde gelişmişliğin ve kalkınmanın en önemli aktörü olarak görülmeye başlanmıştır (Pahl-Wostl ve diğerleri, 2010). Ancak sınırlı olan su kaynakları, çevresel sorunlar nedeniyle her geçen gün daha da erişilmez hale gelmektedir.

Günümüzde dünya nüfusunun neredeyse beşte biri (yaklaşık 1,2 milyar insan) su sıkıntısı çekmekte, bu oranın 2025 yılında dünya nüfusunun üçte ikisi kadarını etkileyecek boyuta gelebileceği düşünülmektedir (FAO, 2017). Bununla birlikte 1,6 milyar insanın suya erişiminde yeterli altyapıya sahip olmaması ve gerekli olan maddi kaynak yetersizliğinden dolayı su sıkıntısı çektiği bildirilmiştir (UN Water, 2013).

Dünya  $1,26 \times 10^{21}$  L'lik bir su rezervine sahiptir. Bu rezervin ancak  $3,19 \times 10^{19}$  L'lik kısmı tatlı su kaynağından oluşmaktadır (Lal, 2015). Dünya'daki su rezervlerinin dağılımı Şekil 1'de ayrıntılı şekilde sunulmuştur.



**Şekil 1.** Dünya Su Rezerv Dağılımı (Lal, 2015).

**A:** Toplam Su Rezervi; **B:** Tatlı Su Rezervi; **C:** Yüzeysel Sular ve Diğer Tatlı Sular Rezervi; **D:** Mavi ve Yeşil Su Rezervi

Şekil 2.1'e bakıldığında dünyanın varolan su rezervinin çok küçük bir kısmının kullanılabilir su kaynağı olduğu görülmektedir. Doğal olarak var olan kullanılabilir suya erişim güçlükleri, suyun yönetimi, suyun kullanımı, kullanılabilir su elde etme yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir (Loucks ve Van Beek, 2017). Kentlerin artan nüfusla birlikte hızlı şekilde büyümesi su kaynağı ihtiyacını arttırmıştır. Bu ihtiyacın karşılanması için göl ve nehir kaynaklarının içme suyu temini için taşınmasına odaklanılmıştır (Cosgrove ve Loucks, 2015). Suyun taşınması sırasında gerçekleşen en büyük sorun göl ve nehirlerin çeşitli kirlilik faktörleri nedeniyle kirlenmesidir (Ferronato ve Torretta, 2019). Bu kirlilik



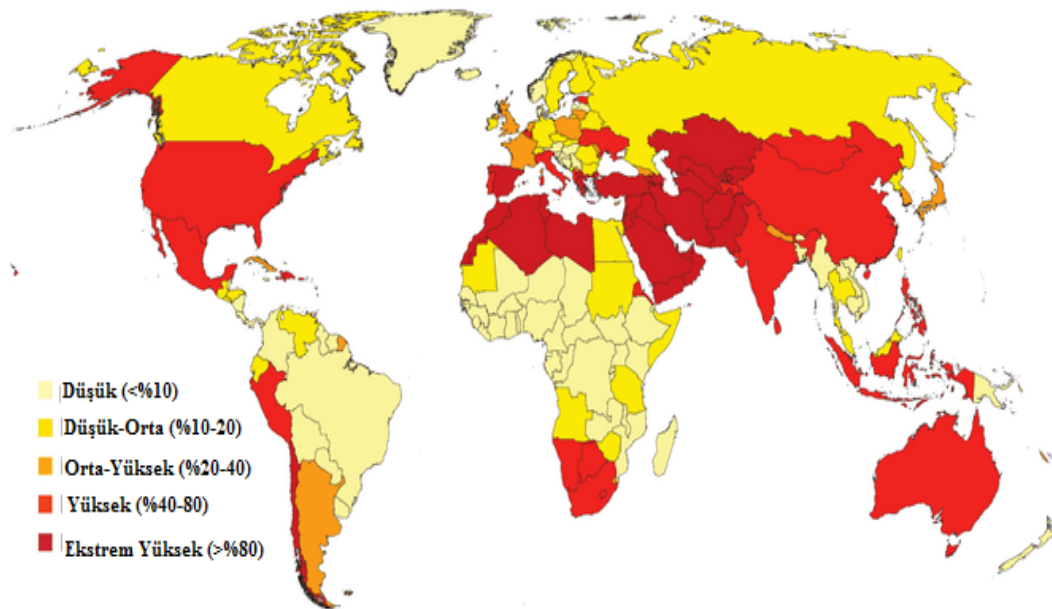
faktörleri sudaki istenmeyen bakteri oluşumları, ağır metaller ve kimyasal atıklardır (Power ve diğerleri, 2018). İklim değişikliği kuraklık gibi bir sonuç doğurmakta, buna ek olarak oluşan kirlilik yükü su ihtiyacı probleminin daha da büyümesine neden olmaktadır (Islam ve Karim, 2019). Su ile ilgili ortaya çıkan bu sorunlar sadece insan yaşantısını değil diğer tüm canlıları da benzer şekilde etkilemektedir (Pathak, 2013).

Yapısal olarak canlı hücrelerinin çoğunluğu (yağ hücreleri hariç) sudan oluşmaktadır (Del Giudice, 2009; Hossain, 2015). Bunun yanı sıra su besinlerin taşınması, metabolik faaliyetlerin gerçekleştirilmesi, atıkların canlılardan ve hücrelerden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Hall ve Hall, 2020). Su aynı zamanda ısıyı aktif dokulardan diğer dokulara dağıtarak, canlının sıcak/soğuk dengesini düzenlemeye yardımcı olmaktadır (Hong, 2018). Çok hücreli canlılarda suyun çoğunluğu vücut hücrelerinde (yaklaşık üçte ikisi hücre içi boşlukta), geri kalanı hücreler arasındaki boşlukta (interstisyel boşluk) ve kan plazmasında bulunmaktadır (Hossain, 2015). Kanda bulunan su miktarı % 83, kemiklerde % 22, beyin ve kas dokusunda % 75'tir. Su, kanın fonksiyonlarını gerçekleştirebilmesi açısından da önemli bir işleve sahiptir (Ripl, 2003). Vücutta oluşan toksik maddelerin dışarı atılmasını sağlar. Böbreklerin dengeli çalışması yeterli su alımına bağlıdır (Lorenzo ve diğerleri, 2019). Vücuttaki su, metabolik olaylardaki görev ve işlevleri nedeniyle canlının enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli olmakla birlikte deri ve cildin nem dengesini de sağlamaktadır (Aversa ve diğerleri, 2016; Hu ve diğerleri, 2020). Suyun kayganlaştırıcı etkisi nedeniyle eklem ve organların rahat çalışmasını sağlar (Armstrong ve Johnson, 2018).

Beyin görevini su içerisinde sürdürmektedir. Beyin gibi hayati bir organda su miktarındaki azalmalar beynin işlevini yerine getirememesi ile sonuçlanmaktadır. Susuz kalındığında sersemlik, algılama yeteneğinde düşme, karar verme mekanizmasında bozulmalar oluşmaktadır (Adan, 2012). Huff-Lonergan ve Lonergan (2005) tarafından yapılan araştırmada suyun metabolizmayı hızlandırdığı, günlük harcanan kalori miktarını arttırarak kilo vermeyi kolaylaştırma gibi etkileri olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra vücuttaki su dengesinin sağlanmasının dikkat eksikliği, gerginlik, stres, uykusuzluk ve halsizlik gibi rahatsızlıkların düzeltilmesinde önemli olduğu bildirilmiştir (Armstrong ve Johnson, 2018).

## 2.2. Su Krizi, Suyun Yönetimi ve Kontrolü

Yaşadığımız yüzyılda su krizi, küresel su kaynaklarının durumu nedeniyle çokça tartışılmaktadır (Gupta, 2008; Sivakumar, 2011; Chellaney, 2013; Groenfeldt, 2019; Biswas ve Tortajada, 2019; Pauli, 2020). Su krizinin temel nedeni su kıtlığıdır (Liu ve diğerleri, 2017). Malthusçu görüşe göre, su kaynaklarının temelde dünyada sabit olduğu ve bu sabit miktara rağmen suya olan talep artışının suya erişimi engelleyeceği belirtilmiştir (Meadows ve diğerleri, 1992). Bu görüşe göre, yenilenebilir su kaynaklarına kişi başı erişim, su kıtlığında temel bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Falkenmark (1986) su kıtlığıyla ilgili olarak gıdaların üretiminde sürdürülebilir su kullanım miktarına odaklanırken, kişi başı su kaynakları erişimine dayalı bir gösterge oluşturulmasını önermiştir. Bir ülkedeki su kaynakları kişi başına 1667 metreküpün altına düştüğünde su sıkıntısı ile karşı karşıya olduğu ifade edilmiştir. Nitekim su miktarı kişi başına 1000 metreküpten az olduğunda bu kıtlığın ekonomik kalkınmayı, insan sağlığını ve toplumsal refahı tehdit ettiği, 500 metreküpten az olduğunda ise mutlak bir su kıtlığı olduğu bildirilmiştir (Falkenmark, 1986). Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) tarafından 2015 yılında yapılan projeksiyona göre dünya üzerindeki ülkelerin su stres oranları Şekil 2’de sunulmuştur (WRI, 2015).



Şekil 2. Dünya Su Stresi 2040 Projeksiyonu Haritası (WRI, 2015).

Şekil 2’de 2040 yılına ait projeksiyon haritası incelendiğinde dünyanın özellikle ekvatorial düzlemdeki bölgelerinin ekstrem yüksek veya yüksek su stresi altında kalabileceği öngörülmektedir (Lal, 2015). Bu durum, su kaynaklarının aşırı kullanımı ve kirlilik faktörleri ile temiz suya erişimdeki sınırlılık durumuyla da örtüşmektedir (Loucks ve Van Beek, 2017). Su kıtlığı yaşayan ülkelerin nüfus artışıyla beraber su ihtiyacı artacağından su stresiyle daha fazla karşılaşılacağı belirtilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2020).

Dünya yüzeyinin büyük bir bölümünü kapladığı için, gezegenimizdeki suyun bol olduğu fikri temelde büyük bir yanılgı oluşturmaktadır (Lal, 2015; Yamazaki ve Trigg, 2016). Gerçekte Dünya’daki toplam suyun yalnızca küçük bir kısmı tatlı sudur ve bu sınırlı kaynağın gelecekte artacak olan nüfusa yetebilmesi gerekmektedir (Cassardo ve Jones, 2011). 2050 yılına kadar Dünya’da 9,7 milyar insan olacağı ve dünya nüfusunun %40’ından fazlasının şiddetli su sıkıntısı olan bölgelerde yaşayacağı tahmin edilmektedir (McNabb, 2019). 20. yüzyılda dünya nüfusunun üç kat artması suyun kullanım oranının altı kat artmasına yol açmıştır (Gourbesville, 2008). 2050 yılına kadar, imalat için su kullanımında %400 ve evsel kullanımda %130 artış beklenmektedir (Islam ve Karim, 2019).

Su rezervleri azaldıkça sınırlı olan kaynaklara erişim için rekabet artmaktadır. Ülkeler su ihtiyaçlarını karşılamak için tedbirler almaya çalışmakta ve su temini için çözümler aramaktadır (Connor, 2015). Yürürlükte olan yüzlerce uluslararası su anlaşması bulunmasına rağmen ülkeler su kıtlığını yönetmekte zorlanmaktadır ve bu durum su güvenliği kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Cosgrove ve Loucks, 2015). Su güvenliğini tehdit eden kuraklık, su kıtlığının başlıca nedenlerinden biri olarak nitelendirilmektedir (Srinivasan ve diğerleri, 2012). En yaygın afet türü olarak tanımlanabilen kuraklığın özellikle tarım ve ekonomi üzerine olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. 2016 yılında afetlerden etkilenen 411 milyon insanın %94’ü kuraklıktan etkilenmiştir (Kaur ve Singh, 2018). Amerika Birleşik Devletleri’nde yaşanan kuraklıkların her yıl ortalama 6-8 milyar dolarlık kayba neden olduğu bildirilmiştir (Williamson ve diğerleri, 2002). Çin’de kuraklığın son yirmi yılda yıllık tahıl üretiminde 27 milyon tondan fazla kayıpla sonuçlandığı ve kuraklıktan etkilenen ekim alanının 1950’lerden günümüze kadar %116 arttığı bildirilmiştir (Chen ve diğerleri, 2014; Qin ve diğerleri, 2014).

Su güvenliği ve yönetim süreçlerinin, kuraklık riskini ve etkilerini azaltmak için de önemli olduğu görülmektedir (Payus ve diğerleri, 2020). Daha iyi su güvenliği uygulamalarının, gıda mahsullerinin üretimi ve fiyatlarını dengeleme süreçlerine yardımcı

olabileceği öne sürülmektedir. Tahminlere göre su güvenliğinin sağlanması ve su kalitesinin iyileştirilmesi yoluyla, küresel buğday üretiminin yılda 650 milyon tonun altına düşme olasılığının %38'ten %83'e yükseleceği öngörülmüştür (Myers ve diğerleri, 2017). İnsani, ekonomik ve çevresel ihtiyaçların karşılanabilmesi için su kaynaklarımızı dikkatli bir şekilde yönetmek ve korumak önemlidir. Bu nedenle su ile ilgili altyapıya yapılan yatırımların, iklim değişikliği ve hidrolojik tehlikeler gibi şok ve baskılardan korunmanın en etkili ve önemli yolu olduğu belirtilmektedir (Hoekstra ve diğerleri, 2018).

Yaşadığımız yüzyılda en fazla görülen afetlerden olan sel ve erozyonun 2016 yılı içinde kaydedilen afetlerin yarısını oluşturduğu bildirilmiştir (Badoux ve diğerleri, 2016). Sel gibi suyla ilgili afetler, ölümlere, barınma sorunlarına ve yaralanmalara neden olduğu için önemli bir endişe kaynağı oluşturmaktadır (Veenema ve diğerleri, 2017). Günümüzde sele eğilimli bölgelerde yaşayan insan popülasyonunun büyük bir çoğunluğunun iklim değişikliği sonucu ormansızlaşma, sulak alanların kaybı ve yükselen deniz seviyeleri gibi durumlarla karşı karşıya kalacağı beklenmektedir (Kirwan ve Gedan, 2019). 2050 yılına kadar sel felaketlerine karşı savunmasız insan sayısının 2 milyara ulaşacağı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra insan topluluklarının güvenliği ve esenliğini sağlamak için iklim değişikliğine bağlı gelişecek afet riskine karşı önemli adımlar atılması gerektiği bildirilmiştir (Costello ve diğerleri, 2009; Emek, 2022). Sel ve kuraklık gibi felaketlerin artmasının yıkım etkilerinin yanında, içme suyu kaynaklarını da ciddi tahribata uğratarak kirlenmesine neden olduğu bilinmektedir (Melese, 2016). 2020 yılında içme suyu kaynaklarına ulaşamayan 2 milyar insan bulunduğu ve temel içme suyu hizmetlerinden yoksun kalmaya devam eden her 10 kişiden 8'inin kırsal alanlarda yaşadığı bildirilmiştir (WHO ve UNICEF, 2020). Erişim sağlanabilen suyun bir kısmı güvenli olsa da uygun fiyatlı değildir ya da bir takım erişim zorlukları bulunmaktadır. (Sultana, 2018). Bunun yanı sıra nitelikli ve kullanılabilir su açısından büyük tehlike, su kaynaklarının kirlenmesidir (Pichel ve diğerleri, 2019). Bu kirlenme etkilerinden korunma amacıyla sürekli olarak gerçekleştirilen denetim ve yönetim faaliyetleri su krizininin çözüm arayışında odak noktası olmalıdır (Hering ve diğerleri, 2015; Loucks ve Van Beek, 2017). Kullanılabilir sular olarak nitelendirilen tatlı sular, sürekli olarak insani faaliyetler sonucu ortaya çıkan çeşitli kimyasallar, bakteriler, virüsler ve ağır metallerle kirlenmektedir (Alimohammadi ve diğerleri, 2021). Bu nedenle su kaynaklarının korunması, kontrollü şekilde insani kullanıma sunulması ve atık suların arıtılması ya da deniz sularının sanitasyonu, su krizinin çözümünde temel uğraşı alanları olmalıdır (Gude, 2017; Kesari ve diğerleri, 2021; Ricart ve diğerleri, 2021).

### 2.3. İçme Suları ve İçme Suyu Kaynakları

İçme suları, içilmesi ya da yemeklerde kullanılması güvenli olan ve sağlık sorunlarına yol açmayan sulardır (WHO, 2022a). İçme suyunun, sağlıklı bir yaşam sürmek ve vücudun hidrasyonunu sağlamak amacıyla gerekli olan temel bir bileşik olduğu belirtilmiştir (WHO, 2011). İçme suyu, yüzey suları ve yer altı suları dâhil olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Genellikle tüketicilere dağıtılmadan önce kirleticilerden arındırmak amacıyla işlenmektedir (Kocsis ve diğerleri, 2023). Halk sağlığını korumak için içme suyunun kirletici maddelerden arındırılması oldukça önemli bir konudur (Pal ve diğerleri, 2018).

Birçok ülkede, içme suyunun güvenliğini sağlamak için yürürlükte olan düzenlemeler bulunmaktadır. Su ile ilgili hizmet verenlerin, kirleticileri düzenli olarak test etmesi ve gerekirse kirlenmeyi azaltmak için çeşitli adımlar atması gerekmektedir (Grönwall ve Danert, 2020). İyi bir hidrasyon sağlamak için insanların günde en az sekiz bardak su içmeleri önerilmektedir (Sawka ve diğerleri 2005). Musluk suyu, içmek için güvenli değilse su filtresi veya şişelenmiş su kullanmak gerekmektedir (Al-Dulaimi ve Younes, 2017).

İçme suyu kaynaklarından biri olan yeraltı suları, toprakta veya kaya oluşumlarında bulunan sudur (Raimi ve diğerleri, 2022). Bu suya genellikle kuyulardan veya sondaj deliklerinden erişilmektedir (Calow ve diğerleri, 2010). Yeraltı suyunun genellikle yüksek kalitede olduğu kabul edilmekte ve genellikle ek arıtma olmaksızın içme suyu olarak kullanılabilir. Ancak, tüketim için güvenli kalmasını sağlamak amacıyla yeraltı suyunun kalitesini izlemenin de önemli olduğu bildirilmiştir (Rossiter ve diğerleri, 2010).

Yağmur suyu, başka bir potansiyel içme suyu kaynağıdır. Yağmur suyu, bazı durumlarda toplanabilir ve içme suyu olarak kullanılmak üzere arıtılabilir. Bu yöntem, genellikle diğer su kaynaklarına sınırlı erişimin olduğu alanlarda kullanılan bir yöntemdir (Khayan ve diğerleri, 2019). Yağmur suyu, çatılardan veya diğer yüzeylerden toplanır, tanklarda veya rezervuarlarda depolanır. Suyun içme için kullanılmadan önce uygun şekilde arıtıldığından ve filtrelendiğinden emin olmak önemlidir (Alim ve diğerleri, 2021).

Deniz suyu da arıtılması koşuluyla bir içme suyu kaynağı olarak düşünülebilir. Tuzu ve diğer mineralleri uzaklaştırmak için arıtılmış ve insan tüketimine uygun hale getirilmiş deniz suyuna tuzdan arındırılmış su denir. Tuzdan arındırılmış su genellikle tatlı su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde kullanılmaktadır (Gude, 2017). Suyu tuzdan arındırmak

için ters ozmoz ve termal damıtma olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Mansour ve diğerleri, 2020).

Sonuçta hangi yolla elde edilirse edilsin içme suyunun kirleticilerden arındırılarak güvenli hale getirilmesi önemlidir (Adeloju ve diğerleri, 2021). Bu nedenle suyun denetiminin ve kontrolünün sağlanmasının yanı sıra arıtma ve filtrasyon gibi işlemlerle içme suyunun kalitesini arttırarak halk sağlığını korumak oldukça önemli bir husustur (Raimann ve diğerleri, 2020; Wen ve diğerleri, 2020).

#### **2.4. İçme Suyu Problemi ve Kirlilik**

İçme suyunun kalitesini etkileyebilecek çeşitli problemler olduğu belirtilmektedir. Bu problemlerin halk sağlığı ve ekonomik kalkınma açısından ciddi sonuçları olabilmektedir (Mishra ve Dubey, 2023). İçme suyu problemlerinin en başında içme suyunun kirlenmesi gelir. İçme suyu bakteriler, virüsler, ağır metaller, kimyasallar ve diğer yabancı maddelerle kirlenebilmektedir (Masindi ve Muedi, 2018). Bu durum endüstriyel kirlilikten, tarımsal sulamaların akışından ve arıtma sistemlerinin arızalanması gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilmektedir (Sarker ve diğerleri, 2021). Genellikle kurşun, arsenik, cıva, kadmiyum ve krom gibi ağır metaller hem doğal yollarla hem de insan faaliyetleri sonucu içme sularına karışmaktadır (Reineke ve Schlömann, 2023). Ağır metallerin doğal kaynakları arasında ise kayaçların ayrışması, toprak erozyonu ve volkanik faaliyetler yer almaktadır (Zhang ve Wang, 2020).

Hızlı sanayileşme, kentleşme ve çeşitli antropojenik faaliyetler sonucu, ağır metallerin giderek artan bir şekilde su kaynaklarına girmesi insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır (Proshad ve diğerleri, 2018). Ağır metallere içme suyu yoluyla maruz kalınması insan sağlığı için ciddi sonuçlar doğurmakla birlikte, ağır metallerin zamanla vücutta birikmesiyle toksik etkiler görülmeye başlar ve bu durum, çeşitli akut ve kronik sağlık sorunlarına yol açar (Rehman ve diğerleri, 2018). Bu sorunlar; gastrointestinal bozukluklar, böbrek hasarı, karaciğer fonksiyon bozukluğu, solunum problemleri nörolojik bozukluklar, gelişimsel gecikmeler ve artan kanser riskidir (Mahurpawar, 2015). Bebekler, küçük çocuklar, hamile kadınlar ve yaşlılar gibi savunmasız popülasyonların ağır metal maruziyetinin olumsuz etkilerine karşı hassas gruplar olduğu bilinmektedir (Copat ve diğerleri, 2015).

Halk sağlığını korumak için hükümetler ve uluslararası kuruluşlar, içme suyunda izin verilen ağır metal seviyeleri için düzenleyici standartlar ve yönergeler oluştururlar (Shoushtarian ve Negahban-Azar, 2020). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) gibi kuruluşlar, çeşitli ağır metaller için kapsamlı yönergeler ve maksimum kirletici seviyeleri gibi standartlar belirlemektedir (Saleh ve diğerleri, 2019). Ancak, bu standartların uygulanması ve icrası bölgelere göre farklılık gösterebilmekte ve birçok bölge güvenli içme suyu sağlama konusunda zorluklarla karşılaşmaktadır (Handford ve diğerleri, 2015). İçme suyunun sağlanmasında ve korunmasında ağır metal kirliliğinin ele alınması gerekli olup kaynak kontrolü, su arıtma, altyapı iyileştirmeleri, halkın bilinçlendirilmesi ve eğitimi, düzenli izleme gibi süreç yönetimlerini de kapsayan çok yönlü bir yaklaşım gerekmektedir (WHO, 2004a; Raimann ve diğerleri, 2020).

Dünya geneli değerlendirildiğinde kullanılabilir suların temizliği ve su güvenliğiyle ilgili ciddi sıkıntılarının olduğu belirtilmektedir (Belhassan, 2021). Bu duruma kuraklık, su kaynaklarının aşırı kullanımı ve nüfus artışı eklendiğinde daha vahim bir durum ortaya çıkmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2020). Su kıtlığı, yetersiz beslenme ve ekonomik bozulma gibi sorunlara da yol açabilmektedir. Tüm insanların temiz ve güvenli içme suyuna erişimini sağlamak için su kaynaklarının iyi bir şekilde yönetilmesi ve su kıtlığına yönelik stratejiler geliştirilmesi gerekmektedir (Hanjra ve Qureshi, 2010).

İçme suyunun durumunu etkileyebilecek başka bir sorun yetersiz altyapıdır. (Greer, 2020). Dünyanın birçok yerinde insanlara temiz içme suyu ulaştıracak altyapı eksiklikleri bulunmaktadır. Bunun nedeni ise finansman eksikliği, siyasal istikrarsızlık veya diğer faktörler olabilmektedir (Dinka, 2018). Yetersiz altyapı, insanların temiz suya erişimini zorlaştırmakta ve halk sağlığı sorunlarına yol açmaktadır. Bu nedenle insan sağlığını korumak ve ekonomik kalkınmayı desteklemek için altyapıya yatırım yaparak temiz suya erişimi iyileştirmek gereklidir (Cosgrove ve Loucks, 2015).

İklim değışikliği, içme suyunun mevcudiyetini ve kalitesini etkileyebilecek başka bir faktördür. Artan sıcaklıklar ve değışen yağış düzenleri, su kaynaklarının durumunu değıştirerek kuraklıklara veya sellere yol açmaktadır (Leveque ve diğerleri, 2021). Bu durum temiz ve güvenli içme suyuna erişimi zorlaştırmakta ve sağlık sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Temiz ve güvenli içme suyuna erişimi kolaylaştırmak için iklim değışikliğinin temel nedenlerini ele almak ve değışen iklimin etkilerine uyum sağlamaya yönelik stratejiler geliştirmek gerekmektedir (WHO, 2020). İnsanların temiz, güvenli içme suyuna erişimini

sağlamak için su kirliliğinin, su kıtlığının ve yetersiz altyapının temel nedenlerini ele alarak belirli stratejilerin oluşturulması, finansal kaynaklara erişimin sağlanması ve teknolojik yeniliklerin geliştirilmesi önemli görülmektedir (Stein ve diğerleri, 2016; Al-Ansari ve diğerleri, 2021; Zamora-Ledezma ve diğerleri, 2021).

## **2.5. Ağır Metal Kavramı ve İçme Sularında Ağır Metaller**

### **2.5.1. Ağır Metaller**

Ağır metaller, diğer elementlere kıyasla nispeten yüksek atomik ağırlıklara ve yoğunluklara sahip bir grup metalik element olarak sınıflandırılmaktadır. Ağır metaller için kesin bir tanım olmamakla birlikte, bunlar genellikle yüksek toksisite, canlı organizmalarda birikme eğilimi ve çevre kirliliği potansiyeli gibi bazı ortak özellikler sergilemektedirler (Davis, 1984; Kennish, 1998). Atomik ağırlığı 40 ila 200,6 g/mol aralığında değişiklik gösteren özgül ağırlıkları 5,0 g/cm<sup>3</sup>'den büyük elementler ağır metal olarak nitelendirilmektedir (Dufus, 2002; Järup, 2003; Turdean, 2011). Ağır metaller yer kabuğu içeriğinde doğal olarak bulunmakla birlikte yüzey sularında kolloid, parçacık ya da çözülmüş madde formunda görülmektedir (Fu ve Wang, 2011). Kolloidal veya parçacıklı formdaki metaller hidroksit, oksit, silikat ve sülfür gibi bileşikler olarak bulunduğu yüzeydeki kil, silika ve organik madde tabakalarına yapışma eğilimindedirler. Bunun yanı sıra organik madde ile kaplanmış hümik asitler, organo-killer ve oksitler için güçlü bir afinite göstermektedirler (Elliott ve diğerleri, 1986). Ağır metaller çözünür olduklarında, tipik olarak iyonlar veya iyonize olmayan organometalik şelatlar veya kompleksler halinde bulunabilmektedirler. Çözelti içindeki konsantrasyonları genellikle düşük olmakla birlikte iz metallerin sudaki çözünürlüğü öncelikle suyun pH seviyesi, mevcut ligandların tipi ve konsantrasyonu, mineral bileşenlerin oksidasyon durumu ve sistem içindeki redoks koşulları gibi faktörlerden etkilenmektedir (Connell ve Miller, 1984).

Sucul ortamlardaki ağır metaller çözünür yapıda olduklarında, canlı organizmalar tarafından su veya beslenme yoluyla alınmakta, böylelikle besin zincirine dâhil olmaktadır (Bosch ve diğerleri, 2016; Mishra ve diğerleri, 2019). Organik kirleticilerin aksine, ağır metaller biyolojik olarak parçalanmamakta ve canlı organizmalar içinde birikme eğilimi



göstermektedir (Leon ve Guzman, 2008). Ağır metallerin insan vücudunda da birikme potansiyeli bulunmaktadır. Bu durum insanda birikime bağlı olarak toksik etkilerin görülmesine neden olmaktadır (Barakat, 2011, Fu ve diğerleri, 2012). İz element olarak selenyum, kobalt, bakır, demir, manganez, molibden, vanadyum, stronsiyum ve çinko gibi bazı ağır metaller metabolik olayların yürütülmesi ve canlı devamlılığının sağlanmasında esansiyel olarak nitelendirilmektedir. Buna rağmen bu ağır metallerin belirli bir konsantrasyonu aşması canlılar için sağlık riski taşımaktadır (Vinodh, 2011).

Yüzey sularında önemli olan ve esansiyel olmayan ağır metaller antimon, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun ve cıvadır (Kennish, 1991). Yüzey sularında bulunan ağır metaller doğal konsantrasyonunda olabildiği gibi antropojenik faaliyetler sonucu doğal konsantrasyonlarının üzerinde de olabilmektedir. Magma ya da metamorfolojik oluşumlar olan kayaçlar, topraktaki kimyasal reaksiyonlar ya da fiziksel aşınmalar sonucu doğada mevcuttur. Bunun yanı sıra volkan aktiviteleri sonucu havada partikül maddeler şeklinde bulunmaktadır. Canlı organizma kalıntılarının ayrışmasıyla, rüzgâr erozyonuyla, orman yangınlarındaki duman oluşumlarıyla doğada yayılım göstermektedir (Kennish, 1991). Ağır metal kaynakları; antropojenik faaliyetler sonucu ortaya çıkan noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardır. Noktasal kaynaklar ağırlıklı olarak endüstriyel atık su, atık çamur ve metabolik atıklardan, su borularının korozyonundan ve tüketici ürünlerinden kaynaklanan metalleri içeren evsel atık sularından oluşmaktadır (Connell ve Miller, 1984). Noktasal olmayan kaynaklar ise, madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan yüzey akışlarını, otoyollardan ağır metal taşıyan kentsel yağışları ve atmosferdeki partikül madde birikintilerini kapsamaktadır (Connell ve Miller, 1984).

Havada, suda, yiyeceklerde veya toprakta bulunan ağır metaller insan vücuduna girdiğinde zamanla birikim göstermektedir (Sardar ve diğerleri, 2013). Ağır metallere yüksek seviyelerde ve uzun süre maruz kalmak veya bunların vücutta uzun süreli birikmesi, yaygın olarak görülen çeşitli sağlık etkilerine neden olmaktadır. Bu etkilerden başlıcaları; böbrek hasarı, sinir hasarı, anemi ve üreme sorunlarıdır (Järup, 2003). Çocuklar ve hamile kadınların, ağır metal maruziyetinin zararlı sonuçlarına karşı özellikle hassas olduğu belirtilmektedir (Graziano ve diğerleri, 1990). Halk sağlığının ve çevrenin korunmasını sağlamak için ağır metallerin çevreye salınımını en aza indirmek ve bu elementleri içeren ürünleri uygun şekilde bertaraf etmek çok önemlidir (Hu ve diğerleri, 2017). Doğal konsantrasyonlarda bile olsalar çevredeki ağır metal seviyelerini değerlendirmek için etkili izleme yöntemlerinin

uygulanması, kontaminasyonu azaltmak ve ağır metallerle ilişkili riskleri azaltmak için alınacak önlemlerdendir (Moore ve Ramamoorthy, 2012).

### **2.5.2. İçme Suyundaki Ağır Metallerin Etkileri**

Ağır metaller, çevrede doğal olarak bulunabilen, endüstriyel süreçler, madencilik, böcek ilacı ve gübre kullanımı gibi insan faaliyetleri yoluyla ortaya çıkabilen toksik elementlerdir (Sardar ve diğerleri, 2013). Ağır metallere maruz kalmanın böbrek hasarı, sinir hasarı, anemi ve üreme sorunları gibi ciddi sağlık sonuçları olduğu bilinmektedir (Pandey ve Madhuri, 2014). İçme suyu ile ağır metallere yüksek düzeyde veya uzun süre maruz kalmanın kanser ve diğer hastalık riskini artırdığı bildirilmiştir (Rehman ve diğerleri, 2018). İçme suyundaki ağır metal kontaminasyonunun etkileri, maruz kalma süresinin yanı sıra mevcut metalin türü ve seviyesine bağlı olarak değişmektedir (Ahmed ve diğerleri, 2022).

İçme suyundaki ağır metal kontaminasyonunun potansiyel sağlık etkileri olup halk sağlığını korumak için içme sularının ağır metallere arındırılmış olmasının gerekli olduğu belirtilmiştir (WHO, 2011). Bu nedenle WHO, USEPA ve Avrupa Birliği'nin hazırladığı su kalite standart ve kılavuz değerleri ile dünya genelinde ülkeler için tavsiye edilen değerler belirlemektedir (Bilotta ve Brazier, 2008). Bu nedenle su hizmetlerini gerçekleştiren kurumlar düzenli olarak ağır metaller açısından testler yapmakta ve gerekirse kontaminasyonu azaltmak için adımlar atmaktadır (Moore ve Ramamoorthy, 2012). Bununla birlikte, ağır metallerin su kaynağına, eski borular, hatalı arıtma sistemleri veya diğer kaynaklar yoluyla girebildiği belirtilmiştir (Baby ve diğerleri, 2010).

Çeşitli ülkelerde ağır metal kontaminasyonu sonucu ortaya çıkan toksik etkilerin çeşitli sağlık riskleri oluşturduğu ve buna bağlı ölüm vakalarının görüldüğü bildirilmiştir. Bangladeş'te yaklaşık 45 milyon insanın Dünya Sağlık Örgütü standartlarının izin verdiği seviyelerin üzerinde arsenik içeren su içtiği belirtilmiştir (Smith ve diğerleri, 2000; Frisbie ve diğerleri, 2002). Nisan 2014'te ABD'nin Michigan eyaletinin Flint şehrinde ekonomik maliyetleri düzeltmek için, su kaynağının Huron Gölü'nden Flint Nehri'ne aktarılmasına karar verilmiş, bu karar sonucu büyük bir su krizi ortaya çıkmıştır (Pieper ve diğerleri, 2018). Flint Nehri'ndeki su düzgün bir şekilde arıtılmadığı için, kurşun ve diğer kirleticiler şehrin eskiyen borularından su kaynağına sızmış ve bölge sakinlerine dağıtılan bu su, yaygın bir halk

sağlığı krizine neden olmuştur (Schweitzer ve Noblet, 2018). Bu su krizi Flint halkından 12 kişinin ölümüne ve 70'den fazla kişinin hastalanmasına neden olan Lejyoner hastalığı salgınını ortaya çıkarmıştır (Reilly, 2017). Bunun yanı sıra sularda, özellikle çocuklarda gelişimsel gecikmeler, öğrenme güçlükleri ve davranış sorunları gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olan yüksek kurşun seviyeleri tespit edilmiştir (Pieper ve diğerleri, 2018).

Ağır metal kontaminasyonunun neden olduğu bir başka içme suyu krizi, 2014 yılında ABD'nin Batı Virginia eyaletindeki bir kömür işleme tesisindeki kimyasal sızıntının 300.000 kişinin kullandığı ve içtiği su kaynağını kirletmesiyle meydana gelmiştir (Thomas ve diğerleri, 2016). Kömürü temizlemek için kullanılan MCHM kimyasalının yayılımı sonucu insanlarda toksik etki görülmüştür (Cooper, 2014). Bölge sakinlerine musluk suyunu içmemeleri, yemek pişirmek veya banyo yapmak için de kullanmamaları tavsiye edilmiştir (Cooper, 2014). Bu maddenin su kaynağına karışması halkta yaygın bir paniğe ve öfkeye yol açmıştır. Benzer şekilde Çin, Hindistan ve Peru dâhil olmak üzere diğer ülkelerde de içme sularında madencilik gibi endüstriyel faaliyetlerin ve böcek ilacı ya da gübre kullanımının neden olduğu ağır metal kirliliği vakaları bildirilmiştir (Chakrabarty ve Sarma, 2011; Zhaoyong ve diğerleri, 2015; Singh ve Kamal, 2017; Guittard ve diğerleri, 2017; Rahman ve Singh, 2018; Bolisetty ve diğerleri, 2021).

Hindistan'nın Jharkhand eyaleti de dâhil olmak üzere birçok yerinde su kıtlığına eşlik eden ağır metal kontaminasyonu ile karşı karşıya kaldığı bildirilmiştir (Singh ve diğerleri, 2018). Bu duruma, yeraltı suyunun aşırı kullanımının, sürdürülebilir su tedariki için alınan önlemlerin yetersiz oluşunun ve yoksulluk gibi çeşitli faktörlerin neden olduğu belirtilmiştir (Mahato ve diğerleri, 2014; Singh ve diğerleri, 2018).

Japonya'da yapılan bir araştırmada aşırı kirlilik yükü bulunan bölgelerden alınan gıda ve su örneklerinde kadmiyum değerlerinin WHO tarafından tavsiye edilen değerlerden yüksek olduğu tespit edilmiştir (Walakira ve Okot-Okumu, 2011). Yine Nijerya'nın Delta eyaletinde, yüzey ve yeraltı sularındaki kurşun seviyesinin WHO tarafından tavsiye edilenden çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Njoku ve diğerleri, 2016; Eyankware ve Ephraim, 2021). Bu bölgede kurşun seviyesinin 1,0-7,0 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir (Njoku ve diğerleri, 2016). Bu yüksek seviye, Delta eyaleti çevresindeki tarımsal kimyasal faaliyetlere, endüstriyel atıklara ve kentsel atıklara atfedilerek bu durumun yürütülen antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığı bildirilmiştir (Njoku ve diğerleri, 2016). Afrika

ülkelerinin çoğunda musluk ve kuyu suları üzerinde yapılan çalışmalarda da kurşun ve kadmiyum varlığı bildirilmiştir (Fisher ve diğerleri, 2021).

Kolo ve diğerleri (2009) tarafından yapılan çalışmada Kenya ve Nijerya sınırındaki içme sularının ağır metallere kirlenmiş olduğu bildirilmiştir. Araştırmada yarı kurak bir bölge olan Maiduguri’de musluk ve kuyu sularının analizinde kadmiyum düzeyinin WHO’nun tavsiye ettiği içme suyu limitinden daha yüksek olup 0,01-2,222 mg/L arasında değiştiği bildirilmiştir (Kolo ve diğerleri, 2009). Gichuki ve Gichumbi (2012) tarafından yapılan çalışmada ise Kenya’nın Kihara Bölgesinde kuyu suyundaki kadmiyum seviyesinin 0,04-0,06 mg/L arasında değiştiği saptanmıştır (Gichuki ve Gichumbi, 2012). Dünyanın belirli bölgelerindeki sularda tespit edilen ağır metaller, hükümetlerin ve diğer kuruluşların içme sularında ağır metal kirlenmesini önlemek için daha fazla çaba sarf etmeleri gerektiğini göstermektedir (Rashid ve diğerleri, 2023).

### **2.5.2.1. Arsenik**

Arsenik; yer kabuğunda yaygın olarak bulunan, 5.78 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip doğal yollarla oluşan bir metaloiddir (Duker ve diğerleri, 2005). Periyodik tabloda 4. periyodun 5A grubunda yer almaktadır. Arseniğin atom numarası 33, atom ağırlığı 74.92 ve erime noktası 817 °C’dir (LANL, 2001). Doğada arsenik konsantrasyonu çok düşük seviyelerdedir (Jomova ve diğerleri, 2011). Yarımetalik özellikte olan arsenik, genellikle oksitler veya sülfürler formunda; demir, sodyum, kalsiyum, bakır gibi elementlerle birlikte oluşturdukları tuzlar şeklinde bulunmaktadır (Singh ve diğerleri, 2007).

Endüstride; bakır, çinko ve kurşun gibi ağır metallerin eritilmesinde ve cam üretimi süreçlerinde genellikle ortama arsenik salınmaktadır. Bunun yanında, pestisit üretimi sırasında arsenik kullanılmakta ve arsin gazı açığa çıkmaktadır. Diğer arsenik kaynakları arasında boyalar, rodentisitler, fungusitler ve ahşap koruyucular yer almaktadır (Moore ve Ramamoorthy, 2012). Arsenik, karbon ve hidrojen ile bileşikler oluşturarak insanlarda ağır metal zehirlenmesine neden olmaktadır (Jomova ve diğerleri, 2011).

Arsenik, böbrek, merkezi sinir sistemi, sindirim sistemi ve cilt dâhil olmak üzere birçok organa zarar verme potansiyeline sahiptir. İntihar girişimlerinde veya çocukların kazara arsenik yutması durumlarında arsenik alımı, akut arsenik zehirlenmesi vakalarıyla

sonuçlanmaktadır (Jaishankar ve diğeri, 2014). Akut arsenik zehirlenmesi, solunuma bağı olarak boğaz ağrısı, yutulduktan sonraki bir saat içinde ise şiddetli karın ağrısı, kusma ve ishal gibi semptomlarla karakterize edilmektedir (Yuan ve diğeri, 2020). Bununla birlikte iştah kaybı, ateş, mukoza zarlarının tahrişi ve kalp ritminde düzensizlik de görülebilmektedir. Arsenik metaline kronik veya uzun süreli maruziyet, duyuşsal değişiklikler, uyuşma, karıncalanma ve kas rahatsızlığı dâhil olmak üzere merkezi ve periferik sinir sistemlerinde kademeli değişikliklere neden olmaktadır. Genellikle birkaç yıl içinde nöropati gelişmektedir (Rahman ve diğeri, 2001). Bunun yanında arsenik maruziyetinin etkileri, cildin anormal koyulaşması, avuç içi ve ayak tabanlarında hiperkeratoz ve tırnak yatağı boyunca görülen beyaz arsenik birikintileri şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca potansiyel doğum kusurları, karaciğer hasarı ve kanser gelişme riski bulunmaktadır (Vahter, 2008). USEPA'ya göre, arsenik için içme suyu limiti 0,05 ppm'dir (USEPA, 1996). WHO'ya göre yiyecek veya sudaki yaklaşık 60 ppm'lik bir inorganik arsenik seviyesinin ölümcül olduğu bildirilmiştir (WHO, 2003a).

#### **2.5.2.2. Bor**

Doğada  $_{10}\text{B}$  ve  $_{11}\text{B}$  izotopları şeklinde bulunan bor elementi sırasıyla %19.78 ve %80.22 oranlarında bulunmaktadır (Landi ve diğeri, 2012). Atom ağırlığı 10.811, yoğunluğu  $2.34 \text{ g/cm}^3$ , erime noktası  $2300 \text{ }^\circ\text{C}$  ve kaynama noktası  $2550 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (Yaykaşlı, 2020). Bor, oda sıcaklığında siyah monoklinik kristaller şeklinde bulunduğu gibi sarı ya da kahverengi şekilsiz bir toz halinde de bulunabilmektedir (Carpenter ve Kistler, 2006).

Bor, cam, seramik, yangın geciktiriciler, temizlik ürünleri, gübreler ve tekstil sınıfı cam elyaf üretimi gibi çeşitli endüstrilerde kullanılır (Carpenter ve Kistler, 2006). Bunun yanında odun yakma, cam üretimi, evsel ve endüstriyel boratların/perboratların salınımı gibi insan faaliyetleri borun doğadaki mevcudiyetini artırmaktadır (WHO, 1998).

Bor, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de stratejik öneme sahip toprak ve suların yapısında bulunan bir elementtir. Dünya rezervinin %72'lik kısmını Türkiye, %13'lük kısmını ise ABD oluşturmaktadır (Kar ve diğeri, 2006). Bu nedenle borun ABD ve Türkiye içme suyunda bulunması normaldir. Hatta ABD'de içme suyu yoluyla bor maruziyetini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmalarda yeraltı suyu rezervinin yaklaşık %81,9'unda

bor bileşikleri tespit edildiği ve bor içeren yeraltı suları nedeniyle bora maruz kalındığı bildirilmiştir (USEPA, 2014).

Su ve gıdalardaki yüksek bor seviyeleri hem insanların hem de hayvanların kardiyovasküler, sinir, sindirim ve üreme sistemleri üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır. (Farfán-Garcia ve diğerleri, 2016). Aşırı bor maruziyetinin normal fizyolojik süreçleri bozduğu ve olumsuz sağlık etkileri oluşturduğu belirtilmiştir. Bor, mide-bağırsak sistemini tahriş etmekte, etkilenen bireylerde mide bulantısı, kusma, karın ağrısı ve ishal gibi semptomlar görülmektedir. Ayrıca kardiyovasküler sistemi etkileyerek kalp ritminde, kan basıncında değişikliklere neden olmakta ve ciddi vakalarda kardiyovasküler çöküşe yol açmaktadır. Merkezi sinir sistemi de bor maruziyetinden olumsuz etkilenmekte baş ağrısı, baş dönmesi, konfüzyon ve aşırı durumlarda nöbet ve koma gibi semptomlar görülmektedir (Sevim ve Kara, 2022).

Bor, üreme işlevlerine müdahale etme potansiyeline sahip bir element olup doğurganlık ve fetal gelişim üzerinde de olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bor toksisitesinden etkilenen diğer bir organ böbreklerdir (Bakirdere ve diğerleri, 2010). Borun idrarla atılımının artması elektrolit dengesizliklerine yol açmaktadır (Wang ve diğerleri, 2020). Borun toksikolojik etkilerinin, maruz kalma seviyesi, maruziyet süresi ve bireysel duyarlılığa bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Pizent ve diğerleri, 2012).

WHO (2009), tolere edilebilir günlük alım değerini (TDI) 0,16 mg olarak bildirirken içme suyu için 0,5 mg/L'lik kılavuz değer belirlemiştir (WHO, 2009)

### **2.5.2.3. Kadmiyum**

Kadmiyum, yumuşak ve mavimsi beyaz bir görünüme sahip olan ve yer kabuğunda doğal halde bulunan bir metaldir. Oksijen, klor ve kükürt gibi elementlerle birleşerek oluşan mineral bileşiklerde yaygın olarak bulunmaktadır (NTP, 2021). Kadmiyum nemli havada parlaklığını kaybetmekte, nemli amonyak ve kükürt dioksit etkisiyle hızla aşınmaktadır (Schutte ve diğerleri, 2008).

Bazı elementlerin aksine, kadmiyum saf metalik formda doğal olarak oluşmamaktadır. Kadmiyum sülfid ve çinko sülfid cevheri üzerinde bir kaplama olarak bulunmaktadır. Özellikle çinkonun eritme işlemi sırasında bir yan ürün olarak üretilmektedir (Schutte ve diğerleri,

2008; Walakira, 2011). Kadmiyum, diğ er metallerin elektro kaplamasında ya da alaşımlarda eriyik bileşiklerin kaplama, kaynak ve lehimleme işlemlerinde kullanılmaktadır. (Schutte ve diğ erleri, 2008). Bunun yanı sıra matbaa, tekstil, televizyon fosforları, fotoğrafçılık, lazer, güneş pilleri, diğ amalgalmları ve insektisit gibi ürünlerin üretiminde de kadmiyumdan yararlanılmaktadır (Zito ve Zito, 2020). Kadmiyum bileşikleri ile kontamine olmuş gıda tüketilmesi ve su içilmesi kadmiyuma bağı ağır metal zehirlenmelerinin sebebidir (Ninomiya ve diğ erleri, 1997). Süperfosfatlı gübrelere bulunan kadmiyum gıda ve suya da geçebilmektedir, Kadmiyum maruziyetinin; kadmiyum içeren gıda ve suya temasların azaltılmasıyla, düşük kadmiyum bileşikleri içeren zirai kimyasalların kullanımıyla ve fabrika atıklarının uygun şekilde bertarafıyla azaltılacağı bildirilmiştir (Schutte ve diğ erleri, 2008).

Kadmiyuma kronik maruziyet sonucu kanser, diyabet, artrit sendromları, kalp hastalıkları, böbrek hastalıkları ve dejeneratif hastalıklar görülebilmektedir (Godt ve diğ erleri, 2006). Kadmiyumun çinkonun yerine metabolizmaya katılımının, akıl hastalığı, çocuklarda antisosyal davranış ve DEHB de dâhil olmak üzere birçok davranışsal ve ruhsal bozuklukla yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Kadmiyum dokuları sertleştirerek vücudu yaşlandırmaktadır (Godt ve diğ erleri, 2006). Kadmiyum toksisitesinin, düşük sperm sayısı, erkeklerde iktidarsızlık, kadınlarda doğurganlığın azalması, diğ il hormonlar için ihtiyaç duyulan minerallerin bazılarının değı şmesi ve üreme davranışına olan ilginin azalması ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Bunun yanında kadmiyum, manganez, selenyum vb. gibi minerallerin de yerini alarak enzimatik mekanizmanın bloke olmasına neden olmaktadır (Ninomiya ve diğ erleri, 1997).

Kadmiyum özellikle metalletiyonin üretiminin indüklendiğı karaciğ er ve böbrekte dağılım göstermektedir (Walakira, 2011). USEPA ve WHO tarafından içme suyunda izin verilen konsantrasyonu sırasıyla 0,01 mg/L ve 0,03 mg/L olarak belirlemiştir (WHO, 2004).

#### **2.5.2.4. Krom**

Krom, periyodik tabloda 4. periyot 6B grubunda d orbitali bölümünde yer alan, atom sayısı 24, atom ağırlığı 51.9961 g/mol olan esansiyel bir elementtir. Glukoz tolerans faktör (GTF) olarak da bilinen krom; karbonhidrat metabolizmasında etkin rol oynar. Kromun, insülin hormonu ile birlikte glukozun hücre içine girmesinde rolü vardır. Ayrıca, bağı şıklık sistemini güçlendirici etkileri vardır (Emek, 2019).

Krom, aynı zamanda korozyon direnci olan, yüzey kısmında krom oksit ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) olarak bilinen, oksidasyonu ve korozyonu önleyen koruyucu oksit tabakası bulunan bir ağır metaldir (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2003). Krom, doğada en yaygın olarak +2, +3 ve +6 değerlikte bulunmaktadır. Bunlardan +3 ve +6 en kararlı oksidasyon durumudur. Bu hali ile insanlar ve bitkiler için oldukça toksik bir elementtir (Mohanty ve diğerleri, 2012). Tüm Cr (VI) bileşikleri sentetik formlarda bulunmakta, toksik ve karsinogenik özellik göstermektedir. Krom elementi Dünya Kanser Araştırma Enstitüsü (AICR) tarafından grup I denilen kanserojenler sınıfında yer almaktadır. Krom vücudun tüm doku ve organlarında bulunabilmekle birlikte özellikle böbrek, karaciğer, dalak ve pankreasta daha fazla birirmektedir (Kroliczewska ve ark, 2004).

Krom; petrol ve kömür yakma işlemleri, ferrokrom refrakter malzemeler olarak petrol arıtma, pigment oksidasyonu, katalizör üretimi, krom çelik imalatı, gübre üretimi, petrol kuyusu açma ve metal kaplama gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Çevreye salınımı, kanalizasyon ve gübreler yoluyla gerçekleşmektedir (Ghani ve Ghani, 2011). Kromun endüstriyel ve tarımsal uygulamalarda yaygın olarak kullanılması, çevresel toksisite düzeylerinin artmasına neden olmaktadır (Zayed ve Terry, 2003).

Endüstriyel atıkların ve yeraltı suyu kirleticilerinin deşarjı, topraktaki krom konsantrasyonunu arttırmaktadır (Bielička ve diğerleri, 2005). Özellikle tabakhane işletmelerinin su akıntılarına çok sayıda krom ağır metalinin salındığı belirlenmiştir (Nath ve diğerleri, 2008). Kromat üretimi sırasında krom kalıntıları ve atık su ile yapılan sulamalar tarımda ciddi bir krom kirlilik yükü oluşturmaktadır (Strachan, 2010). Kromat, önemli bir alerjen maddedir. Cr (VI)'nın hava yoluyla vücuda alınması ile burun akıntıları ve kanamaları, kaşınma ve üst solunum yollarında delinmeler ve duyarlı bireylerde astım krizleri görülmektedir. Bu bileşikler ayrıca deride alerjik dermatite neden olabilmektedir. Solunumla alınan krom tozları, farenjit ve bronşite yol açmaktadır (Bakırcı, 2018).

USEPA'ya göre, içme suyunda izin verilen maksimum Cr (III) ve Cr (VI) seviyeleri 100  $\mu\text{g}/\text{L}$  olarak belirlenmiştir. Ulusal Araştırma Konseyi (NRC), 50 ile 200  $\mu\text{g}/\text{gün}$  arasında değişen günlük bir Cr (III) alımını önermektedir (De Flora ve diğerleri, 1990).



### 2.5.2.5. Kobalt

Kobalt; sağlam, gümüş grisi bir görünüme sahip metalik bir elementtir. Atom numarası 27 olan kobaltın radyoaktif izotopları olan  $^{57}\text{Co}$  ve  $^{60}\text{Co}$  formları ticari açıdan en önemlileridir. Tüm kobalt izotopları kimyasal olarak aynı şekilde davranmakta, çevrede ve metabolizmada benzer kimyasal etkiler göstermektedir (Dehaine ve diğerleri, 2021). Kobaltın,  $\text{Co}^0$ ,  $\text{Co}^{+2}$  ve  $\text{Co}^{+3}$  olmak üzere üç oksidasyon hali mevcuttur.  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+3}$ 'e göre daha kararlı yapıya sahiptir (Kim ve ark, 2006). İzotopların kütle numaraları farklı olduğundan radyoaktif izotopların yarı ömürleri ve yaydıkları radyasyonlar farklı özelliktedir. Doğal kaya ve kayalık yapılarında bitki ve hayvanlarda, gıdalarda ve suda düşük seviyelerde bulunmaktadır (Gal ve diğerleri, 2008). Kobaltın ayrıca göktaşlarında da bulunduğu bildirilmiştir (Wouters ve diğerleri, 2021).

Kobalt, farklı metallerle birleştiğinde ferromanyetik özellik göstermekte, bileşiğin sertliğini ve aşınma direncini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra kobalt düşük ısı ve elektrik iletkenliğine, yüksek erime noktasına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde endüstride farklı alanlarda kullanılabilir (Slack ve ark, 2017). Kobalt bileşikleri cam, seramik ve boyalarda renklendirici, katalizör ve boya kurutucu olarak kullanılmaktadır (Hawkins, 2001). Bunun yanı sıra kobaltın tarımsal ve tıbbi uygulamalarda esansiyel maddelerin desteklenmesi amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Hawkins, 2001).

Biyolojik öneme sahip kobalt bileşiği  $\text{B}_{12}$  vitamini olarak bilinen siyanokobalamindir.  $\text{B}_{12}$  vitamini, hayvanlarda ve insanlarda metabolizmada oynadığı önemli rollerden dolayı sağlık için elzem bir vitamindir (Gonzalez-Montana ve diğerleri, 2020).

Kobaltın radyoaktif izotopları olan  $^{58}\text{Co}$  ve  $^{60}\text{Co}$ , radyoaktif atıkların depolandığı bölgelerde bulunmakta ve nükleer kazalar (Çernobil Kazası vb.) sonucu alıcı ortamdaki kontrasyonları artmaktadır (Dawoud ve diğerleri, 2021). Suyu salınan kobalt, sudaki partiküllere ve suyun dibindeki tortuya yapışmakta veya suda iyonik formda kalmaktadır. Bu durum, bitkilerde ve bitkilerle beslenen hayvanlarda kobalt birikimine neden olmaktadır (Gal ve diğerleri, 2008).

Kobalt, çevrede ve içme sularında az miktarda bulunan bir elementtir. Küçük miktarlarda alınması insan sağlığı için gerekli iken, içme sularında yüksek oranda bulunmasının zararlı etkileri olabilmektedir. Yüksek kobalt seviyelerine maruziyet mide

bulantısı, kusma, ishal ve mide ağrısı gibi belirtilere neden olmaktadır. Yüksek düzeyde kobalta uzun süre maruz kalındığında ise kalp, karaciğer ve böbreklerde hasar oluşmakta ve kanser riski artmaktadır (Sankhla ve diğerleri, 2016).

Yüzey ve yeraltı sularındaki kobalt konsantrasyonunun, yerleşim alanlarında dağıtımına sunulan sularda 1-10 µg/L arasında olduğu belirtilmektedir (Odobasic ve diğerleri, 2012). Ancak madencilik veya maden işleme yapılan bölgelerde sudaki kobalt konsantrasyonları çok yüksek olabilmektedir (Sheikh, 2016). WHO tarafından günlük diyetlerde ortalama 11 mg kobalt tüketiminin uygun olduğu belirtilmiştir (Sheikh, 2016).

#### **2.5.2.6. Bakır**

Bakır, atom numarası 29 ve atom ağırlığı 63.546 g/mol olan bir elementtir. Metalik bir element olan bakır, yumuşak bir yapıya sahiptir ve kolayca dövülüp işlenebilmektedir. Bakırın erime noktası 1083 °C, yoğunluğu ise 8.96 gr/cm<sup>3</sup>tür. Bakır metali karakteristik olarak kırmızımsı-turuncu renk sergilemekte olup parlak metalik görünüme sahiptir. Hem ısıyı hem de elektriği iyi iletmektedir. Bakır, doğada serbest halde bulunmakla birlikte sülfürler, arsenikler, klorürler ve karbonatlarla bileşik oluşturarak yeryüzünde yaygın bir dağılım göstermektedir (Roque ve diğerleri, 2006). Kalkopirit, kuprit ve malakit gibi cevher minerallerinde bulunan bakır, çevrede Cu, Cu<sup>+</sup> ve Cu<sup>+2</sup> katyonları olmak üzere üç ana değerlik durumunda bulunmaktadır (WHO, 2004).

Bakır elementi yüksek termal ve elektriksel iletkenliği, düşük korozyon oranı, iyi alaşım oluşturma kabiliyeti ve kolay dövülme gibi özellikleri sayesinde endüstride sıkça kullanılan bir metaldir (Beşe, 2017). Bakır, sıcak ve soğuk su boruları, elektrik telleri, hortumlar, nozullar, vanalar, bağlantı parçaları, madeni paralar, pişirme kapları ve inşaat malzemeleri yapımı için endüstride tercih edilen bir elementtir. Çok yönlü özellikleri nedeniyle birçok ticari kullanımı mevcuttur (WHO, 2004). Cephanelerde, pirinç ve bronz alaşımlarında, bakır kaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır bileşikleri fungusitler, algisitler gibi böcek ilacı ve ahşap koruyucularda, galvanik kaplama yapımında, boya üretimi, gravür, litografi, petrol arıtma ve piro teknikte kullanılmaktadır (Monser ve Adhoum, 2002).

Suya salınımı, toprağın ayrışması, endüstriyel deşarj, kanalizasyon bertarafı ve zehirli boyalardan kaynaklanmaktadır (Moore ve Ramamoorthy, 2012). Bakır, asitler ve bazlar tarafından tahrip edilerek korozyona uğraması sonucu yiyeceklere ve içme sularına geçmektedir (Duruibe ve diğerleri, 2007). Bakır, içme suyu dağıtımı sırasında büyük ölçüde artan konsantrasyonlara sahip olabilmektedir. İçme suyu boruları ve sıhhi tesisatlardaki korozyonlar sonucu musluk sularındaki konsantrasyonu artmaktadır (McFarland ve diğerleri, 2008). Bakırın suya geçişinin, suyun asitliği ve sıcaklığı arttığında, sertlik düzeyi ise azaldığında arttığı bildirilmiştir (Edwards ve diğerleri, 1994). Gazlı içecek makinelerinin valfleri bakır alaşımları ile yapıldığından karbonik asidin aşındırıcı etkileri bakır iyonlarının içeceklerde artmasına neden olmaktadır (McFarland ve diğerleri, 2008).

Bakır, bitkiler ve hayvanlar için gerekli bir element olup mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanamamaktadır. İnsanlarda vücut kütle başına yaklaşık 1,4 ila 2,1 mg bakır bulunduğu bildirilmektedir (Duruibe ve diğerleri, 2007). Bakır, vücut fonksiyonları için hayati bir rol oynamaktadır. Özellikle saç, derinin esnek kısımları, kemikler ve bazı iç organların temel yapı taşıdır. Bakır, amino asitler, yağ asitleri ve vitaminlerin normal metabolik reaksiyonlarda rol almaktadır. Birçok enzim ve proteinin yapısında yer alarak demirin işlevlerini etkinleştirme görevi üstlenmektedir. Bakır eksikliği durumunda anormallikler, kemik bozuklukları ve sinir sistemi sorunları gözlemlenmektedir (Linder ve Hazegh-Azam, 1996). Yüksek düzeyde bakır maruziyeti anemi, karaciğer ve böbrek fonksiyon bozukluklarına ve zekâ geriliğine neden olmaktadır (Emelina, 2011). Bakırın aşırı emilimi ve depolanması uzun vadede Wilson hastalığı ile sonuçlanmaktadır (Emelina, 2011). Gün içinde alınmasına izin verilen bakır konsantrasyonu kadınlarda 12 mg/gün iken, erkeklerde 10 mg/gün, 6-10 yaş grubu çocuklarda ise 3 mg/gün'dür (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2004).

Endüstriyel alanlara yakın denizlerdeki sularda bakır konsantrasyonu 0.15 µg/L, tatlı suda ise 1-20 µg/L'dir. WHO tarafından açıklanan kılavuz değerlere göre bakırın içme sularındaki maksimum konsantrasyonu 2 mg/L olup USEPA'ya göre ise 1,3 mg/L'dir (USEPA, 1996; WHO, 2011)

### 2.5.2.7. Çinko

Periyodik tabloda 4. periyot 2B grubunda bulunan, atom sayısı 30, atom ağırlığı 65,37 g/mol olan çinko mavimsi beyaz renkte parlak bir metal olup doğada amfoterik halde bulunmaktadır (Fosmire, 1990; Lew, 2008). Sfalerit ve wurzit gibi sülfitler çinkonun doğal ana kaynağıdır. Doğada toprakların çinko içeriğinin 1-300 mg/kg arasında olduğu tahmin edilmektedir (Dudka ve diğerleri, 1996).

Çinko metali endüstriyel olarak korozyona dayanıklı alaşımlar oluşturmada, pirinç üretiminde, elik ve demir ürünlerin galvanizlenmesinde kullanılmaktadır (Elinder, 1986). Endüstriyel uygulamalarda çinko kullanımı sırasında işçilerin çinko dumanına maruziyeti nedeniyle akut toksik etkilerin ortaya çıktığı; pulmoner distres, ateş, titreme ve gastroenterit gibi semptomların görüldüğu bildirilmiştir (Widjajakusuma ve diğerleri, 2008).

Musluk yapısındaki boru ve bağlantı parçaları nedeniyle çinkonun suya sızdığı ve sudaki çinko konsantrasyonlarını artırdığı bildirilmiştir (Rossum, 1983). Çinko, suda 4 mg/L seviyesine ulaştığında suya hoş olmayan bir tat bırakmaktadır (Tan ve Mai, 2001). 3-5 mg/L aralığında ise su yüzeyinde yanardöner görünme eğilimindedir. Bu su kaynatıldığında yüzeyde yağlı bir film tabakası oluşmaktadır (Güler ve obanoğlu, 1997).

Çinko, bitkilerde ve hayvanlarda önemli fizyolojik etkilere sahip olan bir elementtir. İnsan beslenmesinde ise önemli bir mikro besin öğesidir ve vücut için esansiyel bir element olarak kabul edilmektedir. Vücutta 300'den fazla enzimin işlevini yerine getirmesinde rol oynamaktadır. Çinko alımının yetersiz veya eksik olması durumunda, fiziksel büyüme geriliği, cinsel organ gelişiminde sorunlar, bağışıklık sistemi zayıflığı, yaraların yavaş iyileşmesi, tat ve koku duyusunda bozukluklar gibi çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır (Akdeniz ve diğerleri, 2016). Ařırđı inko alımı nedeniyle bakır eksikliği görülmektedir (Willis ve diğerleri, 2005). Gıda hazırlamada galvanizli çinko kapların kullanımı çinko zehirlenmelerine neden olmaktadır (Taylor, 2013). Galvanizli kaplarda saklanan asitli içeceklerin içilmesinin ardından toplu zehirlenme olarak ortaya çıktığı, alımdan 3-12 saat sonra ateş, mide bulantısı, kusma, mide krampları ve ishal meydana geldiği bildirilmiştir (Alengebawy ve diğerleri, 2021).

WHO ve USEPA tarafından açıklanan kılavuz değerlere göre çinkonun içme sularındaki maksimum konsantrasyonu 5 mg/L olarak belirtilmiştir (USEPA, 1996; WHO, 2011)

### **2.5.2.8. Kurşun**

Atom numarası 82, atom ağırlığı 207.19 g/mol olan kurşun, yerkabuğundaki ağır elementler arasında en yaygın bulunanıdır. Mavimsi gri renkte olup metalik bir parlaklığa sahiptir (Mishra ve diğerleri, 2019). Erime noktası 327,5 °C kaynama noktası 1740 °C'dir. Kurşunun <sup>208</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb ve <sup>204</sup>Pb olmak üzere 4 izotopu vardır (LANL, 2001).

Kurşun kaynakları olarak çoğunlukla endüstriyel işlemler, gıdalar, sigara, içme suyu ve evsel kaynaklar gösterilmektedir. Kurşun metalinin mermilerden tesisat borularının yapısına, kalaylı sürahilerden akülere, oyuncaklardan musluklara kadar geniş kullanım alanı bulunmakta, hatta benzin ve boyaların içeriğinde de yer almaktadır (Thurmer ve diğerleri, 2002). Kurşun, akümülatörlerde, lehimlerde, mühimmatta, X-ışınlarından ve radyasyondan korunmak için koruyucu sistemlerde ve kaplama tanklarında kullanılmaktadır. Kurşun kullanılan ürünler nedeniyle çevredeki kurşun kontrasyonlarının da arttığı görülmektedir (Tatar, 2014).

Kurşun, dünyanın birçok yerinde çevre kirliliği ve tıbbi soruna yol açan, insan sağlığına zarar veren bir metaldir (Mishra ve diğerleri, 2019). İçme suyu sağlamak amacıyla suyun kaynaklarından elde edilmesi ve suyun taşıma ekipmanlarında kullanılan boyalar, talaşlar, kuyu pompaları nedeniyle kuyu sularının ve içme sularının kurşun kontrasyonunun arttığı, hatta kuyu sularının kirlendiği belirtilmiştir (Krueger ve Wade, 2016).

Sağlık Ölçümleri ve Değerlendirme Enstitüsü (IHME) kurşun maruziyetinin vücut sistemlerinin birçoğunu etkileyen toksik madde olarak nitelendirmiş ve 540.000 ölümün maruziyet sonucu oluştuğunu belirtmiştir (IHME, 2016). Kurşunun vücutta bilinen bir işlevi bulunmazken vücutta çok fazla toksik yan etkisi bulunmaktadır. Kurşunun metabolik işlevi sırasında içerdiği sülfidril grubu nedeniyle porfobilinojen (PBG) sentaz ve ferrozelataz gibi enzimlerin sentezinde inhibe edici bir etkiye sahiptir ve hemoglobin sentezinin gerçekleşmesini engellemektedir. Eritrositlerde protoporfirin birikimi, kurşun maruziyetinin temel belirtecidir. Kurşun endokrin bozucu bir ajan olarak işlev görerek vücutta hormonların

sentezini ve salgılanmasını engellemektedir (Goering, 1993; Özkan ve diğerleri, 2018). Hemo-biyosentetik yolu inhibe ederek hematolojik etkiler oluşturmaktadır. Moleküler seviyede kalsiyum ile rekabet etmektedir (ATSDR, 2020). Çocukların kanında 10 µg/dl'den yüksek seviyede toksik etkilerin görülebileceği belirtilmiştir. Erişkin bireylerde ise kan düzeylerinde 80 µg/dl'ye kadar toksik etkiler görülmemektedir. Ancak 45 µg/dl kurşun düzeyine sahip olan çocuklarda genellikle tıbbi tedavinin gerekli olduğu belirtilmiştir (Gould, 2009). 30 µg/dl düzeyinin ise çocuklarda zekâ geriliğine, bilişsel ve davranışsal sorunlara neden olabileceği bildirilmiştir (ATSDR, 2020). Kronik kurşun maruziyeti ise metabolik bozukluğun ardından kemikte mineralleşmeye neden olmaktadır (Pemmer ve diğerleri, 2013). Sinir sistemi, sindirim sistemi ve üreme sistemi organları kurşuna hassasiyet göstermektedir. Çünkü kurşun, vücutta beyin, karaciğer, böbrekler ve kemikler dâhil olmak üzere birçok organda dağılım göstermektedir (WHO, 2022b). Ayrıca, karsinogenezde bir kofaktör olarak işlev görmektedir (NTP, 2012).

Günlük 2,5 mg kurşun alımı 4 yıl sonra toksik seviyeye ulaşırken, günde 3,5 mg alım ise sadece birkaç ay içinde benzer seviyelere yol açmaktadır (Lewis ve diğerleri, 2011). WHO, içme suyu için izin verilen maksimum seviyenin 0,01 mg/L, USEPA ise 0.015 mg/L olduğunu belirtmiştir (USEPA, 1996; WHO, 2004).

### **2.5.2.9. Demir**

Atom numarası 26 olan demir elementi yer kabuğunun %5'ini oluşturmakta ve toprakta çok bol bulunmaktadır. Demirin erime noktası 1535 °C ve 25° C'de özgül ağırlığı 7,86'dır (WHO, 1996). Element şeklinde demire, doğada nadiren rastlanmaktadır. Demirin oksidasyon durumları olan Fe<sup>+2</sup> ve Fe<sup>+3</sup> oksijen ve kükürt içeren bileşiklerle kolayca etkileşime girerek hidroksitleri, karbonatları, sülfürleri oluşturmaktadır. Doğada sıklıkla bu bileşikler şeklinde görülmektedir (Knepper, 1981).

Doğada çokça bulunan ve kolay elde edilebilen bir element olan demirin ekonomik değeri düşüktür. Ancak dayanıklı yapısı nedeniyle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe ve otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik, çimento ve diğer alaşımların imalatında temel hammaddedir. Demirin bu endüstriler için kullanım sıklığı atmosferdeki demir oranının kent dışı alanlarda yaklaşık 50-90 µg/m<sup>3</sup> olmasına, kentsel bölgelerde ise

yaklaşık 1,3 µg/m<sup>3</sup> seviyelerine çıkmasına neden olmuştur. Hatta demir ve çelik üretim tesislerinin çevresindeki hava ölçümlerinde 12 µg/m<sup>3</sup>'e kadar demir kontrasyonu tespit edilmiştir (AOLS, 1979). Nehirlerin demir konsantrasyonu ortalama 0,7 mg/L olarak belirtilmekle birlikte içme suyundaki demir konsantrasyonları 0,3 mg/L'den daha azdır. Ancak su arıtma tesislerinde çökeltme ajanı olarak çeşitli demir tuzlarının kullanılmasından dolayı ve su iletimi için kullanılan boruların çelik, dökme ya da galvanizli demirden yapılmış olması içme suyundaki demir oranını artırmaktadır (WHO, 1996).

Demir, tüm canlı organizmaların temel bileşenidir. Demir elementi hemoglobin, miyoglobin, sitokrom, akonitaz, fumarat redüktaz gibi metabolizma için gerekli birçok protein ve enzimin yapısına katılmaktadır (Nagajoti ve diğerleri, 2010). Özellikle 50 yaş üstü bireyler için, yeterli demir alımı Alzheimer hastalığı, ateroskleroz ve diğer yaşa bağlı hastalıkların önlenmesi için oldukça önemlidir (Pavlovskaya ve diğerleri, 2015).

Demir, besinler ve su aracılığıyla vücuda alınmaktadır (ASH, 2018). Elektron alıp verme özelliği nedeniyle metabolizmada oksijen taşınması, enerji üretimi, DNA, RNA ve protein sentezinde görev almaktadır. Birçok enzimin yapısına katılarak hücre fonksiyonlarının gerçekleşmesinde rol oynamaktadır (Uysal, 2007). Demir, çeşitli hücre fonksiyonları için gerekli olduğundan demir homeostazisini korumak için demirin alımı, taşınması, depolanması ve kullanımı arasında sabit bir dengenin bulunması gerekmektedir (Nadadur ve diğerleri, 2008). İnsanların epitelyal yüzeylerden günlük 2 mg demir attığı belirtilmiştir. Bu kayıp bağırsak emilimi ile dengelenmektedir (ASH, 2018). İnsanda büyüme ve gelişme çağı olan bebeklik ve çocukluk dönemlerinde demir ihtiyacı artmaktadır (Conrad ve Umbreit, 2002).

İçme suları ve diğer birçok kaynaktan gerekenden fazla demir alımı ise dünyada ciddi bir sorun haline gelmiştir. Aşırı demir alımı, kanser riskini artırdığı için özellikle et tüketiminin yüksek olduğu gelişmiş ülkelerde önemli bir sorun yaratmaktadır (Jaishankar ve diğerleri, 2014). Demirin toksik etkileri arasında depresyon, koma ve kasılmalar bulunmaktadır (WHO, 1996).

Demir kontrasyonun yüksek olan sularda hoş olmayan koku, tad ve kırmızımsı kahverengi renk oluşumu görülmektedir. Bunun yanı sıra demir kontrasyonu yüksek olduğunda borularda birikim yaparak tortu oluşumuyla suyun akışını azaltmakta ya da kısıtlamaktadır (Johnson ve Hallberg, 2005). WHO ve USEPA, içme suyu için izin verilen maksimum seviyenin 200 mg/L olduğunu belirtmiştir (USEPA, 1996; WHO, 2004).

### 2.5.2.10. Molibden

Molibden, atom numarası 42, atom ağırlığı 95.95, yoğunluğu 10.2 olan metalik, gümüş beyazı renkte bir elementtir (Gupta, 2017). Çeşitli kimyasal bileşiklerde molibdenin oksidasyon durumları (-2), (-1), 0, (+1), (+2), (+3), (+4), (+5) ve (+6) olmakla birlikte en yaygın oksidasyon durumu (+4) ve (+6) dır (Lide, 2004).

Molibden, çelikle bir araya geldiğinde ortaya çıkan kuvvetli karbür oluşturma yeteneği nedeniyle önemli bir metaldir (Hwang ve diğerleri, 1998). Özel çeliklerin imalatında, elektrik kontaklarında, bujilerde, X-ışını tüplerinde, filamanlarda, radyo valfleri için ekranlarda, ızgaralarda ve tungsten, camdan metale contalar, demir dışı alaşımlar ve pigmentlerde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra molibden bileşikleri, bitki yetiştiriciliğinde gübrelerin içeriğinde ve tohumların işlenmesi sırasında tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır (Weast, 1986).

İnsanlar için molibdenin gerekli bir mineral olduğu düşünülmektedir. Ancak yüksek miktarda molibdene maruz kalmanın çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır (Tallkvist ve Oskarsson, 2015). Molibdenin etkileri genellikle işyerlerindeki yüksek maruziyet durumunda ortaya çıkmaktadır. Solunabilir molibden bileşiklerine uzun süre maruz kalmak, solunum yollarının tahrişine ve solunum sıkıntısına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra deri teması halinde tahrişe ve alerjik reaksiyonlara yol açmaktadır (Feary ve Cullinan, 2019). Molibdenin genotoksik veya kanserojen etkileri hakkında sınırlı bilgi bulunmakla birlikte hayvanlar üzerinde yapılan bazı çalışmalar, yüksek dozlardaki molibden bileşiklerinin kanserle ilişkili olabileceğini göstermiştir (Chan ve diğerleri, 1998; NTP, 1997). Ancak, insanlar üzerinde yapılan araştırmaların sonuçları tutarsız olup kanserojenik etkileri konusunda kesin bir bilgi elde edilememiştir (NTP, 1997).

WHO, içme suyu için izin verilen maksimum seviyenin 70 µg/L, Avustralya İçme Suyu Rehberi ise 50 µg/L olduğunu belirtmiştir (WHO, 2011; NHMRC, 2014).



### 2.5.2.11. Nikel

Nikel, atom numarası 28 olan, periyodik tablonun dördüncü periyodunda ve 8B grubu d orbitali bölümünde yer alan metalik bir elementtir. Nikel'in  $Ni^{+1}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Ni^{+3}$  ve  $Ni^{+4}$  olmak üzere dört oksidasyon durumu bulunmakta olup en yaygın şekli  $Ni^{+2}$  dir. Nikelin erime noktası 1455 °C olup ısı ve elektrik iletkenliği zayıftır. Elektrik alanında sıklıkla kullanılmasının temel nedeni yüksek rezistivite özelliğidir (Caner, 1970). Parlak, beyaz görünümüne, sert yapıda ve ferromanyetik özellikler sergileyen bir metal olup saf nikel diğer metallerle birleştiğinde alaşımlar oluşturmaktadır (ATSDR, 2005; WHO, 2021).

Nikel çelik alaşımlarına dayanıklılık, korozyon direnci ve ısıya dayanıklılık gibi özellikler sağladığından paslanmaz çelik endüstrisindeki kullanımı yaygındır. Bunun yanında; kimyasal işlemlerde hidrojenasyon reaksiyonlarında, katalizör olarak kimya endüstrisinde, nikel pil sistemlerinde ve taşınabilir elektronik cihazlarda, nikel-kadmiyum pillerde, transformatörlerde, havacılık ve uzay endüstrisinde, yüksek sıcaklık ve termal işlem uygulamalarında ve beyaz altın alaşımlarında kullanılmaktadır (Davis, 2000; Maurya ve diğerleri, 2021).

İnsanların, çevre yoluyla yüksek oranda çözünür nikel bileşiklerine oral olarak maruz kalma olasılığının çok düşük olduğu görülmektedir. Nikel hem esansiyel bir element hem de toksik bir maddedir (Zambelli ve Ciurli, 2013). İnsanlar su veya yiyecek yoluyla nadiren yüksek düzeyde nikel maruz kaldıkları için nikelin olumsuz etkileri hakkındaki bilgilerin çoğu hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Araştırmalar, yiyecek ve içeceklerde oldukça yüksek nikel seviyelerine maruz kalmanın köpeklerde ve farelerde akciğer hastalığına neden olacağını göstermiştir. Bununla birlikte özellikle farelerde midede, kanda, karaciğerde, böbreklerde ve bağışıklık sisteminde etkileri olduğu da rapor edilmiştir (ATSDR, 2005).

İçme suyundaki ana nikel kaynağı, su ile temas eden boru ve bağlantı parçalarından çıkan metal iyonlarıdır. Bunun yanı sıra, bazı yeraltı suları, nikel cevheri yataklarına sahip kayalardan kaynaklanan çözünmüş nikel içermektedir (WHO, 2021). Nikel suda, toprakta ve yiyeceklerde az miktarda bulunmakta olup, içme suyundaki düşük nikel seviyeleri genellikle endişe verici olmamaktadır. Yüksek nikel seviyelerinin ise sağlık üzerinde olumsuz etkileri

bulunmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), potansiyel sağlık sorunlarını önlemek için içme suyunda maksimum nikel seviyesini 0,2 mg/L olarak önermiştir (WHO, 2021).

### 2.5.2.12. Mangan

Mangan (Mn), atom numarası 25, atom ağırlığı 54,93 g/mol olan pembemsi gri renkte, kimyasal olarak aktif bir elementtir. Erime noktası 1246 °C, kaynama noktası 2150 °C ve yoğunluğu 7,43 g/cm<sup>3</sup>tür (De Vos ve ark, 2006). Sert ve kırılğan bir metal olan mangan kayalarda, toprakta, göllerin ve okyanusların yataklarında yaygın olarak dağılmış olup en yaygın olarak tuzlarda ve mineral komplekslerinde bulunur. Çoğunlukla dioksit, karbonat veya silikat formundadır (WHO, 2004b). En önemli mangan cevheri piruzittir. Diğer bir mangan kaynağı ise demir cevherleridir (Dill, 2010).

Mangan doğal olarak nehirlerde, göllerde ve belirli yeraltı su kaynaklarında bulunur. Ayrıca tarımda inorganik gübrelerin uygulanması, endüstriyel işlemler ve fosil yakıtların yakılması gibi insan faaliyetleri yoluyla çevreye dağılım göstermektedir (Mohaihs ve diğerleri, 2004). Mangan, demir ve çelik üretiminde kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarında da geniş kullanım alanı bulmakta olup mangan oksit, camdaki rengi ortadan kaldırmak ve mor tonlu cam oluşturmak için bir katalizör görevi görmektedir (Jumbe ve Nandini, 2009; Emelina, 2011).

Mangan bileşiklerinin, nikel ve bakır gibi yaygın olarak bulunan diğer metallere göre daha az toksik olduğu bildirilmiştir (Heather, 2008). Yüksek seviyelerdeki mangan maruziyeti kronik karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Mangan vücuttan esas olarak safra yoluyla atıldığı için bozulmuş karaciğer fonksiyonları mangan atılımının azalmasına neden olmaktadır. Sirozlu veya karaciğer yetmezliği olan kişilerde mangan birikimi nörolojik sorunlara, Parkinson hastalığına, akciğer embolisine ve bronşite sebep olmaktadır. Uzun süre mangana maruz kalındığında iktidarsızlık görülmektedir. Manganın temel olarak neden olduğu rahatsızlıklar ise şizofreni, donukluk, kas zayıflığı, baş ağrısı ve uykusuzluktur (Emelina, 2011). Mangan toksisitesinin başlıca hasar bölgesi merkezi sinir sistemidir. Yüksek oranda mangana maruz kalmak bitkinlik, uyku hali, zayıflık, duygusal rahatsızlıklar, spastik yürüyüş, tekrarlayan bacak sendromları ve felç gibi semptomlara neden olmaktadır (Emelina, 2011).

İçme suyundaki yüksek mangan seviyesi, tesisat armatürlerinde korozyona, dağıtıcı ekipmanlarda mikrobiyal birikime ve içeceklerde istenmeyen bir tada neden olmaktadır. Manganın fazlaca alınımı diyetle alınan demirin emilimini azaltmaktadır. Manganın yüksek seviyelerine uzun süreli maruz kalma durumunda demir eksikliği ve anemi görülmekte, ayrıca bakır metaloenziminin aktivitesini bozucu etkiler oluşmaktadır. İçme suyu içeriğindeki yüksek mangan konsantrasyonu çocuklarda zekâ geriliğine, psikiyatrik hastalıklara, hafıza bozukluklarına ve iştah kayıplarına neden olmaktadır (Bouchard ve diğerleri, 2011).

### **2.5.2.13. Baryum**

Baryum, atom numarası 56, atom ağırlığı 137.32 ve yoğunluğu 3.51 g/cm<sup>3</sup> olan bir elementtir. Baryumun erime noktası 727 °C, kaynama noktası ise 1897 °C'dir (Wei ve Algeo, 2020). 2A grubu toprak alkali elementi olan baryum, gümüş beyaz renkte olup havayla temasında gümüş sarısına dönen bir görünümde (USEPA, 2005). Doğada elemental formu bulunmamakta, diğer elementlerle bileşikler halinde görülmektedir. Cevher yataklarında bulunan başlıca formları barit (baryum sülfat) ve viterit (baryum karbonat)'tir. Baryum bileşikleri magmatik ve tortul kayalarda da bulunmaktadır (USEPA, 2005).

Baryumun endüstride kullanılan türü olan baryum sülfat cevherleriyle birlikte çıkarılmakta ve işlenmektedir. Baryum sülfat bileşiği boya, tuğla, fayans, cam, kauçuk ve diğer baryum sülfat içerikli bileşiklerinin üretiminde kullanılmaktadır. Baryum karbonat, baryum klorür ve baryum hidroksit gibi bazı baryum bileşikleri ise seramik, böcek ve fare zehirleri, yağlar ve yakıtlar için katkı maddeleri olarak kullanılmaktadır. Kazan suyu arıtımında, baryum greslerinin üretiminde, sızdırmazlık maddelerinde, kâğıt imalatında ve şeker arıtmada bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, baryum petrol ve gaz endüstrisinde, sondaj uçlarını yağlı tutarak kaya delme işlemini kolaylaştırmak için kullanılan bir maddedir (Brooks, 1986). Hayvansal ve bitkisel yağ rafinasyonunda ve kireç taşından yapılmış nesnelere bozulmaya karşı korumak için de kullanılmaktadır. Tıbbi tedavi amaçlı olarak mide ve bağırsakların röntgen fotoğraflarını çekmek için de baryum sülfattan yararlanılmaktadır (USEPA, 2005).

Suda bulunan baryum büyük ölçüde doğal kaynaklardan köken alırken, endüstriyel emisyonlar ve insan kaynaklı kullanımlar sonucunda çevreye salınmaktadır. Çözünebilen

baryum bileşikleri olan baryum nitrat ve baryum klorür gibi maddelerin, çevrede yayılımı su ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Aziz ve diğerleri, 2017). Baryum birleşikleri suya bırakıldığında, askıdaki katı maddelere ve tortuya adsorbe olmaktadır. Azalan pH seviyeleri baryum bileşiklerinin çözünürlüğünü artırır (Aziz ve diğerleri, 2017). Sülfat veya karbonat içeriği yüksek sularda baryum bileşikleri sudaki sülfatlar ve karbonatlarla tepkimeye girerek baryum sülfat ve baryum karbonat tuzlarını oluşturmaktadır (Bourgeois, 2015)

Doğal birikintilerin yıkanması ve erozyon sonucu yeraltı su kaynaklarının baryum ile kirlendiği görülmektedir (ATSDR, 2007). Kanada’da yapılan araştırmada dağıtım sistemlerindeki içme sularında yüksek baryum konsantrasyonları tespit edilmiştir (Subramanian ve Meranger, 1984). İsveç’teki belediyelerin tüm su kaynaklarında, İtalya’da 39 arıtılmış içme suyu kaynağında ve 60 farklı şişelenmiş su markasında yüksek baryum varlığı belirlenmiştir (Bostrom ve Wester, 1967; ATSDR, 2007). ABD’de yapılan bir çalışmada ise Illinois eyaletinde bazı içme su numunelerinde baryum düzeyinin yüksek olduğu ve bu durumun ölüm oranları ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Brenniman ve diğerleri, 1979).

Gıda, su ve hava ile günlük ortalama baryum maruziyetinin yaklaşık 0,7 ila 1,9 mg/gün arasında olduğu tahmin edilmekle birlikte yüksek seviyelerde baryum içeren suların, baryum alımını önemli ölçüde etkileyeceği belirtilmiştir (WHO, 2016). Yüksek düzeyde baryum maruziyeti sindirim sisteminde ishal, mide bulantısı, kusma ve karın ağrısı rahatsızlıklarına; kardivasküler sistemde kalp ritim bozukluklarına ve düşük kan basıncına sebep olur. Ayrıca kemik ve kaslarda zayıflamaya ve spazmların oluşmasına; ayrıca baş ağrısı, uykusuzluk ve asabiyete neden olduğu bildirilmiştir (Martin ve Griswold, 2009; Oskarsson, 2022).

#### **2.5.2.14. Sodyum**

Sodyum, atom numarası 11, atom ağırlığı 22.99, yoğunluğu 0.96 g/cm<sup>3</sup> olan, periyodik tablonun 1-A grubunda yer alan gümüş beyazı renkte bir elementtir (WHO, 2003b). Yumuşak ve kaygan bir metal olup alkali metaller grubunda bulunur. Doğal bileşiklerin içinde özellikle NaCl olarak bol miktarda bulunmaktadır (Çolak, 2014). Sodyum iyon şeklinde suyun bulunduğu her yerdedir. Çoğu su kaynağı genellikle 20 mg/L’den daha az sodyum

içermektedir, ancak bazı ülkelerde bu seviyeler 250 mg/L'yi aşmaktadır. Maden birikintileri, deniz suyu, kanalizasyon atıkları ve yol buzunu çözmek için kullanılan tuz gibi faktörler sulardaki sodyum düzeyini yükseltmektedir (WHO, 2003b). Ayrıca, sodyum florür, sodyum bikarbonat ve sodyum hipoklorit gibi su arıtma kimyasalları da birlikte kullanıldığında sodyum seviyelerini 30 mg/L'ye çıkarmaktadır (Arega, 2020).

Sodyum, tek başına kanserojen değildir ancak yüksek tuzlu bir diyet, gastroduodenal sistemde tahrişe neden olmaktadır. İçme suyundaki N-metil-N-nitro-N-nitrosoguanidin gibi kimyasalların sodyumun kanserojenik etkisini artırdığı bildirilmiştir (Bacha ve diğerleri, 2010). Sodyum epitel hücrelerinin kanserojenlere maruziyetini artırmakta ve sonuçta mide tümörlerinin insidansında artışa sebep olmaktadır (Fox ve diğerleri, 1999).

#### **2.5.2.15. Cıva**

Cıva doğada bulunan, parlak gümüş-beyaz renkli, kokusuz bir sıvı olan ve ısıtıldığında renksiz ve kokusuz bir gaz haline gelen bir ağır metaldir. Yerkabuğunun volkanik aktiviteleri sırasında çevreye salınan bir elementtir. Atmosferik cıva rüzgârla dünya geneline yayılmakta, yağışlar aracılığıyla suda ve toprakta birikmektedir. Daha sonra algler ve bakteriler tarafından metil cıvaya dönüştürülerek besin zincirine dâhil olmaktadır. Metil cıvanın ortamda birikmesi sudaki canlılığı olumsuz etkilemektedir. Cıvayı bünyesinde bulunduran canlılarla beslenen diğer canlılara cıva aktarımı olanaklı hale gelmektedir. Bu olumsuz su ortamındaki bitkilerin ya da hayvanların tüketilmesi, insanların metil cıvaya maruz kalmasının temel nedenidir (Trasande ve diğerleri, 2005).

Cıva termometrelerde, barometrelerde, pirometrelerde, hidrometrelerde, cıva ark lambalarında, flüoresan lambalarda katalizör olarak kullanılmaktadır. Kâğıt endüstrisinde ve kâğıt hamuru üretiminde, pillerde ve diş amalgamlarında bir bileşen olarak da kullanılmaktadır. Elemental cıva (Hg<sub>0</sub>) ve metil cıva (MeHg) formları önemli absorpsiyon kapasitesine sahip olup elemental cıva, diş amalgamının yüzde elliden fazlasını oluşturmaktadır (Zahir ve diğerleri, 2005). Cıva bileşikleri, 1990 yılına kadar fungusit ve boya katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Günümüzde bu tür bileşiklerin kullanılması yasaklanmış olsa da eski boya malzemeleri ve bu eski malzemelerle boyanmış yüzey kalıntılarına hala rastlanmaktadır (Baby ve diğerleri, 2010).

Cıvanın sudaki kontaminasyon kaynakları; deşarj edilen evsel atık sular, tarım ve imalat atık suları, madencilik ve yakma gibi insan faaliyetleridir (Chen ve diğerleri, 2012).

Su ortamındaki cıva varlığı, yaşıyan canlılar açısından olumsuz etkiler oluşturulmaktadır (Chen ve diğerleri, 2012). Elemental cıva hücrelere girdikten sonra oksidasyona uğramakta ve reaktif  $Hg^{2+}$ 'ye dönüşmektedir. Cıva, emilimin ardından vücuttan minimum oranda atılır. Emilen cıvanın çoğu böbreklerde, nörolojik dokularda ve karaciğerde birikim göstermektedir. Cıvanın tüm türleri toksik olup gastrointestinal toksisite, nörotoksisite ve nefrotoksisiteye sebep olmaktadır (Tchounwou ve diğerleri, 2003). USEPA ve FDA tarafından oluşturulan yönergeler göre, içme suyundaki cıva konsantrasyonunun 2 ppb altında olması tavsiye edilirken, deniz ürünlerinde onaylanan maksimum metil cıva seviyesinin 1 ppm olduğu bildirilmiştir (Bhan ve Sarkar, 2005).

#### **2.5.2.16. Alüminyum**

Alüminyum atom numarası 13 olan periyodik tabloda geçiş metalleri grubunda bulunan, yoğunluğu  $2,7 \text{ gr/m}^3$ , erime noktası  $660,3 \text{ }^\circ\text{C}$  olan bir elemettir. Bu düşük erime sıcaklığı alüminyumun kolayca işlenmesini sağlamaktadır (Liu ve diğerleri, 2017). Alüminyum kimyasal bağlarında  $Al^{+3}$  oksidasyon durumunda bulunan oldukça reaktif bir metaldir. Havayla temas ettiğinde yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşturarak daha fazla korozyona engel olmaktadır. Alüminyum iyi bir elektrik iletkenliğine sahip olduğundan elektrik iletim hatlarında, elektrik kablolarında ve elektronik aksamlarda sıkça kullanılmaktadır (Koch ve Antrekowitsch, 2007).Doğada sodyum ve florür gibi elementlerle ve organik maddelerle kompleksler oluşturarak silikatlar, oksitler ve hidroksitler gibi çeşitli formlarda bulunmaktadır. Doğal su kaynaklarındaki alüminyum konsantrasyonu, suyun fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerine bağlı faktörler nedeniyle farklılıklar göstermektedir (WHO, 2010a).

Gıda katkı maddesi olarak alüminyum bileşiklerini içeren besinlerin alımı, alüminyumun vücuda girmesine yol açmaktadır. Bunun dışında alüminyum içeren antiasitlerin ve tamponlu analjeziklerin düzenli olarak tüketilmesi de alüminyuma maruz kalmanın bir diğer yoludur (WHO, 1997). İçme suyu ile alüminyuma maruz kalmanın sağlık üzerinde hiçbir kalıcı etkisi olmadığı bildirilmiştir (Clayton ve Lu, 1989). Alüminyumun

potansiyel sağlık etkisinden ziyade, suyun tadını ve kokusunu etkilediğini bildirmiştir (WHO, 1997).

### 2.5.2.17. Stronsiyum

Stronsiyum, toprak alkali metal sınıfından olan gümüş parlaklığında bir metaldir. Periyodik cetveldeki yeri 5. periyot 2A grubudur. Atom numarası 38, atom ağırlığı 87,62 g/mol ve yoğunluğu 2.6 gr/m<sup>3</sup>'tür. Stronsiyumun erime noktası 769 °C, kaynama noktası ise 1384 °C'dir (LANL, 2001). Doğada sadece stronsiyumun Sr<sup>+2</sup> oksidasyon durumunda bulunmaktadır. Stronsiyumun bilinen 28 izotopu bulunmakla birlikte bunlardan <sup>88</sup>Sr (%82.6), <sup>86</sup>Sr (%9.9), <sup>87</sup>Sr (%7) ve <sup>84</sup>Sr (%0.6) kararlı iken, <sup>75</sup>Sr ve <sup>90</sup>Sr kararsız izotoplardır. Doğada, stronsiyum sülfat olarak bilinen selestit veya stronsiyum karbonat olarak bilinen stronsiyanit şeklinde çokca bulunur (Watts ve Howe, 2010).

Stronsiyum, doğada selestit ve stronsiyanit minerallerinin çözünmesi sonucu havada, toprakta ve suda bulunmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2018). Yer kabuğunda %0,02-0,03 oranında bulunmaktadır (Lide ve Milne, 1995). Endüstride stronsiyum karbonat olarak TV tüplerin imalatında; ferrit olarak, seramik olarak otomotiv sanayinde, demir cevheri seperatörlerinde, fotokopi makinalarında ve özel alaşımlarda kullanılmaktadır.

İnsan vücudunda yaklaşık 320 mg stronsiyum bulunmakla birlikte emilen stronsiyumun %99'a kadarının kemiklerde depolandığı, yaklaşık %0.7'sinin ise hücre dışı sıvıda bulunduğu belirtilmiştir (Cabrera ve diğerleri, 1999). Bununla birlikte, stronsiyumun vücuttaki temel bir eser element olarak kesin işleviyle ilgili belirsizlik devam etmektedir (Liu ve diğerleri, 2019). Düşük toksisiteye sahip olan stronsiyum, insan vücudunun kemiklerinde ve dişlerinde birikme eğilimi göstermektedir. Stronsiyum oksit ve stronsiyum hidroksit gibi bileşikler, özellikle gözlerde, ciltte ve mukoza zarlarında tahrişe neden olmaktadır. Stronsiyum laktat bileşiğinin varlığının büyümeyi engellediği ve kemik mineralizasyonunu azalttığı bilinmektedir (Çetinkaya, 2006). Bunun yanı sıra stronsiyum bileşikleri arasında en tehlikeli ve toksik bileşik, stronsiyumun kararsız radyoaktif izotopu olan <sup>90</sup>Sr'in oluşturduğu stronsiyum kromat bileşiğidir. Bu krom bileşiğinin toksisitenin ana kaynağı olduğu belirtilmiştir (Güler ve Çobanoğlu, 1994; HSDB, 2016). Curzon ve diğerleri (1978) tarafından ABD'nin Wisconsin eyaletinde yapılan epidemiyolojik bir araştırmada içme suyundaki

stronsiyum miktarının diş çürüklerini önleyebileceği belirtilmiştir. İçme suyundaki stronsiyum konsantrasyonu 5-6 mg/L olduğunda çocuklarda diş çürüğü insidansının düşük olduğunu bildirmiştir (Curzon ve diğerleri, 1978).

Stronsiyumun insan vücuduna alımı öncelikle içme suyu ve gıdalar yoluyla olmaktadır (Greve ve diğerleri, 2007). Yetişkin bireylerde günlük toplam stronsiyum alımının yaklaşık 4 mg olduğu bildirilmiştir (WHO, 2010b). Bu alınan stronsiyumun 0,7-2,0 mg'ının içme suyundan; 1,2-2,3 mg'ının ise yapraklı sebzeler, tahıllar ve süt ürünleri gibi gıdalardan sağlandığı bildirilmiştir (WHO, 2010b; 2022c; Yekta ve Sadeghi, 2018). Kanada İçme Suyu Kalite Rehberi'nde içme suyunda izin verilen maksimum stronsiyum seviyesinin 7 mg/L olduğu bildirilmiştir (NRC, 2022).

#### **2.5.2.18. Uranyum**

Uranyumun atom numarası 92, atom ağırlığı 238.029, yoğunluğu 19,07 g/cm<sup>3</sup> olan radyoaktif bir elementtir (Lide, 2004; LANL, 2001). Uranyum doğal olarak +2, +3, +4, +5 ve +6 oksidasyon durumlarında bulunmakla birlikte +6 oksidasyon durumu en yaygın şeklidir. Uranyumun +6 oksidasyon durumu genellikle oksijenle birleşerek uranil iyonu (UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>) şeklinde bulunmaktadır. Doğal olarak oluşan uranyum hem alfa hem de gama emisyonlarını içeren bozulma süreçlerinden geçen üç izotopun (<sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U ve <sup>238</sup>U) bir karışımıdır (Cothorn ve Lappenbusch, 1983). Doğal uranyumun %0.72'sini <sup>235</sup>U; %0.0054'ünü <sup>234</sup>U ve %99,27'sini <sup>238</sup>U izotopu oluşturmaktadır (Greenwood ve Earnshaw, 1984).

Uranyum, doğal yatlardan sızma, değirmen atıklarından salınma, nükleer endüstri emisyonları, kömür vb. diğer yakıtların yanması ve uranyum içeren fosfatlı gübrelerin kullanılması sonucunda doğal çevrede bulunmaktadır (Kreiger ve Whittaker, 1980). Granitler ve çeşitli mineral yataklarında bulunduğundan doğada sıklıkla rastlanmaktadır (Roessler ve diğerleri, 1979). Uranyumun birincil kullanım yeri nükleer santraller olup, burada yakıt olarak değerlendirilmektedir Uranyum bileşikleri katalizörler ve renklendirici pigmentler olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır (Berlin ve Rudell, 1986).



Uranyum ve tuzları hem insanlar hem de hayvanlar için önemli bir risk oluşturmaktadır (Çam ve diğerleri, 2007). Uranyum bileşikleri, kemiğin mineral yapısında bulunan fosfatlara kolayca bağlanmaktadır. Uranyum tozunun yutulması, kronik solunum bozukluklarının yanı sıra böbreklerde ve deride hasara neden olabilmektedir. (Leggett, 1989). Böbrekte uranyum depolanmasından kaynaklanan, böbreğin glomerüler bazal zarının kalınlaşmasına neden olan değişiklikler, uzun süreli ve kalıcı hasara neden olacak kadar şiddetli olabilmektedir (McDonald-Taylor ve diğerleri, 1992). Bunun yanı sıra, radyasyon ve kimyasal toksisitenin birleşik etkileri, kanser de dâhil olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Çam ve diğerleri, 2007).

ABD’de New York City’de içme suyundaki ortalama uranyum konsantrasyonunun 0,03-0,08 µg/L arasında değiştiği belirtilmiştir (Fisenne ve Welford, 1986). ABD’de 978 bölgeden alınan içme sularında ortalama 2,55 µg/L uranyum bulunduğu rapor edilmiştir (USEPA, 1991). Japonya’daki beş şehirde, içme suyu kaynaklarındaki ortalama seviyenin 0,9 µg/L olduğu tespit edilmiştir (Nozaki ve diğerleri, 1970). Finlandiya’da yapılan bir araştırmada içme suyu uranyum konsantrasyonunun 28 µg/L olduğu bildirilmiştir (Kurttio ve diğerleri, 2002). Norveç’te 476 yeraltı suyu numunesiyle yapılan bir araştırmada numunelerin %18’inde 20 µg/L’yi geçen seviyelerde uranyum konsantrasyonları tespit edilmiştir (Frengstad ve diğerleri, 2000). ABD’de Salt Lake City içme suyunda uranyum bulunmuştur (Singh ve diğerleri, 1990). Avustralya İçme Suyu Rehberi ve Kanada İçme Suyu Kalite Rehberlerinde içme suyundaki maksimum uranyum seviyesinin 20 µg/L olduğu belirtilmektedir (NHMRC, 2014; NRC, 2022).

#### **2.5.2.19. Vanadyum**

Vanadyum, atom numarası 23 olan ve periyodik tabloda 4. periyot 5B grubunda yer alan bir elementtir.  $^{50}\text{V}$  ve  $^{51}\text{V}$  şeklinde iki doğal izotopu bulunan grimsi bir metaldir. -1, 0, +2, +3, +4 ve +5 oksidasyon durumları bulunmakla birlikte +3, +4 ve +5 değerlikli formları en yaygın olanlarıdır. Vanadyum, suda ve asitlerde çözünerek bazik yapıdaki bileşiklerle vanadatları oluşturmaktadır. +3 oksidasyon durumundaki vanadyum oksijenle birleşerek bazik yapıdaki vanadyum oksiti ( $\text{V}_2\text{O}_3$ ) oluşturmaktadır Vanadyum oksit bileşiği asitte çözüldüğünde yeşil bir heksa-aquo iyonu oluşturmakta olup, vanadyum tuzları güçlü indirgeyici maddelerdir (WHO, 1988).

Vanadyum madenciliğinde önemli olan ana bileşikler karnatit ve vanadinitdir. Büyük yataklarda bol miktarda vanadyumdan zengin minerallerin bulunmaması nedeniyle, daha düşük vanadyum içeriğine sahip olan cevherler önemli kabul edilmektedir (Taylor ve diğerleri, 2006). Çevre kirliliği açısından, çevreye salınan vanadyumun ana kaynakları; kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara dayanan enerji santralleri ve ısı üreten tesislerdir. Atmosferik vanadyum deşarjı, madencilik alanlarındaki kömür atıklarının veya kömür tozu çöplüklerinin yakılması sonucu ortaya çıkar (Akcil ve diğerleri, 2015). Petrol, kömür, katran, bitüm ve yüksek düzeyde vanadyum içeren asfaltitler dâhil olmak üzere fosil yakıtların içeriğinden vanadyumun elde edilmesi, vanadyum temininde yaygın kullanılan bir yöntemdir (Barceloux ve Barceloux, 1999).

Demir metalurjisinde vanadyum, çeşitli çelik türlerinde ana bileşeni (%75-85) oluşturan çok önemli bir alaşım elementi olarak işlev görmektedir. Atom enerjisi, uçak üretimi ve uzay teknolojisi gibi endüstrilerde de önemli bir rol oynamaktadır. Kimya endüstrisinde vanadyum pentoksit ve metavanadatların kullanımı sülfürik asit ve plastik üretiminde önemli bir katalizör işlevi görmektedir (Petranikova ve diğerleri, 2020) Buna ek olarak vanadyum, çeşitli sektörlerde küçük uygulama alanları bulmaktadır (WHO, 1988). Vanadyum emisyonları özellikle çelik alaşımı üretimi yapan büyük fabrikaların yakınında yükselmektedir. Ayrıca, vanadyum cüruflarının kavrulması ve ferrovanadyumu eritmek için kullanılan elektrikli fırınlarda vanadyum pentoksitin eritilmesi sırasında vanadyumun havaya salındığı bildirilmektedir (Gilligan ve Nikoloski, 2020).

Biyokimyasal süreçlerde rol oynayan temel bir eser element olarak kabul edilen vanadyum, kan-beyin bariyerini geçme özelliğine sahiptir. Vanadyum, anne sütünde bulunmuştur (Tripathi ve diğerleri, 2018). Ortam havasındaki yüksek vanadyum seviyeleri, ölümle sonuçlanan kalp ve solunum etkileriyle ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, bu tür ilişkileri öne süren çalışmalarda vanadyum ve hastalıklar arasında kesin bir neden-sonuç ilişkisi kurulamadığı görülmektedir (Zhang ve diğerleri, 2009). Vanadyumun insanlar üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin bilgilerin çoğu kontrollü ortamlardan ve terapötik uygulamalardan elde edilmiştir. Vanadyuma maruz kalmak gözlerde ve solunum yollarında da tahrişe neden olmaktadır (Kravchenko ve Lysterly, 2018).

### 2.5.3. İçme Suyundaki Ağır Metaller İçin Uluslararası Standart ve Kılavuz Değerler

Endüstriyel faaliyetler olan metal kaplama tesisleri, maden işletmeleri, gübre sanayileri, tabakhaneler, piller, kâğıt sanayileri ve zirai ilaçlar gibi sanayilerin hızla gelişmesi nedeniyle ağır metal atıksuları doğrudan veya dolaylı olarak içme suyu temini için kullanılan kaynakların olduğu alıcı ortama deşarj edilmekte ve bu nedenle içme sularının kalitesi bozulmaktadır (Shah, 2021). Günümüzde giderek daha katı düzenlemelerle karşı karşıya kalan ağır metal sanayisinin atıkları öncelikli kirleticiler arasında yer almakta ve en ciddi çevre sorunlarından birine sebep olmaktadır (Fu ve Wang, 2011). Çevresel risklere yanıt olarak, birçok gelişmiş ülke kendi düzenlemelerini ve yönergelerini uygulamaya koymaktadır.

Avrupa Birliği ülkeleri, sularının denetimini Avrupa İçme Suyu Direktifi (EC, 2000) standartları ile gerçekleştirirken, ABD’de USEPA Güvenli İçme Suyu Yasası tarafından belirlenen gereklilikler uygulamaktadır (USEPA, 1996). Çin’de ise ayrı bir içme suyu standardı (GHZB 1-1999) olup 2002 yılında üçüncü kez revize edilmiştir (Su ve diğerleri, 2017). Avustralya’da Ulusal Sağlık ve Tıbbi Araştırma Konseyi (NHMRC) tarafından Avustralya İçme Suyu Rehberi yayınlanmaktadır (NHMRC, 2014). Kanada’da Ulusal Araştırma Konseyi (NRC) tarafından İçme Suyu Kalite Rehberi yayınlanarak kılavuz değerler açıklanmaktadır (NRC, 2022). Japonya’daki içme suyu kalite standartları Sağlık, Çalışma ve Refah Bakanlığı (MHLW) tarafından belirlenmektedir (MHLW, 2015).

Dünya genelindeki bazı ülkelerde, yasal veya idari bir çerçeve bulunmayıp Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve yetkilendirilmiş kuruluşların belirlediği kılavuz, standart ya da limit değerler kullanılmaktadır (WHO, 2011). Su kalitesi ve güvenliği için ulusal ve uluslararası kılavuz, standart ya da limit ağır metal değerleri ile ilgili araştırmada elde edilen bulguların değerlendirilmesi “Tartışma” bölümünde Tablo 5’de sunulmuştur.

Türkiye’deki içme suları standartları, TSE tarafından “TS 266 Sular – İnsani Tüketim Amaçlı Sular” standardı ile belirlenmektedir (TSE, 2005). İçme sularındaki ağır metallerin limit değerleri ise T. C. Sağlık Bakanlığı tarafından belirlenmiş olup İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY)’in Ek-1 listesinde sunulan “Parametreler ve Parametrik Değerler” tablolarında gösterilmiş, 17/02/2005 tarih ve 25790 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır (RG, 2005). Bunun haricinde 24/4/1930 tarihli ve 1593 Sayılı Umumi Hıfzi Sıhha Kanunu, 9/8/1983 tarih ve 2872 Sayılı Çevre Kanunu, 3/7/2005 tarih ve

5393 Sayılı Belediye Kanunu, 10/7/2004 tarih ve 5216 Sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu ve söz konusu kanunlara bağlı ilgili yönetmelik, tebliğ ve yönergeler ile içme suyunun kalitesinin artırılması ve kaliteyi olumsuz etkileyen faktörlerin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak kamu kurumları tarafından adımlar atılmaktadır.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1. Gereç

##### 3.1.1. Çalışma Alanı ve Numune Lokasyonları

Araştırmada kullanılmak üzere Aydın ili Efeler İlçesindeki 9 mahallenin 7 farklı lokasyonundan 63 adet su numunesi, EPA 200.8 metoduna uygun şekilde toplanmıştır. İçme suyu numunelerinin toplandığı mahalle adı, numune kodu, numune alınma tarihi, numune alınma saati ve toplanma yeri koordinatlarına ilişkin bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** İçme suyu numunelerinin toplama bilgileri.

Mahalle Adı	Kod	Numune Alınma Tarihi	Numune Alınma Saati	Koordinatlar	
				X (Lantitude)	Y (Longtitude)
Adnan Menderes Mahallesi	A1	18/07/2020	10:43	27.850016	37.834885
	A2		10:49	27.850380	37.833275
	A3		10:54	27.846689	37.831474
	A4		10:57	27.840706	37.835271
	A5		11:01	27.846376	37.832718
	A6		11:06	27.844529	37.830908
	A7		11:12	27.852670	37.833655
Mimar Sinan Mahallesi	B1	18/07/2020	13:31	27.814375	37.851845
	B2		13:36	27.814571	37.854488
	B3		13:39	27.813402	37.853993
	B4		13:43	27.816345	37.851025
	B5		13:46	27.813287	37.849063
	B6		13:52	27.822441	37.850161
	B7		13:54	27.811132	37.848959
Kemer Mahallesi	C1	18/07/2020	14:30	27.821028	37.861981
	C2		14:34	27.821682	37.861164
	C3		14:37	27.818753	37.860110
	C4		14:41	27.821553	37.858653
	C5		14:46	27.822787	37.859296
	C6		14:49	27.821682	37.861164
	C7		14:52	27.820319	37.861931
Umurlu Mahallesi	D1	20/07/2020	18:02	27.965700	37.852497
	D2		18:06	27.968339	37.853018
	D3		18:12	27.969670	37.852129
	D4		18:16	27.961966	37.851951
	D5		18:20	27.954649	37.852561
	D6		18:24	27.964025	37.849941
	D7		18:27	27.960775	37.849090
Orta Mahalle ve Zafer Mahallesi	E1	20/07/2020	20:30	27.850745	37.847533
	E2		20:35	27.850930	37.845802
	E3		20:39	27.853131	37.844996
	E4		20:49	27.847139	37.847556

**Tablo 1.** İçme suyu numunelerinin toplama bilgileri (devamı)

Mahalle Adı	Kod	Numune Alınma Tarihi	Numune Alınma Saati	Koordinatlar	
				X (Lantitude)	Y (Longitude)
Orta Mahalle ve Zafer Mahallesi	E5	20/07/2020	20:53	27.857020	37.847899
	E6		20:59	27.852482	37.848590
	E7		21:08	27.848373	37.849509
Yılmazköy Mahallesi	F1	20/07/2020	19:17	27.890253	37.855847
	F2		19:19	27.890840	37.856588
	F3		19:23	27.891049	37.857309
	F4		19:27	27.890182	37.857603
	F5		19:33	27.889270	37.856027
	F6		19:37	27.892153	37.857887
	F7		19:46	27.892739	37.855950
Işıklı Mahallesi	G1	18/07/2020	11:40	27.803627	37.835425
	G2		11:44	27.802517	37.834004
	G3		12:49	27.804020	37.837769
	G4		12:52	27.802142	37.837354
	G5		12:55	27.804306	37.832787
	G6		12:59	27.804456	37.831973
	G7		13:03	27.802031	37.835202
Efeler Mahallesi	H1	18/07/2020	15:34	27.824465	37.857824
	H2		15:37	27.821354	37.858234
	H3		15:40	27.827982	37.844250
	H4		15:46	27.832218	37.841026
	H5		15:49	27.826648	37.839906
	H6		15:52	27.829706	37.836784
	H7		15:55	27.828696	37.855777
Osman Yozgatlı Mahallesi	I1	18/07/2020	16:35	27.823984	37.829811
	I2		16:39	27.828286	37.830824
	I3		16:43	27.833962	37.830222
	I4		16:46	27.832943	37.828491
	I5		16:49	27.830368	37.827978
	I6		16:51	27.830894	37.823724
	I7		16:54	27.836244	37.828364

### 3.1.2. Numunelerin Toplanması

Numuneler belirlenen lokasyonlardaki musluklardan ev sahibi ya da işletme sahibinden izin alınarak toplanmıştır. Numuneler gün, saat ve lokasyon bilgileri not edilerek, musluklardan suyun 1 dakika boyunca akışı sağlandıktan sonra alınmıştır. Numuneler laboratuvarında analiz edilinceye kadar oda koşullarında muhafaza edilmiştir.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. İndüktif Olarak Birleştirilmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS)

İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS), elemental analizdeki üstün özellikleri nedeniyle kabul görmektedir. Yöntem; İndüktif Eşleşmiş Plazma (ICP) ve Kütle Spektrometresi (MS) olarak anılan iki güçlü analitik tekniğin birleşiminden oluşmaktadır. ICP, radyofrekans enerjisi kullanımı sayesinde taşıyıcı gazı iyonlaştırarak yüksek sıcaklıkta bir plazma üretmektedir. Bu plazma, numune atomlarını harekete geçirip iyonize ederek bir iyon bulutu oluşturmaktadır. İyonlar daha sonra kütle spektrometresine yönlendirilmekte, burada kütle-yük oranlarına göre ayrışmakta ve numunede bulunan elementlerin kesin miktarının belirlenmesine olanak tanımaktadır (Shigeta ve Nishiyama, 2005).

ICP-MS cihazı, bir ICP meşalesi, nebülizör, numune yerleştirme sistemi, kütle analizörü ve dedektörü olmak üzere birkaç temel bileşenden oluşmaktadır (Ammann, 2007). Sıvı formdaki numune, buharlaştırıldığı ve atomize edildiği bir nebülizör yoluyla plazmaya verilmektedir. Oluşan iyonlar, çıkarılarak kütle-yük oranlarına göre ayrıldıkları kütle analizörüne odaklanmaktadır. Sonuçta, iyonlar tespit edilmekte ve ölçülmektedir. Bu süreç, numunenin temel bileşimi hakkında bilgiler sağlamaktadır (Günther ve Hattendorf, 2005).

ICP-MS çevresel analiz, jeoloji, metalürji, ilaç, adli tıp ve biyolojik araştırmalar olmak üzere çok sayıda bilimsel uygulamada kullanılmaktadır. Olağanüstü hassasiyeti, geniş dinamik aralığı ve çok elemanlı yeteneği bu yöntemi eser element analizi için paha biçilmez bir araç haline getirmiştir (Bua ve diğerleri, 2017). ICP-MS, ekolojik çalışmalarda ağır metallerin tespiti, jeolojik çalışmalarda element bileşim analizi ve biyolojik çalışmalarda metal alımının incelenmesi gibi alanlarda doğru ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır. ICP-MS eser düzeylerde, genellikle ppb, ppm veya ppt aralığındaki elementleri tespit etme yeteneğine sahiptir. Bu yüksek hassasiyet, düşük element konsantrasyonlarına sahip karmaşık numunelerin analizini mümkün kılmaktadır (Limbeck ve diğerleri, 2015).

ICP-MS, birden çok ögeyi aynı anda ölçebilme özelliği sayesinde hızlı analiz imkânı sunmaktadır. Bu özellik, çok sayıda numunenin verimli bir şekilde analiz edilmesini sağladığı için laboratuvarlarda üretkenliği arttırmaktadır. Yöntem, ultra eser düzeyde bulunan

elementlerden yüksek konsantrasyonlarda bulunan elementlere kadar çok çeşitli element konsantrasyonlarını işleyebilmekte, bu çok yönlülük kapsamlı numune dilüsyonuna veya konsantrasyonuna ihtiyaç duymadan numunelerin değişen konsantrasyonlarda analizine olanak tanımaktadır. Kütle çözünürlüğü yetenekleriyle izotopların analizini mümkün kılarak çeşitli sistemlerde elemental türleşme, izotop oranları ve iz element davranışı hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır (Jenner ve diğerleri, 1990). ICP-MS temel kantifikasyonda mükemmel hassasiyet ve doğruluk sunmaktadır. Sertifikalı referans malzemelerle yapılan kalibrasyonlar ise güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Bulska ve Wagner, 2016).

### **3.2.1. EPA 200.8 Yöntemi**

Numunelerin toplanması, preparasyonu ve analizi için EPA 200.8 yöntemi kullanılmıştır. EPA 200.8 yöntemi USEPA tarafından sulardaki ve atıklardaki eser elementlerin endüktif olarak birleştirilmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak belirlenmesi için geliştirilmiş özel bir analitik yöntemdir (USEPA, 1994). Yöntem; arsenik, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, cıva, nikel ve çinko gibi çeşitli elementleri ölçmek için kullanılmaktadır (USEPA, 1994). Bu elementler içme suyu, yeraltı suyu, yüzey suyu ve atık su gibi çevresel örneklerde bulunmaktadır (Maneckı ve diğerleri, 2017).

Araştırma kapsamında kullanılan EPA 200.8 yöntemi numune toplama, koruma, parçalama ve analiz için ayrıntılı prosedürler sağlamıştır. Bu prosedür doğrultusunda su numuneleri, uygun kaplar kullanılarak, uygun numune alma teknikleri ile toplanmıştır. Toplanan su numuneleri, analize müdahale etmeyecek şekilde askıdaki katı maddeleri ve partikülleri uzaklaştırmak için filtrelenmiştir (Maneckı ve diğerleri, 2017). Daha sonra ilgili elementleri çözmek ve analiz için uygun bir forma dönüştürmek için asit sindirimi gerçekleştirilmiştir. Sertifikalı referans malzemeler veya hedef elementlerin bilinen konsantrasyonlarındaki standart solüsyonları kullanılarak bir kalibrasyon eğrisi hazırlanmış ve kalibrasyon eğrisi, cihazın yanıtı ile elementlerin konsantrasyonu arasında bir ilişki belirlemek için kullanılmıştır (Pruszkowski ve Bosnak, 2015). Asitte sindirilen numuneler ve kalibrasyon standartları bir ICP-MS cihazına verilmiştir. ICP-MS cihazı numunede bulunan elementleri tanımlamak ve ölçmek için bir iyonizasyon kaynağı olarak endüktif olarak bağlanmış bir plazmayı bir kütle spektrometresi ile birleştirmiştir (Pruszkowski ve Bosnak,



2015). Analiz boyunca, yöntem boşluklarının, kopyaların ve ani yükselmelerin kullanımı olmak üzere çeşitli kalite kontrol önlemleri uygulanmıştır (USEPA, 1994). Bu önlemler, sonuçların doğruluğunu ve kesinliğini sağlamaya yardımcı olmuştur. Cihaz aracılığıyla numunelerdeki iz elementlerin konsantrasyonları için nicel veriler elde edilmiştir. Bu sayede veriler analiz edilmekte, düzenleyici sınırlar veya yönergelerle karşılaştırılmakta, istenen formatta raporlanmaktadır. (Maneckı ve diğeri, 2017). Hedeflenen amaca uygun olarak, metodun belirli performans özelliklerini karşılaması için gözlenebilirlik sınırı (LOD) ve ölçme sınırı (LOQ=3.3xLOD) değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Gözlenebilirlik sınırı (LOD) ve ölçme sınırı (LOQ) değerleri (µg/L).

Metaller	LoD	LOQ
As	0,04	0,13
B	7,16	23,63
Cd	0,01	0,03
Cr	0,02	0,07
Co	0,03	0,10
Cu	0,15	0,50
Zn	3,42	11,29
Pb	0,99	3,27
Fe	0,42	1,39
Mo	0,03	0,10
Ni	0,04	0,13
Mn	0,24	0,79
Ba	2,5	8,25
Na	57	188,10
Hg	0,01	0,03
Al	3,67	12,11
Sr	1,34	4,42
U	0,02	0,07
V	0,01	0,03

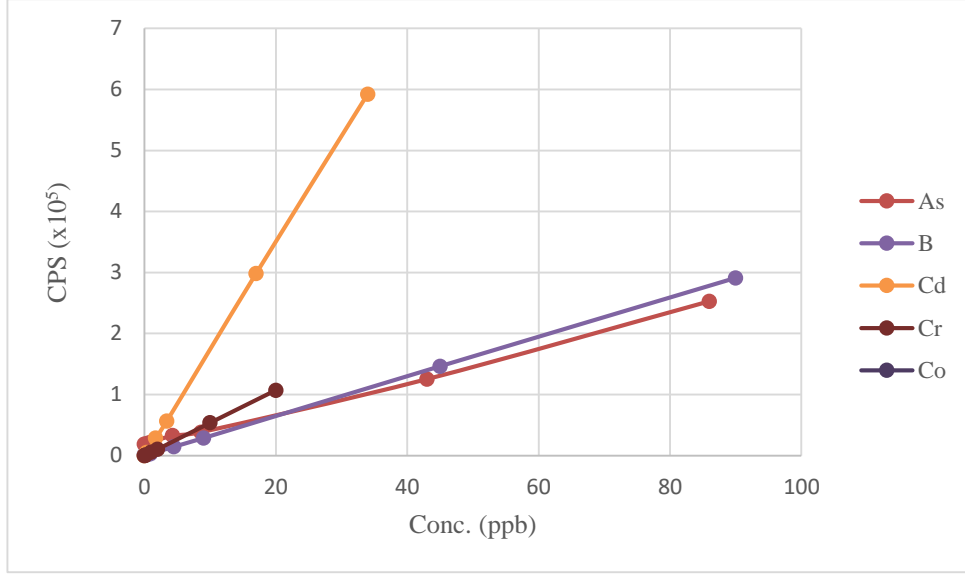
Analiz sırasında HNO<sub>3</sub> (suprapur %65), HCl (suprapur %30), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (suprapur %30), su (18 MΩ cm<sup>-1</sup>) materyali kullanılmıştır. EPA 200.8 yöntemiyle “düşük matriksli (TDS < % 0.1) sular da ve sulu numunelerde eser elementlerin tayini ölçümleri” sırasında dikkate alınmış, 10 ml su numunesi 0.1 ml konsantre HNO<sub>3</sub> (suprapur %65) eklenerek asitleştirilmiştir. Kalibrasyon eğrileri için Agilent tarafından sağlanan çok elementli standart solüsyonlar (27 element karışımı: 8500-6940 2A ve 8500-6940 Hg) kullanılmıştır. Kalite güvencesi ve kontrol, üçlü ölçüm ve UME CRM 1201 sertifikalı referans kaynak suyu malzemeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analitik kesinlik ±%5 hata dâhilinde olup araştırmada 1 ppm dâhili standart (Agilent 5188-6525) numuneleri ile sürekli olarak kontrol

edilmiştir. Tüm analizler üç kopya halinde gerçekleştirilmiş ve veri analizi için ortalama değerler kullanılmıştır (USEPA, 1994).

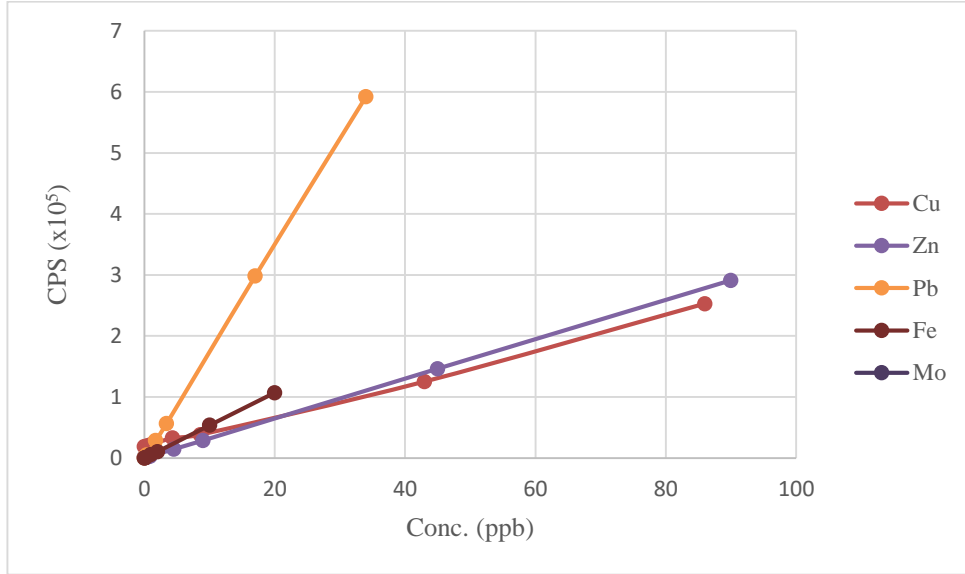
### 3.2.2. Stok, Standart Çözeltilerin Hazırlanması

Analiz için öncelikle su stok çözeltisi, su standart çözeltisi, As, B, Cd, Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Fe, Mo, Ni, Mn, Ba, Na, Hg, Al, Sr, U ve V elementlerinin 1000 µg/ml ve 10 µg/ml'lik ara stok çözeltileri hazırlanmıştır. Su stok su çözeltisi için 250 ml'lik kaba yaklaşık yarısına kadar ultra saf su koyulmuş 13 ml suprapur HNO<sub>3</sub> (65%), 6 ml HCl (%30) eklenerek ardından 220 ml çizgisine kadar ultra saf suyla tamamlanmıştır. Standart su çözeltisi için 250 ml'lik kaba yaklaşık yarısına kadar ultra saf su koyulmuş, 2.5 ml suprapur HNO<sub>3</sub> (65%), 1 ml HCl (%30) eklenmiştir. Ardından 220 ml çizgisine kadar ultra saf suyla tamamlanmıştır. 1000 µg/ml cıva ara stok çözeltisi (Hg-Ara1) için test tüpüne Hg (sigma28941) ve 9 ml ara stok su çözeltisi koyulmuştur. 10 µg/ml cıva ara stok çözeltisi (Hg-Ara2) için test tüpüne 1 ml 100 µg/ml Hg-Ara-1 çözeltisi ve 9 ml su stok çözeltisi eklenmiştir. Diğer elementler için 1000 µg/ml'lik çözeltileri Hg-ara-1, Hg-ara-2 çözeltisine benzer şekilde hazırlanmıştır. 200 µg/ml Hg ara stok çözeltisi (Hg-Ara3) hazırlamak için test tüpüne 0.2 ml 10 µg/ml'lik Hg'den ve 1.8 ml su stok çözeltisinden eklenmiştir. 20 µg/ml Hg ara stok çözeltisi (Hg-Ara4) test tüpüne Hg-Ara3 üzerine 9 ml su stok çözeltisi eklenmiştir. 1 µg/ml 17 elementli karışımlardan ara stok çözeltisi (A1) hazırlamak için test tüpüne 1 ml 10 µg/ml'lik 17 elementli karışımından (Agilent 8500-6940 2A) ve 1.8 ml su stok çözeltisinden eklenmiştir. 0.1 ml 17 elementli karışımlardan ara stok çözeltisi (A2) hazırlamak için test tüpüne 1 ml A1 üzerine 9 ml su stok çözeltisinden eklenmiştir.

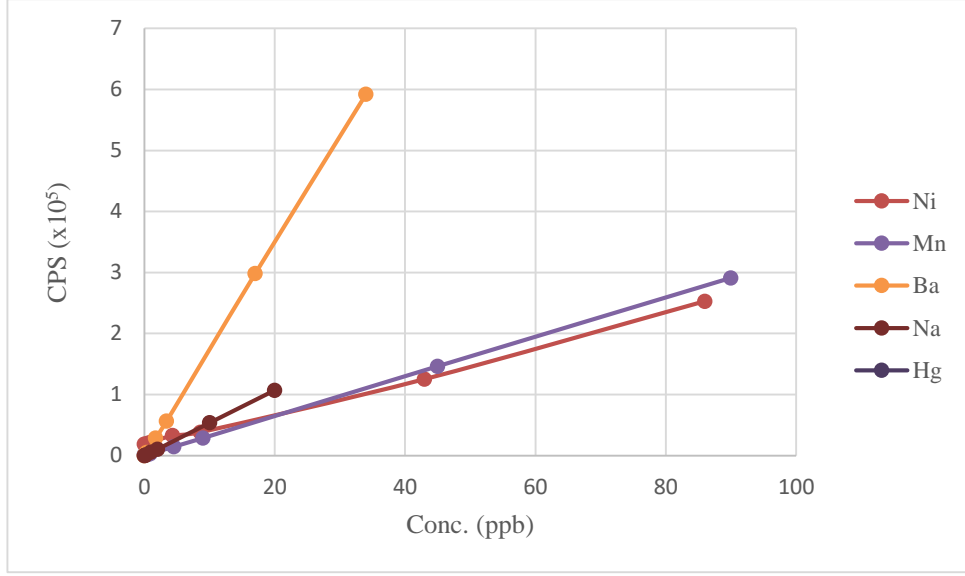
Çözeltiler hazırlandıktan sonra, ağır metal içeriği okunmadan önce cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Elementler için çizilen kalibrasyon grafikleri, hazırlanmış olan standartların doğruluğunun göstergesi olarak kullanılmıştır.



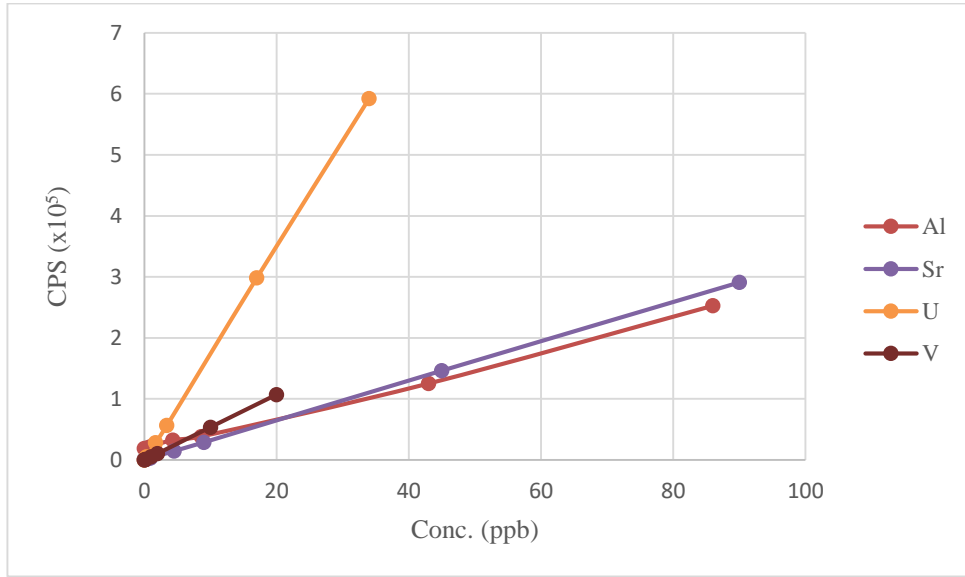
**Şekil 3.** As, B, Cd, Cr ve Co için kalibrasyon eğrileri.



**Şekil 4.** Cu, Zn, Pb, Fe ve Mo için kalibrasyon eğrileri.



Şekil 5. Ni, Mn, Ba, Na ve Hg için kalibrasyon eğrileri.



Şekil 6. Al, Sr, U ve V için kalibrasyon eğrileri.

### 3.3. İstatiksel Analiz

Sonuçların istatistiksel analizi IBM SPSS Statistics 22 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle içme suyu numunelerinin istatistiki değerleri (ortalama ve standart hata) belirlenmiştir. Her mahalleden alınan 7 numunenin üçer kez okunması sonucunda elde

edilen ortalamalar baz alınarak, sayısal değişkenlere ait verilerin normal dağılımını Shapiro Wilk normallik testi ve Q-Q grafikleri ile değerlendirilmiştir (Khatun, 2021). Çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmış, bulunan değerler %5 anlamlılık düzeyinde  $\pm 1,96$  değeri aşmadığında normal dağıldığı varsayılmıştır (Hair ve diğerleri, 1995). Gruplar arası karşılaştırmalar için Anova varyans analizi yapılmıştır. Anova varyans analizi sırasındaki farklıların tespiti için Duncan<sup>a</sup> testi kullanılmıştır.  $p < 0.05$  değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

## 4. BULGULAR

Araştırma kapsamında Aydın ili Efeler ilçesi içme suyunda tespit edilen ağır metal düzeylerinin ortalamaları Tablo 3’de sunulmuştur.

**Tablo 3.** Efeler ilçesi ortalama ağır metal kontrasyonları ( $\mu\text{g/L}$ ).

Metaller	$\bar{X} \pm S_x (n=63)$
As	1.66±0.53
B	53.30±103.62
Cd	0.10±0.01
Cr	0.19±0.14
Co	0.08±0.22
Cu	12.39±15.49
Zn	46.56±78.58
Pb	0.98±1.24
Fe	21.74±42.97
Mo	0.76±0.22
Ni	2.87±5.90
Mn	3.97±8.31
Ba	53.75±36.56
Na	30238±33137
Hg	0*
Al	53.46±203.46
Sr	438.74±363.99
U	0.60±0.026
V	0.11±0.02

\* Okunan değer analiz limitinin altında kaldığından 0 olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3’e göre Efeler ilçesi içme sularında ortalama ağır metal düzeyleri As: 1.66±0.53; B: 53.30±103.62; Cd: 0.10±0.01; Cr: 0.19±0.14; Co: 0.08±0.22; Cu: 12.39±15.49; Zn: 46.56±78.58; Pb: 0.98±1.24; Fe: 21.74±42.97; Mo: 0.76±0.22; Ni: 2.87±5.90; Mn: 3.97±8.31; Ba: 53.75±36.56; Na: 30238±33137; Al: 53.46±203.46; Sr: 438.74±363.99; U: 0.60±0.026 ve V: 0.11±0.02  $\mu\text{g/ml}$  olarak tespit edilmiştir. Hg düzeyi analiz limitinin altında olduğu için 0  $\mu\text{g/ml}$  olarak kabul edilmiştir. Araştırma kapsamında Aydın ili Efeler ilçesi içme suyunda tespit edilen ağır metal düzeylerinin mahallere göre ortalamaları Tablo 4’de sunulmuştur.

**Tablo 4.** Efeler ilçesi mahallelerindeki ortalama ağır metal kontrasyonları ( $\mu\text{g/L}$ ).

	<b>Adnan Menderes Mahallesi</b>	<b>Mimar Sinan Mahallesi</b>	<b>Kemer Mahallesi</b>	<b>Umurlu Mahallesi</b>	<b>Orta ve Zafer Mahalleleri</b>	<b>Yılmazköy Mahallesi</b>	<b>Işıklı Mahallesi</b>	<b>Efeler Mahallesi</b>	<b>Osman Yozgatlı Mahallesi</b>	<b><i>p</i>*</b>
<b>As</b>	1.30±0.46 <sup>c</sup>	1.77±0.04 <sup>a,b,c</sup>	1.45±0.34 <sup>b,c</sup>	1.45±0.46 <sup>b,c</sup>	1.94±0.89 <sup>a,b</sup>	1.25±0.50 <sup>c</sup>	2.05±0.08 <sup>a</sup>	1.75±0.77 <sup>a,b,c</sup>	2.00±0.12 <sup>a,b</sup>	0.011
<b>B</b>	102.40±39.57	17.87±0.76	16.71±1.57	99.21±177.40	24.78±9.41	120.95±232.93	24.17±3.83	53.25±82.00	20.35±0.45	0.312
<b>Cd</b>	0.11±0.01	0.10±0.01	0.90±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.304
<b>Cr</b>	0.15±0.02	0.15±0.02	0.18±0.05	0.15±0.01	0.19±0.04	0.23±0.13	0.32±0.38	0.20±0.15	0.17±0.06	0.500
<b>Co</b>	0.09±0.06	0.03±0.01	0.03±0.01	0.30±0.67	0.05±0.01	0.04±0.02	0.05±0.01	0.06±0.03	0.05±0.01	0.464
<b>Cu</b>	12.96±11.02	16.17±15.65	8.76±5.51	12.58±10.43	12.58±10.47	18.59±33.71	5.68±2.21	9.58±5.88	14.64±23.31	0.905
<b>Zn</b>	103.97±147.18	37.83±44.83	16.65±23.92	21.85±21.90	38.69±25.89	28.43±50.13	111.02±144.63	41.79±51.19	18.84±20.99	0.162
<b>Pb</b>	0.86±0.75	1.34±1.58	0.66±0.33	1.02±0.76	0.75±0.52	1.46±2.29	1.48±2.26	0.64±0.30	0.61±0.53	0.810
<b>Fe</b>	35.88±55.87	23.20±30.08	13.98±18.43	8.44±10.24	15.04±16.70	12.65±18.43	28.78±51.03	10.73±9.57	46.96±98.47	0.759
<b>Mo</b>	0.74±0.20	0.74±0.74	0.64±0.08	0.82±0.21	0.96±0.53	0.62±0.07	0.78±0.05	0.76±0.19	0.81±0.04	0.198
<b>Ni</b>	11.06±16.15 <sup>a</sup>	2.18±1.46 <sup>a,b</sup>	1.02±0.41 <sup>b</sup>	2.07±2.06 <sup>a,b</sup>	1.95±1.01 <sup>a,b</sup>	1.92±1.24 <sup>a,b</sup>	1.93±1.53 <sup>a,b</sup>	2.03±0.83 <sup>a,b</sup>	1.75±0.22 <sup>a,b</sup>	0,042
<b>Mn</b>	11.61±17.80	2.03±1.03	1.77±1.07	1.91±1.40	2.30±1.04	2.91±3.31	2.93±2.76	2.13±1.18	1.99±1.41	0.225
<b>Ba</b>	71.34±9.45	43.72±6.78	43.78±1.06	53.11±18.37	49.84±7.09	54.01±8.24	45.04±6.01	81.63±106.73	213880±257	0.444
<b>Na</b>	51004±21391	15701±416	15353±1583	39453±55375	24925±15149	51284±72702	22463±748	30756±22030	28.41±3.42	0.269
<b>Hg</b>	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	-
<b>Al</b>	22.60±3.06	28.70±4.21	41.57±11.10	22.44±13.53	26.95±4.85	25.61±11.87	254.91±611.17	30.01±13.73	28.41±3.42	0.472
<b>Sr</b>	502.90±70.56	368.34±11.98	388.23±6.59	440.28±133.70	453.61±70.11	532.52±216.05	331.01±7.55	608.54±747.41	323.29±6.27	0.503
<b>U</b>	0.55±0.09	0.51±0.01	0.45±0.07	0.79±0.66	0.58±0.12	0.57±0.06	0.60±0.01	0.73±0.39	0.58±0.01	0.397
<b>V</b>	0.08±0.02 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>a,b</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.11±0.03 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a,b</sup>	0.10±0.01 <sup>a,b</sup>	0.13±0.01 <sup>a</sup>	0.12±0.04 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>	0.021

<sup>a,b,c</sup> Her parametre satırında farklı harfler bulunan gruplar arasındaki fark anlamlıdır.

\*  $p < 0.05$

\*\* Okunan değer analiz limitinin altında kaldığından 0 olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4'e göre Efeler ilçesi mahalleleri arasında ağır metal düzeyleri karşılaştırılmış ve As, Ni ve V ağır metal düzeylerinde farklılık tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ). As ağır metal düzeyinin Işıklı Mahallesi'nde anlamlı derecede yüksek; Yılmazköy ve Adnan Menderes Mahallelerinde ise düşük olduğu tespit edilmiştir. Orta ve Zafer Mahalleleri, Osman Yozgatlı Mahallesi, Efeler Mahallesi ve Mimar Mahallesi'nde tespit edilen As ortalama düzeylerinin Işıklı Mahallesi'ndeki düzeylere yakın olduğu; Kemer Mahallesi ve Umurlu Mahallesi'ndeki düzeylerin ise Yılmazköy ve Adnan Menderes Mahalleleri'ndeki düzeylere yakın olduğu tespit edilmiştir. Ni ağır metal düzeyi açısından yapılan değerlendirmede en yüksek Ni değerlerinin Adnan Menderes Mahallesi'nde ölçüldüğü ve en düşük düzeyin ise Kemer Mahallesi'nde görüldüğü saptanmıştır. V ağır metalinin ise Işıklı, Efeler, Osman Yozgatlı, Kemer, Umurlu Mahallelerinde diğer mahallelere göre daha yüksek düzeyde olduğu görülmüş, en düşük V düzeyi ise Adnan Menderes Mahallesi'nde tespit edilmiştir.



## 5. TARTIŞMA

Günümüzde su ve su kaynakları insanlık için önemli bir yere sahiptir. Artan nüfus, hızlı kentleşme ve endüstriyel gelişim su ve su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle küresel ısınma ve iklim değişikliği, yetersiz olan su kaynakları üzerinde kirliliğe sebep olmaktadır. Artan kirlilik yükündeki en büyük risk unsurlarından birini ağır metal kirliliği oluşturmaktadır. Endüstriyel ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklı atıklar, tarımsal gübreler ve ilaçlar, şehir şebekesindeki taşıyıcı ekipmanlarda kullanılan malzemeler nedeniyle ağır metal kirliliği görülmektedir (Connell ve Miller, 1984; Elinder, 1986; Duruibe ve diğerleri, 2007; McFarland ve diğerleri, 2008; Bouchard ve diğerleri, 2011; Moore ve diğerleri, 2012). Bu nedenle hem uluslararası hem de ulusal kılavuz ve standart limit düzeyleri oluşturulmuştur. İçme suyu sağlayan kamu idareleri, bu parametreler açısından denetim ve kontrollerini yaparak kamusal su ihtiyacını gidermeye çalışmaktadır (USEPA, 1996; EC, 2000; WHO, 2011).

Dünya genelinde, içme sularının ve kaynaklarının ağır metal kontaminasyonu vakaları bildirilmiştir (Smith ve diğerleri, 2000; Frisbie ve diğerleri, 2002; Kolo ve diğerleri, 2009; Chakrabarty ve Sarma, 2011; Walakira ve Okot-Okumu, 2011; Gichuki ve Gichumbi, 2012; Cooper, 2014; Mahato ve diğerleri, 2014; Zhaoyong ve diğerleri, 2015; Njoku ve diğerleri, 2016; Thomas ve diğerleri, 2016; Reilly, 2017; Singh ve Kamal, 2017; Guittard ve diğerleri, 2017; Singh ve diğerleri, 2018; Pieper ve diğerleri, 2018; Rahman ve Singh, 2018; Weldeslassie ve diğerleri, 2018; Bolisetty ve diğerleri, 2021; Fisher ve diğerleri, 2021; Rashid ve diğerleri, 2023). ABD'deki Flint şehrinde ağır metal kirliliğine bağlı direk ölümlerle sonuçlanan vakalar bildirilmiştir (Reilly, 2017; Pieper ve diğerleri, 2018). Bu nedenle, içme suyunun hem kamusal kurumlar hem de akademik çalışmalar aracılığıyla sürekli kontrol ve denetimi sağlanmalıdır. İçme suyunun uluslararası kılavuz ve standartlara uygun olması toplum sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Aydın ili Efeler ilçesindeki içme sularının ağır metal düzeylerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Araştırmamızda elde edilen ağır metal düzeylerini kıyaslamak amacıyla literatürde belirtilen kılavuz, standart ya da limit değerler; TS 266 standartları (TSE, 2005), T.C. Sağlık Bakanlığı insani kullanım amaçlı sular limit değerleri (RG, 2005), USEPA limit değerleri (USEPA, 1996), Japonya / Kanada / Avustralya kılavuz değerleri (NHMRC, 2014; MHLW,

2015; NRC, 2022), Avrupa Birliği içme suyu direktifi kılavuz değerleri (EC, 2000) ve WHO kılavuz değerleri (WHO, 2011) Tablo 5’de sunulmuştur.

**Tablo 5.** Ulusal ve uluslararası standart, limit ve kılavuz değerlerle karşılaştırılma ( $\mu\text{g/L}$ ).

Metaller	Araştırmada Elde Edilen Düzeyler ( $\bar{X} \pm S_x$ ; n=63)	TS 266 Standartı	T.C. Sağlık Bakanlığı Limit Değerleri	USEPA	Japonya, Kanada ve Avustralya Kılavuz Değerler	EC	WHO
As	1.66±0.53	10	10	10	10	-	10
B	53.30±103.62	-	1000	-	4000 (Av.) 5000 (Ka.) 1000 (Jap.)	1000	2400
Cd	0.10±0.01	5	5	5	2 (Av.) 7 (Ka.) 3 (Jap.)	5	3
Co	0.08±0.22	-	-	-	-	-	-
Cr	0.19±0.14	50	50	100	50	50	50
Cu	12.39±15.49	2000	2000	1300	2000 (Av.-Ka.) 1000 (Jap.)	2000	2000
Zn	46.56±78.58	5000	-	5000	5000 (Ka.) 3000 (Av.) 1000 (Jap.)	5000	5000
Pb	0.98±1.24	10	10	15	10 (Av.-Jap.) 5 (Ka.)	10	10
Fe	21.74±42.97	200	200	300	300	200	200
Mo	0.76±0.22	-	-	-	50 (Av.)	-	-
Ni	2.87±5.90	20	20	20	20 (Av.)	20	20
Mn	3.97±8.31	50	50	-	50 (Av.-Jap.) 20 (Ka.)	50	10
Ba	53.75±36.56	-	-	2000	2000	-	700
Na	30238±33137	-	200000	-	200000 (Ka.-Jap.) 180000 (Av.)	200000	20000
Hg	0	1	1	1	1 (Ka.) 5 (Jap.)	1	6
Al	53.46±203.46	200	200	200	200 (Av.), 290 (Ka.) 200 (Jap.)	200	200
Sr	438.74±363.99	-	-	-	7000 (Ka.)	-	-
U	0.60±0.026	-	-	-	20 (Ka.) 20 (Av.)	-	-

\* Av.=Avustralya; Ka.=Kanada; Jap.=Japonya.

Tablo 5’e göre araştırmada elde edilen tüm ağır metal düzeylerinin ulusal ve uluslararası kılavuz, standart ya da limit değerlerden düşük olduğu ve sağlık için risk taşımadığı belirlenmiştir.

Yalçın ve Oğuz (2010) tarafından Konya yöresinde içme sularında bazı ağır metaller (Al, Ag, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn)’ini belirlediği çalışmada Konya ilindeki 28 ilçe merkezinde bulunan su kaynaklarından, kuyulardan depo ve arıtma tesislerinden 50 numune toplanmış ve bu numunelerin elemental analizi ICP–AES metodu ile gerçekleştirilmiştir. Elde

edilen sonuçlara göre ağır metal düzeylerinin TS-266 standartlarında olduğu, ancak Hadim-2 ve Seydişehir numunelerindeki kurşun düzeyinin, T.C. Sağlık Bakanlığı, Avrupa Birliği içme suyu direktifi ve WHO kurşun üst limit değeri olan 10 µg/L'yi geçtiği saptanmıştır. Hadim-2 kaynağından su sağlayan mahallelerde ve Seydişehir ilçesinde bu suların tüketilmemesi, özellikle çocuk ve bebeklere mutlaka şişelenmiş içme suyu verilmesi gerektiği vurgulanmış, kurşunun olumsuz sağlık etkilerine karşı önlem alınması gerektiği bildirilmiştir.

Chakrabarty ve Sarma (2011) tarafından yapılan araştırmada Hindistan'daki Assam ilinin Kamrup ilçesinde içme suyu olarak kullanılan kaynakların Zn, Cu, Cd, Mn, Pb ve As açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada çok sayıda içme suyu kaynağının ağır metaller ile kirlendiği ortaya çıkarılmıştır. Arsenik konsantrasyonlarının WHO kılavuz değerlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Cu ve Zn konsantrasyonlarının da WHO kılavuz değerleri sınırında olduğu saptanmıştır. Mevcut çalışmada ağır metal kontaminasyon seviyeleri göz önüne alındığında, su kaynaklarının içme amaçlı kullanılmadan önce içilebilirliğinin test edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Kahraman ve diğerleri (2012) tarafından Bitlis ili içme sularının bazı ağır metal düzeylerini belirlemek amacıyla sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde il merkezi ve ilçelerdeki depo ve musluk sularından alınan toplam 164 numunede element analizleri (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb ve Co) yapılmıştır. Analiz sonucuna göre ağır metal düzeylerinin içme suyu standartlarında bildirilen kriterlere uygun olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak su kaynağının korunması ve su kalitesinin sağlanması amacıyla suların rutin olarak kontrol edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Göksel (2015) tarafından Afyonkarahisar ilinde yapılan çalışmada 48 mahalleden numune toplanmış ve elemental analizleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmada su numunelerinde Ag, B, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb ağır metal düzeylerinin deteksiyon limiti (0,001 µg/L)'in altında olduğu Cr, Mn, Zn, As, Se, Mo, Hg düzeylerinin limit ve kılavuz değerlerin altında olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra As düzeyinin, TS 266 standardı, T. C. Sağlık Bakanlığı insani tüketim amaçlı sular standardı ve WHO (2011)'de belirlenen kılavuz değerlerini aştığı bildirilmiştir. Sonuç olarak Afyonkarahisar ilinin farklı mahallelerinden alınan su numune ölçüm sonuçlarının, içme ve kullanma sularında tehlike oluşturacak düzeyde olmadığı belirtilmiştir. Ağır metal düzeylerindeki farklılığın minimum düzeyde olması için baraj suyu kullanılması önerilmiş, ayrıca taşıma ekipmanlarının ve tesisatların onarım ve yenilenme işlemlerinin zamanında yapılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Bu araştırmalara benzer şekilde araştırmamızda da mahalleler arasında As, Ni ve V ağır metal dőzeyleri arasında farklılık tespit edilmiş olup As, Ni, V ağır metal dőzeylerinin ulusal ve uluslararası kılavuz, standart ya da limit değerlerden dőřük olduğu gőrőlmüřtür. Mahalleler arasındaki farklılıkların sebebinin alt yapı taşıyıcı ekipmanlarındaki ve tesisatlardaki korozyonlardan kaynaklı olabileceği dőřünőlmektedir (Duruibe ve diğerleri, 2007; Moore ve diğerleri, 2012; Gőkssel, 2015).

Bibi ve diğerleri (2016) tarafından yapılan araştırmada Pakistan'daki Lakki Marwat ilçesinin içme suyunda farklı elementlerin varlığının araştırılması amaçlanmıştır. Lakki Marwat bōlgesinin on yedi farklı yerinden toplanan su örneklerinde Fe, Zn, Pb, Cd ve Cr konsantrasyonları incelenmiştir. Tőm örneklerde demir konsantrasyonunun standart değerlerin üzerinde olduğu, kadmiyumun sekiz yerde WHO standart değerinin üzerinde bulunduğu saptanmıştır. Mevcut alışmadan, Lakki Marwat ilçesinin içme suyunda demirin genellikle standart limitleri aştığı, kalan elementlerin ise farklı bōlgelerde değişkenlik gōsterdiđi bildirilmiştir.

Yaşar ve diğerleri (2016) Mardin ili genelinde bulunan içme sularında Mn, Co, Cu ve Zn analizleri yaparak bu suların TS 266 standardı, insani amaçlı içme ve kullanma suyu standartlarına uygun olup olmadığının tespitini amaçlamışlardır. Araştırmada Mardin il genelinde bulunan içme suyu kaynaklarından toplanan 15 numunenin analizi gerçekleştirilmiştir. Mn için yapılan analizler sonucunda elde edilen değerlerin TS 266 standartlarına gōre yőksek olduğu, Co değerlerinin 3 nokta hariç standartların üzerinde olduğu, Zn ve Cu konsantrasyonlarının ise standartların altında olduğu gőrőlmüřtür. Sulardaki Mn ve Co dőzeylerini azaltmaya yōnelik adımların atılması ve dőzenli denetimlerin sağlanması gerekliliği vurgulanmıştır.

Yılmaz ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada Dőzce şebeke suyunun ve şişelenmiş kaynak sularının ağır metal içeriğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 14 ayrı noktadan, aynı tarihte musluk suyu numuneleri alınmıştır. Ticari doğal kaynak suyu numuneleri ise 500 ml pet şişelerde satışa sunulan 10 farklı markadan oluşmuştur. Su örneklerindeki ağır metal değerlerini belirlemek için elemental analizler ICP MS cihazı ile yapılmıştır. Alınan musluk suyu ve ticari su numunelerindeki ağır metal dőzeylerinin WHO, USEPA ve T.C. Sağlık Bakanlığı'nın önerdiği kılavuz ve limit değerlerden dőřük olduğu belirlenmiştir. Dőzce ilinde musluk suyu ve ticari şişe sularında ağır metal açısından sağlık riski olmadığı belirlenmiştir.

Fallahzadeh ve diğeri (2017) tarafından yapılan çalışmada İran'da bulunan Ardakan, Meibod, Abarkouh, Bafgh şehirlerindeki 39 su kuyusu ve 5 su deposunda As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonunun araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmada risk değerlendirmesi için en önemli ve etkili parametreleri bulmak için duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçlar, 39 kuyudaki tüm metallerin (3 vakada demir hariç) konsantrasyonunun USEPA, WHO ve İran Kirlilik Kontrol Dairesi standartlarında belirtilen seviyelere ulaştığını göstermiştir. Kanserojen olmayan tehlike için hesaplanan HQ (sağlık kalitesi) değerleri makul bir risk olduğunu göstermiştir. Duyarlılık analizi, kanserojen risk açısından konsantrasyonun ve ortalama vücut ağırlığının (BW) önemli olduğunu göstermiştir.

Ghaderpoori ve diğeri (2018) tarafından yapılan çalışmada, İran'daki Khorramabad şehrinin içme sularındaki ağır metal konsantrasyonların ve su kalitesi indekslerinin (ağır metal kirlilik indeksi ve ağır metal değerlendirme indeksi) belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında Khorramabad şehir haritasına göre, şehir dağıtım sistemi üzerinden içme suyu örnekleme için 45 nokta seçilmiş ve belirlenen noktalardan numuneler toplanmıştır. Araştırmaya göre Zn, Pb, Cd, Cr ve Cu için HPI (ağır metal kirlilik indeksi) ve HEI'nin (ağır metal değerlendirme indeksi) sırasıyla 46.58 ve 46.58 olduğu saptanmıştır. İndekslere göre şehir içme suyu kalitesinin, ağır metaller açısından iyi durumda olduğu bildirilmiştir.

Cipriani-Avila ve diğeri (2020) tarafından yapılan çalışmada Ekvador'daki Quito, Ibarra ve Guayaquil şehirlerindeki içme suyunun kalitesi, çoklu element analizi ve ağır metal kirlilik indeksi (HPI) ile değerlendirilmiştir. Toplam 102 içme suyu ve 6 doğal kaynak suyu numunesi toplanmış ve analiz edilmiştir. Analiz kapsamında sonuçlar, su kalitesinin yerel ve uluslararası yönergelere uygun olduğunu göstermiştir. HPI değerlendirmesinde incelenen üç şehrin farklı mahallelerinden alınan su örneklerinde önemli farklılıklar bulunmamıştır. Ancak numunelerin %2,8'inde WHO kılavuz değerlerinin üzerindeki konsantrasyonlarda kurşun bulunmuştur. Bu nedenle, içme suyunun ağır metallerle kirlenmesini önlemek için, tüm ülke genelinde tesisat sisteminin kalitesinin ve yaşının değerlendirilmesi önerilmiştir.

Fisher ve diğeri (2021) tarafından yapılan çalışmada düşük ve orta gelirli ülkeler olan Gana, Mali ve Nijer'in kırsal bölgelerindeki 261 su sisteminden (el pompaları ve musluklar) su numuneleri toplanarak değerlendirilmiştir. Analiz numunelerinin %82'sinde kurşun %72'sinde pirinç alaşımlarının miktarının IPC (Uluslararası Tesisat Kanunu) değerlerini aştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra pirinç alaşımlarının içme suyu numunelerindeki kurşun konsantrasyonunu 3.8 kat artırdığı belirlenmiştir.

Dünya ve ülkemiz genelinde yapılan araştırmalarla ilgili literatür değerlendirildiğinde, dünyanın farklı Şehirlerindeki içme sularında ağır metal kontrasyonlarının yüksek olduğu bildirilmiş ve önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır (Chakrabarty ve Sarma, 2011; Yılmaz ve diğerleri, 2014; Fallahzadeh ve diğerleri, 2017; Fisher ve diğerleri, 2021). Ağır metal kontrasyonlarındaki artışın sebebi olarak genellikle içme suyu kaynaklarının kirlenmesi, eskiyen altyapı ve taşıma ekipmanları ya da içme suyu tesisatlarındaki korozyon gösterilmiştir (Kahraman ve diğerleri, 2012; Cipriani-Avila ve diğerleri, 2020). Bu kapsamda içme suyu kaynaklarının ve içme suyu olarak kullanılan musluk sularının denetlenmesinin ve kontrolünün önemi vurgulanmıştır (Yılmaz ve diğerleri, 2014). Araştırmamızdan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Efeler ilçesinin çeşme sularının ağır metaller açısından risk taşımadığı görölmüştür.

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Su, tüm insanlık için temel bir ihtiyaç olduğu için suyun temini ve dağıtımını kamusal bir hizmet haline gelmiştir. Kamu kurumları tarafından yönetilen su kaynaklarının idaresi, suyun arıtılması, dağıtımı ve atık suyun yönetimi bir dizi faaliyetle gerçekleştirilmektedir. Bu kurumlar aynı zamanda su kalitesinin denetlemek, suyun düzenli olarak test edilmesini ve standartlara uygun olmasını sağlamakla yükümlüdürler. İçme suyu abonelikleri ile elde edilen gelirler, altyapının sürdürülmesi, bakımı, iyileştirilmesi ve gelecekteki su ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır.

İçme suyu kalitesinin denetlenmesi toplum sağlığını ilgilendiren bir durumdur. Kaynakların durumu, suyun elde edilme yöntemleri, alıcı ortamın kontaminasyonu gibi süreçlerle içme suları kirlilikle karşı karşıya kalmaktadır. Kirliliğin büyük bir bölümü ise ağır metaller nedeniyle oluşmaktadır. Bu kirlilik; endüstri, madencilik, tarımsal ve evsel atıklardan kaynaklanmakla birlikte, su taşıyıcı ekipmanlarının içerik ve korozyonu nedeniyle de oluşmaktadır. Bu kontaminasyonların önüne geçmenin tek yolu ise içme suyu niteliğindeki musluk sularının ve kaynak sularının rutin kontrol ve denetimidir.

Araştırmamızda, Efeler ilçesinde belirlenen ağır metal düzeylerinin ulusal ve uluslararası kılavuz, standart ya da limit değerlere göre düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Mahalleler arasında As, Ni ve V ağır metallerinin düzeyleri farklı olup bu farklılığın taşıyıcı ekipman içeriği ya da korozyonlardan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Bu kapsamda içme sularındaki ağır metal düzeylerinin rutin kontrolü ve denetiminin yapılması zaruri bir ihtiyaçtır. Eskiye ekipmanların kontrolü sıklıkla yapılmalı, gerektiğinde altyapının yenilenmesi düşünülmeli ve geleceğe dönük stratejik planlar bugünden oluşturulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Adan, A. (2012). Cognitive performance and dehydration. *Journal of the American College of Nutrition*, 31(2), 71-78.
- Adelolu, S. B., Khan, S., Patti, A. F. (2021). Arsenic contamination of groundwater and its implications for drinking water quality and human health in under-developed countries and remote communities a review. *Applied Sciences*, 11(4), 1926.
- Ahmed, S. F., Kumar, P. S., Rozbu, M. R., Chowdhury, A. T., Nuzhat, S., Rafa, N., Mofijur, M. (2022). Heavy metal toxicity, sources, and remediation techniques for contaminated water and soil. *Environmental Technology Innovation*, 25, 102114.
- Akcil, A., Vegliò, F., Ferella, F., Okudan, M. D., Tuncuk, A. (2015). A review of metal recovery from spent petroleum catalysts and ash. *Waste Management*, 45, 420-433.
- Akdeniz, V., Kınık, Ö., Yerlikaya, O., Akan E. (2016). İnsan sağlığı ve beslenme fizyolojisi açısından çinkonun önemi. *Akademik Gıda*, 14(3), 307-314.
- Akın, M., Akın, G. (2007). Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47(2), 105-118.
- Alemdar S, Kahraman T, Ağaoğlu S, Alişarlı M (2009). Bitlis ili içme sularının bazı mikrobiyolojik ve fizikokimyasal özellikleri, *Ekoloji*, 19(73): 29-38.
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: *Ecological Risks and Human Health Implications. Toxics*, 9(3), 42.
- Alim, M. A., Ashraf, A. A., Rahman, A., Tao, Z., Roy, R., Khan, M. M., Shirin, S. (2021). Experimental investigation of an integrated rainwater harvesting unit for drinking water production at the household level. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102318.
- Alimohammadi, V., Maghfouri, M., Nourmohammadi, D., Azarsa, P., Gupta, R., Saberian, M. (2021). Stormwater runoff treatment using pervious concrete modified with various nanomaterials: A comprehensive review. *Sustainability*, 13(15), 8552.
- Al-Ansari, N., Abbas, N., Laue, J., Knutsson, S. (2021). Water scarcity: Problems and possible solutions. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 11(2), 243-312.



- Al-Dulaimi, G. A., Younes, M. K. (2017). Assessment of potable water quality in Baghdad City, Iraq. *Air, Soil and Water Research*, 10, 1178622117733441.
- Ammann, A. A. (2007). Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP MS): a versatile tool. *Journal of Mass Spectrometry*, 42(4), 419-427.
- ALS (Assembly of Life Sciences). (1979). *Iron*. Subcommittee on Iron. US: University Park Press.
- Arega, T. (2020). Sodium and potassium analysis of drinking water quality assessment and its health effects in Ethiopia: a retrospective study. *Journal Oral Healthy Dental*, 4(1), 261-266.
- Armstrong, L. E., Johnson, E. C. (2018). Water intake, water balance, and the elusive daily water requirement. *Nutrients*, 10(12), 1928.
- ASH (American Society of Hematology) (2019). Iron deficiency. [https://ashpublications.org/blood/article/133/1/30/6613/Iron-deficiency adresinden erişildi](https://ashpublications.org/blood/article/133/1/30/6613/Iron-deficiency%20adresinden%20eri%C5%9Fildi).
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2005). Toxicological Profile for Nickel. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf> adresinden erişildi.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2007). Toxicological Profile for Barium. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp24.pdf> adresinden erişildi.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2008). Toxicological Profile for Aluminium. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22.pdf> adresinden erişildi.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2020). Toxicological Profile for Lead. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf> adresinden erişildi.
- Aversa, R., Petrescu, R. V., Apicella, A., Petrescu, F. I. (2016). Physiologic human fluids and swelling behavior of hydrophilic biocompatible hybrid ceramo-polymeric materials. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(4), 962-972.
- Aziz, H. A., Ghazali, M. F., Hung, Y. T., Wang, L. K. (2017). Toxicity, Source, and Control of Barium in the Environment. *In Handbook of Advanced Industrial and Hazardous Wastes Management* (pp. 463-482). CRC Press.
- Baby, J., Raj, J. S., Biby, E. T., Sankarganesh, P., Jeevitha, M. V., Ajisha, S. U., Rajan, S. S. (2010). Toxic effect of heavy metals on aquatic environment. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(4).

- Bacha, A. A., Durrani, M. I., Paracha, P. I. (2010). Chemical characteristics of drinking water of Peshawar. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(10), 1017-1027.
- Badoux, A., Andres, N., Techel, F., Hegg, C. (2016). Natural hazard fatalities in Switzerland from 1946 to 2015. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(12), 2747-2768.
- Bakırcı S. (2018). Aydın İlinde Üretimi yapılan Bazı Arı Ürünlerinde Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya (Veteriner) Anabilim Dalı
- Bakirdere, S., Orenay, S., Korkmaz, M. (2010). Effect of boron on human health. *The Open Mineral Processing Journal*, 3(1).
- Barakat, M. A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(4), 361-377.
- Barceloux, D. G., Barceloux, D. (1999). Vanadium. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 37(2), 265-278.
- Belhassan, K. (2021). Water scarcity management. In *Water Safety, Security and Sustainability: Threat Detection and Mitigation* (pp. 443-462). Cham: Springer International Publishing.
- Berlin, M., Rudell, B. (1986). Uranium. *Handbook on the Toxicology of Metals*, 2, 2.
- Bhan, A., Sarkar, N. N. (2005). Mercury in the environment: effect on health and reproduction. *Reviews on Environmental Health*, 20(1), 39-56.
- Bibi, A., Ullah, F., Mehmood, S., Bibi, K., Khan, S. U., Khattak, A., Ullah Khan, R. (2016). Moringa oleifera Lam. leaf extract as bioregulator for improving growth of maize under mercuric chloride stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 66(6), 469-475.
- Bielicka, A., Bojanowska, I., Wisniewski, A. (2005). Sequential Extraction of Chromium from Galvanic Wastewater Sludge. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(2).
- Bilotta, G. S., Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849-2861.
- Biswas, A. K., Tortajada, C. (2019). Water crisis and water wars: myths and realities. *International Journal of Water Resources Development*, 35(5), 727-731.

- Bolisetty, S., Rahimi, A., Mezzenga, R. (2021). Arsenic removal from Peruvian drinking water using milk protein nanofibril–carbon filters: a field study. *Environmental Science: Water Research Technology*, 7(12), 2223-2230.
- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., Hoffman, L. C. (2016). Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 32-48.
- Bostrom, H., Wester, P. O. (1967). Trace elements in drinking water and death rate in cardiovascular disease. *Acta Medica Scandinavica*, 181, 465-473.
- Bouchard, M. F., Sauvé, S., Barbeau, B., Legrand, M., Brodeur, M. È., Bouffard, T., ... Mergler, D. (2011). Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 119(1), 138-143.
- Bourgeois, M. M. (2015). Barium. *Hamilton Hardy's Industrial Toxicology*, 57-62.
- Brenniman, G. R., Namekata, T., Kojola, W. H., Carnow, B. W., Levy, P. S. (1979). Cardiovascular disease death rates in communities with elevated levels of barium in drinking water. *Environmental Research*, 20(2), 318-324.
- Brooks, C. S. (1986). Metal recovery from industrial wastes. *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 38(7), 50-57.
- Bua, G. D., Albergamo, A., Annuario, G., Zammuto, V., Costa, R., Dugo, G. (2017). High-throughput ICP-MS and chemometrics for exploring the major and trace element profile of the Mediterranean sepia ink. *Food Analytical Methods*, 10, 1181-1190.
- Bulska, E., Wagner, B. (2016). Quantitative aspects of inductively coupled plasma mass spectrometry. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2079), 20150369.
- Cabrera, F., Clemente, L., Barrientos, E. D., López, R., Murillo, J. M. (1999). Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood. *Science of the Total Environment*, 242(1-3), 117-129.
- Calow, R. C., MacDonald, A. M., Nicol, A. L., Robins, N. S. (2010). Ground water security and drought in Africa: linking availability, access, and demand. *Groundwater*, 48(2), 246-256.

- Carpenter, S. B., Kistler, R. B. (2006). Boron and borates. *Industrial Minerals and Rocks, Society Mining Metallurgy and Exploration (SME)*, 275-284.
- Cassardo, C., Jones, J. A. A. (2011). Managing water in a changing world. *Water*, 3(2), 618-628.
- Chakrabarty, S., Sarma, H. P. (2011). Heavy metal contamination of drinking water in Kamrup district, Assam, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179, 479-486.
- Chan, P. C., Herbert, R. A., Roycroft, J. H., Haseman, J. K., Grumbein, S. L., Miller, R. A., Chou, B. J. (1998). Lung tumor induction by inhalation exposure to molybdenum trioxide in rats and mice. *Toxicological Sciences*, 45(1), 58-65.
- Chellaney, B. (2013). *Water, peace, and war: Confronting the global water crisis*. Rowman Littlefield.
- Chen, C. Y., Driscoll, C. T., Lambert, K., Mason, R. P., Rardin, L. (2012). Marine mercury fate: From sources to seafood consumers. *Environment Research*. 119:1-2.
- Chen, H., Wang, J., Huang, J. (2014). Policy support, social capital, and farmers' adaptation to drought in China. *Global Environmental Change*, 24, 193-202.
- Chowdhury, S., Mazumder, M. J., Al-Attas, O., Husain, T. (2016). Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the Total Environment*, 2016, 569, 476-488.
- Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Jara-Negrete, E., Barrado, M., Arcos, C., Mafla, S., Ochoa-Herrera, V. (2020). Heavy metal assessment in drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaquil. *Journal of Water and Health*, 18(6), 1050-1064.
- Clayton, C. R., Lu, Y. C. (1989). A bipolar model of the passivity of stainless steels—III. The mechanism of MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> formation and incorporation. *Corrosion Science*, 29(7), 881-898.
- Connell, D. W., Miller, G. J. (1984). *Chemistry and ecotoxicology of pollution* (Vol. 65). John Wiley Sons.
- Connor, R. (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world* (Vol. 1). UNESCO publishing.

- Conrad, M. E., Umbreit, J. N. (2002). Pathways of iron absorption. *Blood Cells, Molecules, and Diseases*, 29(3), 336-355.
- Cooper, W. J. (2014). Responding to crisis: The West Virginia chemical spill. *Environmental Science Technology*, 48(6), 3095-3095.
- Copat, C., Conti, G. O., Fallico, R., Sciacca, S., Ferrante, M. (2015). Heavy metals in fish from the Mediterranean Sea: potential impact on diet. In *The Mediterranean Diet* (pp. 547-562). Academic Press.
- Cosgrove, W. J., and Loucks, D. P. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51(6), 4823-4839.
- Costello, A., Abbas, M., Allen, A., Ball, S., Bell, S., Bellamy, R., ... Patterson, C. (2009). Managing the health effects of climate change: lancet and University College London Institute for Global Health Commission. *the Lancet Medical Journal*, 373(9676), 1693-1733.
- Cothorn, C. R., Lappenbusch, W. L., Cotruvo, J. A. (1983). Health effects guidance for uranium in drinking water. *Health Physics*, 44, 377-384.
- Curzon, M. E. J., Spector, P. C., Iker, H. P. (1978). An association between strontium in drinking water supplies and low caries prevalence in man. *Archives of Oral Biology*, 23(4), 317-321.
- Çam, S., Ereş, F. S., Hiçsönmez, Ü. (2007). Uranyumun Kimyasal Zehirliliği. *TSK Korucu Hekimlik Bülteni*.
- Çetinkaya, B. (2006). *Stronsiyum immobilizasyonu için zirkonyum fosfat tozlarının hazırlanması* (Master's thesis, Ege Üniversitesi).
- Çolak, C. (2014). *Ülkemizde Geleneksel Tedavilerde Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Tıbbi Bitkilerin Kök Ve Çiçeklerinde Ağır Metal Ve Mineral Besin Element Tayini* (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Çolak Esetlili, B. (2010) *Aydın-Germencik Alangüllü Havzası termal su kaynaklarında bulunan radyonüklitlerin ve ağır metallerin toprak, su ve bitkilerde yarattığı kirlilik üzerinde araştırmalar*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Dartmann, J., Sadlowsky, B., Dorsch, T., Johannsen, K. (2010). Copper corrosion in drinking water systems—effect of pH and phosphate-dosage. *Materials and Corrosion*, 61(3), 189-198.
- Davis, J. A. (1984). Complexation of trace metals by adsorbed natural organic matter. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(4), 679-691.
- Davis, J. R. (Ed.). (2000). *Nickel, cobalt, and their alloys*. ASM international.
- Dawoud, M. M. A., Hegazy, M. M., Helew, W. K., Saleh, H. M. (2021). Overview of environmental pollution and clean management of heavy metals and radionuclides by using microcrystalline cellulose. *Journal of Nuclear Energy Science and Power Generation Technology*, 3(2).
- Dearsley, O., Omar, A. W. H., Maspalma, S. W. (2022). Investigation of Phytochemical and Trace Metal Elements in Medicinal Plants Obtained in Girei Local Government Area, Adamawa State, Nigeria. *African Journal of Advanced Sciences and Technology Research*, 8(1), 32-57.
- Dehaine, Q., Tijsseling, L. T., Glass, H. J., Törmänen, T., Butcher, A. R. (2021). Geometallurgy of cobalt ores: a review. *Minerals Engineering*, 160, 106656.
- Del Giudice, E., Elia, V., Tedeschi, A. (2009). The role of water in the living organisms. *Neural Network World*, 19(4), 355.
- De Vos, W., Tarvainen, T., Salminen, R., Reeder, S., De Vivo, B., Demetriades, A., ... & Petersell, V. (2006). Geochemical Atlas of Europe. Part 2. *Interpretation of geochemical maps, additional tables, figures, maps and related publications*. Geological Survey of Finland, Espoo.
- Dill, H. G. (2010). The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews*, 100(1-4), 1-420.
- Dinka, M. O. (2018). Safe drinking water: concepts, benefits, principles and standards. *Water Challenges of an Urbanizing World*, 163.
- Dudka, S., Piotrowska, M., Terelak, H. (1996). Transfer of cadmium, lead, and zinc from industrially contaminated soil to crop plants: a field study. *Environmental Pollution*, 94(2), 181-188.

- Duker, A. A., Carranza, E., Hale, M. (2005). Arsenic geochemistry and health. *Environment International*, 31(5), 631-641.
- Duruibe, Ogwuegbu, Egwurugwu. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112-118.
- EC (European Commission). (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0060> adresinden erişildi.
- Edwards, M., Ferguson, J. F., Reiber, S. H. (1994). The pitting corrosion of copper. *Journal-American Water Works Association*, 86(7), 74-90.
- Eichelberger, L., Hickel, K., Thomas, T. K. (2020). A community approach to promote household water security: Combining centralized and decentralized access in remote Alaskan communities. *Water Security*, 10, 100066.
- Elinder, C. G. (1986). Zinc. W: Friberg L., Nordberg FF, Vouk V.[red.]. Handbook on the toxicology of metals. Vol. II. [https://www.academia.edu/42363530/Handbook\\_on\\_the\\_Toxicology\\_of\\_Metals\\_3rd\\_Edition](https://www.academia.edu/42363530/Handbook_on_the_Toxicology_of_Metals_3rd_Edition) adresinden erişildi.
- Emek, Ö. A. (2019). *Büyük Menderes Nehrinden Avlanan Sazan Balıklarında (Cyprinus carpio) Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya (Veteriner) Anabilim Dalı.
- Emek, Ö. A. (2022). *Efeler İlçesi Sürdürülebilir İklim Değişimi Eylem Planı (SECAP)*, Aydın: T.C. Efeler Belediyesi Yayınları.
- Emelina, G. (2011). Assessment of the Effect on Acid Mine Drainage on Mugpog River Ecosystem, Marinduque and Possible Impact on Human Communities Philippines, Investor Relation, *Technology Business*. Pp 1-5.
- Eyankware, M. O., Ephraim, B. E. (2021). A comprehensive review of water quality monitoring and assessment in Delta State, Southern Part of Nigeria. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 3(1), 16-28.
- Fallahzadeh, R. A., Ghaneian, M. T., Miri, M., Dashti, M. M. (2017). Spatial analysis and health risk assessment of heavy metals concentration in drinking water resources. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 24790-24802.

- Falkenmark, M. (1986). Fresh water: Time for a modified approach. *Ambio Journal of Environment and Society*, 192-200.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2017). *Water for Sustainable Food and Agriculture A report produced for the G20 Presidency of Germany*. <https://www.fao.org/3/i7959e/i7959e.pdf> adresinden erişildi.
- Farfán-García, E. D., Castillo-Mendieta, N. T., Ciprés-Flores, F. J., Padilla-Martínez, I. I., Trujillo-Ferrara, J. G., Soriano-Ursúa, M. A. (2016). Current data regarding the structure-toxicity relationship of boron-containing compounds. *Toxicology Letters*, 258, 115-125.
- Feary, J., Cullinan, P. (2019). *Heavy Metals. Reference Module in Biomedical Sciences*, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Ferronato, N., Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060.
- Fisher, M. B., Guo, A. Z., Tracy, J. W., Prasad, S. K., Cronk, R. D., Browning, E. G., ... Bartram, J. K. (2021). Occurrence of lead and other toxic metals derived from drinking-water systems in three West African countries. *Environmental Health Perspectives*, 129(4), 047012.
- Fisenne, I. M., Welford, G. A. (1986). Natural U concentrations in soft tissues and bone of New York City residents. *Health Physics*, 50(6), 739-746.
- Frengstad, B., Skrede, A. K. M., Banks, D., Krog, J. R., Siewers, U. (2000). The chemistry of Norwegian groundwaters: III. The distribution of trace elements in 476 crystalline bedrock groundwaters, as analysed by ICP-MS techniques. *Science of the Total Environment*, 246(1), 21-40.
- Frisbie, S. H., Ortega, R., Maynard, D. M., Sarkar, B. (2002). The concentrations of arsenic and other toxic elements in Bangladesh's drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 110(11), 1147-1153.
- Fox, J. G., Dangler, C. A., Taylor, N. S., King, A., Koh, T. J., Wang, T. C. (1999). High-salt diet induces gastric epithelial hyperplasia and parietal cell loss, and enhances *Helicobacter pylori* colonization in C57BL/6 mice. *Cancer Research*, 59(19), 4823-4828.



- Förstner, U. (1980) *Inorganic pollutants, particularly heavy metals in estuaries. Chemistry and Biochemistry of Estuaries* (Eds. Olausson, E. Cato, I.), Chichester: John Wiley Sons Ltd., 307-348.
- Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407-418.
- Fu, F., Xie, L., Tang, B., Wang, Q., Jiang, S. (2012). Application of a novel strategy—Advanced Fenton-chemical precipitation to the treatment of strong stability chelated heavy metal containing wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 189, 283-287.
- Gadzała-Kopciuch, R., Berecka, B., Bartoszewicz, J., Buszewski, B. (2004). Some considerations about bioindicators in environmental monitoring. *Polish Journal of Environmental Studies*, 13(5), 453-462.
- Gal, J., Hursthouse, A., Tatner, P., Stewart, F., Welton, R. (2008). Cobalt and secondary poisoning in the terrestrial food chain: data review and research gaps to support risk assessment. *Environment International*, 34(6), 821-838.
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679.
- Ghaderpoori, M., Jafari, A., Ghaderpoury, A., Karami, M. (2018). Heavy metals analysis and quality assessment in drinking water—Khorramabad city, Iran. *Data in brief*, 16, 685-692.
- Ghani, A., Ghani, A. (2011). Effect of chromium toxicity on growth, chlorophyll and some mineral nutrients of Brassica juncea L. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany*, 2(1), 9-15.
- Gichuki, J, and Gichumbi, M., (2012). Physical-Chemical of Ground water from Kihara Division, Kiambu County, Kenya. *Journal of Chemical, Biological and Physical Science*. 4: 2193-2200.
- Gilligan, R., Nikoloski, A. N. (2020). The extraction of vanadium from titanomagnetites and other sources. *Minerals Engineering*, 146, 106106.
- Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., Groneberg, D. A. (2006). The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1(1), 1-6.

- Goering, P. L. (1993). Lead-protein interactions as a basis for lead toxicity. *Neurotoxicology*, 14(2), 45-60.
- Gonzalez-Montana, J. R., Escalera-Valente, F., Alonso, A. J., Lomillos, J. M., Robles, R., Alonso, M. E. (2020). Relationship between vitamin B12 and cobalt metabolism in domestic ruminant: an update. *Animals*, 10(10), 1855.
- Gould, E. (2009). Childhood lead poisoning: conservative estimates of the social and economic benefits of lead hazard control. *Environmental Health Perspectives*, 117(7), 1162-1167.
- Gourbesville, P. (2008). Challenges for integrated water resources management. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), 284-289.
- Göksel, E. (2015). *Afyon İli Çeşme Sularında Bazı Ağır Metal Kirlilik Düzeylerinin ICP-MS İle Araştırılması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 2015.
- Graedel, T. E., Miatto, A. (2022). US Cobalt: A Cycle of Diverse and Important Uses. *Resources, Conservation and Recycling*, 184, 106441.
- Graziano, J. H., Popovac, D., Factor-Litvak, P., Shrout, P., Kline, J., Murphy, M. J., ... Stein, Z. (1990). Determinants of elevated blood lead during pregnancy in a population surrounding a lead smelter in Kosovo, Yugoslavia. *Environmental Health Perspectives*, 89, 95-100.
- Greenwood, N. N., Earnshaw, A. (2012). *Chemistry of the Elements*. Elsevier.
- Greer, R. A. (2020). A review of public water infrastructure financing in the United States. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(5), e1472.
- Greve, J., Alonso, A., Bordini, A. C. P., Camanho, G. L. (2007). Correlation between body mass index and postural balance. *Clinics*, 62, 717-720.
- Groenfeldt, D. (2019). *Water ethics: a values approach to solving the water crisis*. Routledge.
- Grönwall, J., Danert, K. (2020). Regarding groundwater and drinking water access through a human rights lens: Self-supply as a norm. *Water*, 12(2), 419.
- Gude, V. G. (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(4), 591-609.

- Guittard, A., Baraer, M., McKenzie, J. M., Mark, B. G., Wigmore, O., Fernandez, A., ... Young, K. R. (2017). Trace-metal contamination in the glacierized Rio Santa watershed, Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 1-16.
- Gupta, E. K. (Ed.). (2008). *Water crisis in India*. Atlantic Publishers Dist.
- Gupta, C. K. (2017). *Extractive metallurgy of molybdenum*. Routledge.
- Guzzi, G., La Porta, C. A. (2008). Molecular mechanisms triggered by mercury. *Toxicology*, 244(1), 1-12.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. (1997). *Su kalitesi*. TC Sağlık Bakanlığı.
- Günther, D., Hattendorf, B. (2005). Solid sample analysis using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 24(3), 255-265.
- Hall, J. E., Hall, M. E. (2020). *Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Hanjra, M. A., Qureshi, M. E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 35(5), 365-377.
- Handford, C. E., Elliott, C. T., Campbell, K. (2015). A review of the global pesticide legislation and the scale of challenge in reaching the global harmonization of food safety standards. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 11(4), 525-536.
- Heather, H., (2008). *Manganese. Understanding The Elements of the Periodic table*. ISBN. The Rosen Publishing group. Pp 48.
- Hair, J. F. Anderson, RE, Tatham, RL, Black, WC (1995). *Multivariate data analysis* (4. ed.). Reno: Prentice Hall PTR.
- Hawkins, M. (2001). Why we need cobalt. *Applied Earth Science*, 110(2), 66-70.
- Hering, D., Carvalho, L., Argillier, C., Beklioglu, M., Borja, A., Cardoso, A. C., ... Birk, S. (2015). Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress—An introduction to the MARS project. *Science of the Total Environment*, 503, 10-21.
- Hindmarsh, J. T., McCurdy, R. F., Savory, J. (1986). Clinical and environmental aspects of arsenic toxicity. *CRC Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 23(4), 315-347.

- Hinrichsen, D., Tacio, H. (2002). *The coming freshwater crisis is already here. The linkages between population and water*. Washington, DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars, 1-26.
- Hoekstra, A. Y., Buurman, J., Van Ginkel, K. C. (2018). Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*, 13(5), 053002.
- Hong, S. (2018). *Measuring and Controlling Metabolic Heat in Biological Systems* (Doctoral dissertation, UC San Diego).
- Hossain, M. Z. (2015). Water: The most precious resource of our life. *Global Journal of Advanced Research*, 2(9), 1436-1445.
- HSDB (2016). Strontium Chromate, *The Nat. Lib. Medic. Toxicol.*, US Nat. Lab of Med, <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+2546> adresinden erişildi.
- Hu, Y., Cheng, H., Tao, S. (2017). Environmental and human health challenges of industrial livestock and poultry farming in China and their mitigation. *Environment International*, 107, 111-130.
- Hu, J., Irfan Iqbal, M., Sun, F. (2020). Wool Can Be Cool: Water-Actuating Woolen Knitwear for Both Hot and Cold. *Advanced Functional Materials*, 30(51), 2005033.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204.
- Hwang, K. C., Lee, S., Lee, H. C. (1998). Effects of alloying elements on microstructure and fracture properties of cast high speed steel rolls: Part I: Microstructural analysis. *Materials Science and Engineering: A*, 254(1-2), 282-295.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.

- Jenner, G. A., Longerich, H. P., Jackson, S. E., Fryer, B. J. (1990). ICP-MS—A powerful tool for high-precision trace-element analysis in Earth sciences: Evidence from analysis of selected USGS reference samples. *Chemical Geology*, 83(1-2), 133-148.
- Johnson, D. B., Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of the Total Environment*, 338(1-2), 3-14.
- Jomova, K., Jenisova, Z., Feszterova, M., Baros, S., Liska, J., Hudecova, D., ... Valko, M. (2011). Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. *Journal of Applied Toxicology*, 31(2), 95-107.
- Joseph, L., Jun, B. M., Flora, J. R., Park, C. M., Yoon, Y. (2019). Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere*, 229, 142-159.
- Jumbe, A. S., Nandini, N. (2009). Heavy metals analysis and sediment quality values in urban lakes. *American Journal of Environmental Sciences*, 5(6), 678.
- IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation) (2016). Global Burden of Disease Compare. Institute for Health Metrics and Evaluation, Seattle, WA: University of Washington. <https://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2016-burden-risk-1990-2016>. adresinden erişildi.
- Islam, S. M. F., Karim, Z. (2019). World's demand for food and water: The consequences of climate change. *Desalination-Challenges and Opportunities*, 57-84.
- İkinci Ak, Ö. (2015). Susuzluğa Ne Kadar Dayanabiliriz, Makale, *Bilim Genç*, TÜBİTAK, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/susuzluga-ne-kadar-dayanabiliriz> adresinden erişildi.
- Kahraman, T., Alemdar, S., Alişarlı, M., Ağaoğlu, S. (2012). Bitlis ili içme sularında ağır metal düzeyleri. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 28, 3, 164-171.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kar, Y., Şen, N., Demirbaş, A. (2006). Boron minerals in Turkey, their application areas and importance for the country's economy. *Minerals Energy-Raw Materials Report*, 20(3-4), 2-10.

- Kaur, H., Singh, P. P. (2018). *Impact Of Natural Disaster On Human Capital, Biodiversity Loss And Infectious Disease*. Doctoral Dissertation, Universiti Putra Malaysia.
- Kennish, M. J. (1991). *Ecology of estuaries: anthropogenic effects* (Vol. 1). CRC press.
- Kennish, M. J. (1998). Trace metal-sediment dynamics in estuaries: pollution assessment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 69-110.
- Kesari, K. K., Soni, R., Jamal, Q. M. S., Tripathi, P., Lal, J. A., Jha, N. K., ... Ruokolainen, J. (2021). Wastewater treatment and reuse: a review of its applications and health implications. *Water, Air, Soil Pollution*, 232(5), 1-28.
- Khatun, N. (2021). Applications of normality test in statistical analysis. *Open Journal of Statistics*, 11(01), 113.
- Kirwan, M. L., Gedan, K. B. (2019). Sea-level driven land conversion and the formation of ghost forests. *Nature Climate Change*, 9(6), 450-457.
- Khayan, K., Heru Husodo, A., Astuti, I., Sudarmadji, S., Sugandawaty Djohan, T. (2019). Rainwater as a source of drinking water: health impacts and rainwater treatment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2019.
- Kocsis, D., Ward, R. A., Meyer, C. R., Thompson, M., Prior, T. J., Kelly, S. M., ... Wadhawan, J. D. (2023). Empowering clean water whilst safeguarding water distribution pipeline integrity: towards manganese-and iron-free lime hydrate for water treatment. *Environmental Science: Water Research Technology*, 9(3), 833-849.
- Kolo, B., Dibal, J. M., Ndakawa, I. I. (2009). Elemental analysis of tap and borehole waters in Maiduguri, semi arid region, Nigeria. *European Journal of Applied Sciences*, 1(2), 26-29.
- Kravchenko, J., Lyerly, H. K. (2018). The impact of coal-powered electrical plants and coal ash impoundments on the health of residential communities. *North Carolina Medical Journal*, 79(5), 289-300.
- Krueger, W. S., Wade, T. J. (2016). Elevated blood lead and cadmium levels associated with chronic infections among non-smokers in a cross-sectional analysis of NHANES data. *Environmental Health*, 15(1), 1-13.

- Kurttio, P., Auvinen, A., Salonen, L., Saha, H., Pekkanen, J., Mäkeläinen, I., ... Komulainen, H. (2002). Renal effects of uranium in drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 110(4), 337-342.
- Lal, R. (2015). World water resources and achieving water security. *Agronomy Journal*, 107(4), 1526-1532.
- Landi, M., Degl'Innocenti, E., Pardossi, A., Guidi, L. (2012). Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: a review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences (AJABS)*. 7(3), 255-270.
- LANL (2001). A Periodic Table of the Elements, Los Alamos National Laboratory's Chemistry Division Presents. <https://depts.washington.edu/eoopic/linkfiles/The%20Elements.pdf> adresinden erişildi.
- Leggett, R. W. (1989). The behavior and chemical toxicity of U in the kidney: a reassessment. *Health Physics*, 57(3), 365-383.
- Leon, G., Guzman, M. A. (2008). Facilitated transport of copper through bulk liquid membranes containing different carriers: compared kinetic study. *Desalination*, 223(1-3), 330-336.
- Leveque, B., Burnet, J. B., Dorner, S., Bichai, F. (2021). Impact of climate change on the vulnerability of drinking water intakes in a northern region. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102656.
- Lewis, A. S., Sax, S. N., Wason, S. C., Campleman, S. L. (2011). Non-chemical stressors and cumulative risk assessment: an overview of current initiatives and potential air pollutant interactions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), 2020-2073.
- Lide, D. R., Milne, G. W. (1995). *Handbook of data on common organic compounds*. CRC press.
- Lide, D. R. (2004). *CRC handbook of chemistry and physics* (Vol. 85). CRC press.
- Linder, M. C., Hazegh-Azam, M. (1996). Copper biochemistry and molecular biology. *The American journal of clinical nutrition*, 63(5), 797S-811S.

- Limbeck, A., Galler, P., Bonta, M., Bauer, G., Nischkauer, W., Vanhaecke, F. (2015). Recent advances in quantitative LA-ICP-MS analysis: challenges and solutions in the life sciences and environmental chemistry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407, 6593-6617.
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., ... Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's future*, 5(6), 545-559.
- Liu, X., Wu, J., Hou, L. A., Wang, J. (2019). Removal of Co, Sr and Cs ions from simulated radioactive wastewater by forward osmosis. *Chemosphere*, 232, 87-95.
- Lorenzo, I., Serra-Prat, M., Yébenes, J. C. (2019). The role of water homeostasis in muscle function and frailty: a review. *Nutrients*, 11(8), 1857.
- Loucks, D. P., Van Beek, E. (2017). *Water resource systems planning and management: An Introduction to Methods, Models, and Applications*. Springer.
- Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A. J., ... Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environment International*, 77, 5-15.
- Mahato, M. K., Singh, P. K., Tiwari, A. K. (2014). Evaluation of metals in mine water and assessment of heavy metal pollution index of East Bokaro Coalfield area, Jharkhand, India. *International Journal of Earth Science Engineering*, 7(04), 1611-1618.
- Mahurpawar, M. (2015). Effects of heavy metals on human health. *International Journal of Research Granthaalayah*, 530, 1-7.
- Maneck, M., Kutscher, D., Wehe, C., Henry, R., Wills, J., McSheehy Ducos, S. (2017). Fully automated, intelligent, high-throughput elemental analysis of drinking waters using SQ-ICP-MS. Thermofisher Scientific. <https://assets.thermofisher.com/TFSAssets/CMD/Application-Notes/an-43323-icp-ms-elements-drinking-water-an43323-en.pdf> adresinden erişildi.
- Mansour, T. M., Ismail, T. M., Ramzy, K., Abd El-Salam, M. (2020). Energy recovery system in small reverse osmosis desalination plant: Experimental and theoretical investigations. *Alexandria Engineering Journal*, 59(5), 3741-3753.
- Martin, S., Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, 15, 1-6.



- Masindi, V., Muedi, K. L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. *Heavy Metals*, 10, 115-132.
- Maurya, A. K., Pandey, C., Chhibber, R. (2021). Dissimilar welding of duplex stainless steel with Ni alloys: A review. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 192, 104439.
- McDonald-Taylor, C. K., Bhatnagar, M. K., Gilman, A., Yagminas, A., Singh, A. (1992). Uranyl nitrate-induced glomerular basement membrane alterations in rabbits: a quantitative analysis. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 48(3), 367-373.
- McFarland, M. L., Provin, T. L., Boellstorff, D. E. (2008). *Drinking water problems: Corrosion*. Texas: A&M Agrilife Extension, 51130-19537.
- McNabb, D. E. (2019). The population growth barrier. In *Global pathways to water sustainability* (pp. 67-81). Palgrave Macmillan, Cham.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. (1992). *Beyond the limits: global collapse or a sustainable future*. Earthscan Publications Ltd.
- Melese, S. M. (2016). Effect of climate change on water resources. *Journal of Water Resources and Ocean Science*, 5(1), 14-21.
- Meneton, P., Jeunemaitre, X., de Wardener, H. E., Macgregor, G. A. (2005). Links between dietary salt intake, renal salt handling, blood pressure, and cardiovascular diseases. *Physiological Reviews*.
- Menteşe, S. (2017). Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Toprak, Su ve Hava kirliliği: Teorik Bir İnceleme, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt: 10 Sayı: 53.
- MHLW. (2015). Drinking Water Quality Standards in Japan. [https://www.mhlw.go.jp/english/policy/health/water\\_supply/dl/4a.pdf](https://www.mhlw.go.jp/english/policy/health/water_supply/dl/4a.pdf) adresinden erişildi.
- Mishra, R. K., Dubey, S. C. (2023). Fresh Water Availability and It's Global Challenge. *Journal of Marine Science and Research*, 2(1).
- Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., Chowdhary, P. (2019). Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. *Environmental Biotechnology: For Sustainable Future*, 103-125.

- Mohanty, M., Pattnaik, M. M., Mishra, A. K., Patra, H. K. (2012). Bio-concentration of chromium—an in situ phytoremediation study at South Kaliapani chromite mining area of Orissa, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 1015-1024.
- Monser, L., Adhoum, N. (2002). Modified activated carbon for the removal of copper, zinc, chromium and cyanide from wastewater. *Separation and Purification Technology*, 26(2-3), 137-146.
- Moore, J. W., Ramamoorthy, S. (2012). *Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment*. Springer Science Business Media.
- Myers, S. S., Smith, M. R., Guth, S., Golden, C. D., Vaitla, B., Mueller, N. D., ... Huybers, P. (2017). Climate Change and Global Food Systems: Potential Impacts on Food Security and Undernutrition. *Annual Review of Public Health*.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 8, 199-216.
- Narula, K. K., Fishman, R., Modi, V., Polycarpou, L. (2011). *Addressing the water crisis in Gujarat, India*. New York: Columbia University Press.
- Nath, K., Singh, D., Shyam, S., Sharma, Y. K. (2008). Effect of chromium and tannery effluent toxicity on metabolism and growth in cowpea (*Vigna sinensis* L. Saviex Hassk) seedling. *Research in Environment and Life Sciences*, 1(3), 91-94.
- NHMRC (National Health and Medical Research Council). (2014). Australian Drinking Water Guidelines 6-2011. Canberra: Australian Government.
- Ninomiya, R., Koizumi, N., Fujita, D. (1997). Effect of cadmium administration and aging on the concentration of essential metals in liver and kidney. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 1, 178-183.
- Njoku, J. D., Ebe, T. E., Enem, A. O. (2016). Analysis of heavy metal contamination by artisanal refining plants in the Niger Delta Region, Southern Nigeria. *British Journal of Environmental Sciences*, 4(3), 39-48.
- NRC (National Research Council) (2022). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Summary Tables. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/water-quality/guidelines-canadian-drinkingwater-quality-summar y-table.html> adresinden erişildi.

- Nozaki, T., Ichikawa, M., Sasuga, T., Inarida, M. (1970). Neutron activation analysis of uranium in human bone, drinking water and daily diet. *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 6, 33-40.
- NTP (National Toxicology Program) (1997). NTP toxicology and carcinogenesis studies of molybdenum trioxide (CAS no. 1313-27-5) in F344 rats and B6C3F1 mice (inhalation studies). *National Toxicology Program technical report series*, 462, 1-269.
- NTP (National Toxicology Program) (2012). NTP Monograph on Health Effects of Low-Level Lead. [https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/ohat/lead/final/monographhealtheffects/lowlevellead\\_newissn\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/ohat/lead/final/monographhealtheffects/lowlevellead_newissn_508.pdf) adresinden erişildi.
- NTP (National Toxicology Program) (2021). Cadmium and Cadmium Compounds CAS No. 7440-43-9 (Cadmium). <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/cadmium.pdf> adresinden erişildi.
- Odobasic, A., Voudouris, K., Voutsas, D. (2012). Determination and speciation of trace heavy metals in natural water by DPASV. *Water Quality Monitoring and Assessment*, (4), 429-456.
- Omdahl, J. L., DeLuca, H. F. (1971). Strontium induced rickets: metabolic basis. *Science*, 174(4012), 949-951.
- Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes: the management and transition framework. *Environmental Science Policy*, 13(7), 571-581.
- Pal, M., Ayele, Y., Hadush, M., Panigrahi, S., Jadhav, V. J. (2018). Public health hazards due to unsafe drinking water. *Air Water Borne Dissertations*, 7(1000138), 2.
- Pandey, G., Madhuri, S. (2014). Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2(2), 17-23.
- Pathak, A. K. (2013). Water pollution and treatment. *International Journal of Environmental Engineering and Management*, 4(3), 191-198.
- Pauli, B. J. (2020). The Flint water crisis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(3), e1420.

- Pavlovska, G., Stafilov, T., Čundeve, K. (2015). Determination of iron in drinking water after its flotation concentration by two new dithiocarbamate collectors. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 50(13), 1386-1392.
- Payus, C., Ann Huey, L., Adnan, F., Besse Rimba, A., Mohan, G., Kumar Chapagain, S., ... Fukushi, K. (2020). Impact of extreme drought climate on water security in North Borneo: Case study of Sabah. *Water*, 12(4), 1135.
- Pemmer, B., Roschger, A., Wastl, A., Hofstaetter, J. G., Wobrauschek, P., Simon, R., ... Streli, C. (2013). Spatial distribution of the trace elements zinc, strontium and lead in human bone tissue. *Bone*, 57(1), 184-193.
- Petranikova, M., Tkaczyk, A. H., Bartl, A., Amato, A., Lapkovskis, V., Tunsu, C. (2020). Vanadium sustainability in the context of innovative recycling and sourcing development. *Waste Management*, 113, 521-544.
- Pichel, N., Vivar, M., Fuentes, M. (2019). The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. *Chemosphere*, 218, 1014-1030.
- Pieper, K. J., Martin, R., Tang, M., Walters, L., Parks, J., Roy, S., ... Edwards, M. A. (2018). Evaluating water lead levels during the Flint water crisis. *Environmental Science Technology*, 52(15), 8124-8132.
- Pizent, A., Tariba, B., Živković, T. (2012). Reproductive toxicity of metals in men. *Arhiv za Higijenu rada i Toksikologiju*, 63(Supplement 1), 35-45.
- Power, A., Chandra, S., Chapman, J. (2018). Graphene, electrospun membranes and granular activated carbon for eliminating heavy metals, pesticides and bacteria in water and wastewater treatment processes. *Analyst*, 143(23), 5629-5645.
- Proshad, R., Kormoker, T., Mursheed, N., Islam, M. M., Bhuyan, M. I., Islam, M. S., Mithu, T. N. (2018). Heavy metal toxicity in agricultural soil due to rapid industrialization in Bangladesh: a review. *International Journal of Advanced Geosciences*, 6(1), 83-88.
- Pruszkowski, E., Bosnak, C. P. (2015). ICP-Mass Spectrometry. The Analysis of Drinking Waters by U.S. EPA Method 200.8. Perkin Elmer. [https://resources.perkinelmer.com/corporate/cmsresources/images/44134581app\\_nexi on300q-us-epa200-8-drinking-water.pdf](https://resources.perkinelmer.com/corporate/cmsresources/images/44134581app_nexi on300q-us-epa200-8-drinking-water.pdf) adresinden erişildi.

- Rahman, Z., Singh, V. P. (2018). Assessment of heavy metal contamination and Hg-resistant bacteria in surface water from different regions of Delhi, India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8), 1687-1695.
- Rahman, M. M., Chowdhury, U. K., Mukherjee, S. C., Mondal, B. K., Paul, K., Lodh, D., ... Chakraborti, D. (2001). Chronic arsenic toxicity in Bangladesh and West Bengal, India—a review and commentary. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 39(7), 683-700.
- Raimann, J. G., Boaheng, J. M., Narh, P., Matti, H., Johnson, S., Donald, L., ... Levin, N. W. (2020). Public health benefits of water purification using recycled hemodialyzers in developing countries. *Scientific Reports*, 10(1), 1-7.
- Raimi, M. O., Ezekwe, C. I., Bowale, A., Samson, T. K. (2022). Hydrogeochemical and Multivariate Statistical Techniques to Trace the Sources of Ground Water Contaminants and Affecting Factors of Groundwater Pollution in an Oil and Gas Producing Wetland in Rivers State, Nigeria.
- Rashid, A., Ayub, M., Ullah, Z., Ali, A., Sardar, T., Iqbal, J., ... Khan, S. (2023). Groundwater Quality, Health Risk Assessment, and Source Distribution of Heavy Metals Contamination around Chromite Mines: Application of GIS, Sustainable Groundwater Management, Geostatistics, PCAMLR, and PMF Receptor Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2113.
- RG (2005). 7.02.2005 tarih ve 25730 Sayılı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik.  
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7510&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden erişildi.
- Rehman, K., Fatima, F., Waheed, I., Akash, M. S. H. (2018). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *Journal of Cellular Biochemistry*, 119(1), 157-184.
- Reilly, C. M. (2017). Potable to poisonous: An analysis of the Flint, Michigan water crisis.  
<https://commons.lib.jmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1292&context=honors201019> adresinden erişildi.

- Reineke, W., Schlömann, M. (2023). Heavy metals and other toxic inorganic ions. In *Environmental Microbiology* (pp. 331-348). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ricart, S., Villar-Navascués, R. A., Hernández-Hernández, M., Rico-Amorós, A. M., Olcina-Cantos, J., Moltó-Mantero, E. (2021). Extending natural limits to address water scarcity? The role of non-conventional water fluxes in climate change adaptation capacity: A review. *Sustainability*, 13(5), 2473.
- Ripl, W. (2003). Water: the bloodstream of the biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1440), 1921-1934.
- Roessler, C. E., Smith, Z. A., Bolch, W. E., Prince, R. J. (1979). Uranium and radium-226 in Florida phosphate materials. *Health Physics*, 37(3), 269-277.
- Roqué, J., Molera, J., Sciau, P., Pantos, E., Vendrell-Saz, M. (2006). Copper and silver nanocrystals in lustre lead glazes: Development and optical properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(16), 3813-3824.
- Rossiter, H. M., Owusu, P. A., Awuah, E., MacDonald, A. M., Schäfer, A. I. (2010). Chemical drinking water quality in Ghana: Water costs and scope for advanced treatment. *Science of the Total Environment*, 408(11), 2378-2386.
- Qadri, R., Faiq, M. A. (2020). Freshwater pollution: effects on aquatic life and human health. In *Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation* (pp. 15-26). Springer, Singapore.
- Qin, Z., Tang, H., Li, W., Zhang, H., Zhao, S., Wang, Q. (2014). Modelling impact of agro-drought on grain production in China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 7, 109-121.
- Saleh, H. N., Panahande, M., Yousefi, M., Asghari, F. B., Oliveri Conti, G., Talaei, E., Mohammadi, A. A. (2019). Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in groundwater wells in Neyshabur Plain, Iran. *Biological Trace Element Research*, 190, 251-261.
- Sankhla, M. S., Kumari, M., Nandan, M., Kumar, R., Agrawal, P. (2016). Heavy metals contamination in water and their hazardous effect on human health-a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied* (2016), 5(10), 759-766.

- Sardar, K., Ali, S., Hameed, S., Afzal, S., Fatima, S., Shakoor, M. B., ... Tauqeer, H. M. (2013). Heavy metals contamination and what are the impacts on living organisms. *Greener Journal of Environmental Management and Public Safety*, 2(4), 172-179.
- Sarıgül, T. (2018) Uzayda Yaşam Aranırken Neden Su Olup Olmadığına Bakılıyor, *Bilim Genç*, TÜBİTAK.
- Sarker, B., Keya, K. N., Mahir, F. I., Nahiun, K. M., Shahida, S., Khan, R. A. (2021). Surface and ground water pollution: causes and effects of urbanization and industrialization in South Asia. *Scientific Review*, 7(3), 32-41.
- Sawka, M. N., Chevront, S. N., Carter, R. (2005). Human water needs. *Nutrition Reviews*, 63(suppl\_1), S30-S39.
- Schutte, R., Nawrot, T. S., Richart, T., Thijs, L., Vanderschueren, D., Kuznetsova, T., ... Staessen, J. A. (2008). Bone resorption and environmental exposure to cadmium in women: a population study. *Environmental Health Perspectives*, 116(6), 777-783.
- Schweitzer, L., Noblet, J. (2018). Water contamination and pollution. In *Green chemistry* (pp. 261-290). Elsevier.
- Sevim, Ç., Kara, M. (2022). Boron and Boron-Containing Compounds Toxicity. In *The Toxicity of Environmental Pollutants*. IntechOpen.
- Shah, M. P. (Ed.). (2021). *Biological Treatment of Industrial Wastewater* (Vol. 5). Royal Society of Chemistry.
- Shakeel, M., Ahsan, N., Ahmed, S., Khan, N. A. (2021). Groundwater contamination and health risk posed by industrial effluent in NCR region. *Materials Today: Proceedings*.
- Sheikh, I. (2016). Cobalt poisoning: A comprehensive review of the literature. *Journal of Medical Toxicology and Clinical Forensic Medicine*. 2(2).
- Shigeta, M., Nishiyama, H. (2005). Numerical analysis of metallic nanoparticle synthesis using RF inductively coupled plasma flows. *Journal of Heat Transfer*. 127(11): 1222-1230.
- Shoushtarian, F., Negahban-Azar, M. (2020). Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review. *Water*, 12(4), 971.
- Singh, N., Kumar, D., Sahu, A. P. (2007). Arsenic in the environment: effects on human health and possible prevention. *Journal of Environmental Biology*, 28(2), 359.

- Smith, Z. A. (2017). *The environmental policy paradox*. Routledge.
- Smith, A. H., Lingas, E. O., Rahman, M. (2000). Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1093-1103.
- Srinivasan, V., Lambin, E. F., Gorelick, S. M., Thompson, B. H., Rozelle, S. (2012). The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. *Water Resources Research*, 48(10).
- Stein, U., Özerol, G., Tröltzsch, J., Landgrebe, R., Szendrenyi, A., Vidaurre, R. (2016). European drought and water scarcity policies. *Governance for drought resilience: Land and water drought management in Europe*, 17-43.
- Sterns, R. H. (2015). Disorders of plasma sodium—causes, consequences, and correction. *New England Journal of Medicine*, 372(1), 55-65.
- Strachan, S. (2010). Trace elements. *Current Anaesthesia Critical Care*, 21(1), 44-48.
- Su, J., Ji, D., Lin, M., Chen, Y., Sun, Y., Huo, S., ... Xi, B. (2017). Developing surface water quality standards in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 294-303.
- Subramanian, K. S., Meranger, J. C. (1984). A survey for sodium, potassium, barium, arsenic and selenium in Canadian drinking water supplies. *Atomic Spectroscopy*, 5(1), 34-35.
- Sultana, F. (2018). Water justice: Why it matters and how to achieve it. *Water International*, 43(4), 483-493.
- Tallkvist, J., Oskarsson, A. (2015). Molybdenum. In *Handbook on the Toxicology of Metals* (pp. 1077-1089). Academic Press.
- Tan, B., Mai, K. (2001). Zinc methionine and zinc sulfate as sources of dietary zinc for juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture*, 192(1), 67-84.
- Tatar Ç. P. (2014). *Kurşun Maruziyetinin İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi* (Akü, Maden ve Metal İşyerlerinde). (İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi /Araştırma), T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Taylor, S. L. (2013). Food toxicology. *Food Allergy: Adverse Reactions to Foods and Food Additives*, 507-517.



- Taylor, P. R., Shuey, S. A., Vidal, E. E., Gomez, J. C. (2006). Extractive metallurgy of vanadium-containing titaniferous magnetite ores: a review. *Mining, Metallurgy Exploration*, 23, 80-86.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology: Volume 3: Environmental Toxicology*, 133-164.
- Thomas, T. L., Friedman, D. B., Brandt, H. M., Spencer, S. M., Tanner, A. (2016). Uncharted waters: Communicating health risks during the 2014 West Virginia water crisis. *Journal of Health Communication*, 21(9), 1062-1070.
- Thurmer, K., Williams, E., Reutt-Robey, J. (2002). Autocatalytic oxidation of lead crystallite surfaces. *Science*, 297(5589), 2033-2035.
- Trasande, L., Landrigan, P. J., Schechter, C. (2005). Public health and economic consequences of methyl mercury toxicity to the developing brain. *Environmental Health Perspectives*, 113(5), 590-596.
- Tripathi, D., Mani, V., Pal, R. P. (2018). Vanadium in biosphere and its role in biological processes. *Biological Trace Element Research*, 186, 52-67.
- TSE (2005). TS 266 İçme Suyu Standardı. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073082080080071077100076119105103072> adresinden erişildi.
- Turdean, G. L. (2011). Design and development of biosensors for the detection of heavy metal toxicity. *International Journal of Electrochemistry*, 2011.
- Ulusoy, H. I., Gürkan, R., Yılmaz, Ö., Akçay, M. (2012). Development of a cloud point extraction and preconcentration method for chromium (III) and total chromium prior to flame atomic absorption spectrometry. *Journal of Analytical Chemistry*, 67, 131-139.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1994). *Method 200.8 Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-200.8.pdf> adresinden erişildi.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1996). *Safe Drinking Water Act (SDWA)*. <https://www.epa.gov/sdwa> adresinden erişildi.

- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2005). *Toxicological Review Of Barium and Compounds*. <https://iris.epa.gov/static/pdfs/0010tr.pdf> adresinden erişildi.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2014). Drinking Water Health Advisory For Boron. [https://www.epa.gov/sites/default/files/201409/documents/drinking\\_water\\_health\\_advisory\\_for\\_boron.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/201409/documents/drinking_water_health_advisory_for_boron.pdf) adresinden erişildi.
- Walakira, P., Okot-Okumu, J. (2011). Impact of industrial effluents on water quality of streams in Nakawa-Ntinda, Uganda. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15(2).
- Walakira, P., (2011). A thesis Makerere University on Impact of Industrial Effluent on Water quality of Receiving Stream in Nakawa- Ntinda, Uganda. Pp 1-34.
- Wang, J., Huang, J., Rozelle, S., Huang, Q., Zhang, L. (2009). Understanding the water crisis in Northern China: what the government and farmers are doing. *International Journal of Water Resources Development*, 25(1), 141-158.
- Wang, J. L., Wang, X. Y., Wang, D. K., Parker, M. D., Musa-Aziz, R., Popple, J., ... Chen, L. M. (2020). Multiple acid-base and electrolyte disturbances upregulate NBCn1, NBCn2, IRBIT and L-IRBIT in the mTAL. *The Journal of Physiology*, 598(16), 3395-3415.
- Weast, R. C. (1986). *CRC handbook of chemistry and physics*. United States: CRC Press.
- Wei, W., Algeo, T. J. (2020). Elemental proxies for paleosalinity analysis of ancient shales and mudrocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 287, 341-366.
- Weldeslassie, T., Naz, H., Singh, B., Oves, M. (2018). Chemical contaminants for soil, air and aquatic ecosystem. *Modern Age Environmental Problems and their Remediation*, 1-22.
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., ... Yuan, Z. (2020). Microbial indicators and their use for monitoring drinking water quality—A review. *Sustainability*, 12(6), 2249.
- WHO (World Health Organization) (1988). *Environmental Health Criteria 81 Vanadium*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39304/9241542810eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> adresinden erişildi.

- WHO (World Health Organization) (1996). *Guidelines for drinking-water quality, 2nd edition: Volume 2 - Health criteria and other supporting information*. <https://www.who.int/publications/i/item/9241544805> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (1997). *Aluminium*. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (Environmental Health Criteria 194). <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (1998). *Boron*. World Health Organization. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42046/9241572043\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42046/9241572043_eng.pdf) adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2003a). *Arsenic in Drinking Water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/104501/retrieve> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2003b). *Sodium in Drinking Water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/washchemicals/sodium.pdf?sfvrsn=46a3e974\\_4](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/washchemicals/sodium.pdf?sfvrsn=46a3e974_4) adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2004a). *Guidelines for drinking-water quality* (Vol. 1). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42852> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2004b). *Manganese in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/75376/WHO\\_SDE\\_WSH\\_03.04\\_104\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/75376/WHO_SDE_WSH_03.04_104_eng.pdf) adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2009). *Boron in Drinking Water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/70170> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2010a). *Aluminium in Drinking Water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/washchemicals/aluminium.pdf?sfvrsn=e54f4db9\\_4](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/washchemicals/aluminium.pdf?sfvrsn=e54f4db9_4) adresinden erişildi.

- WHO (World Health Organization) (2010b). *Hardness in Drinking-water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70168/WHO\\_HSE\\_WSH\\_10.01\\_10\\_Rev1\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70168/WHO_HSE_WSH_10.01_10_Rev1_eng.pdf) adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. *WHO chronicle*, 38(4), 104-8. <https://www.paho.org/en/documents/guidelines-drinking-water-qualit-y-4o-ed-2011> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2016). *Barium in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/washchemicals/barium-backgroundjan17.pdf> adresinden erişildi.
- WHO. (2020). *WHO global strategy on health, environment and climate change: the transformation needed to improve lives and wellbeing sustainably through healthy environments*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240000377> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) and UNICEF (United Nations Children's Fund) (2020). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs* Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF). <https://washdata.org/sites/default/files/2021-07/jmp-2021-wash-households.pdf> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2021). *Nickel in drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality*. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1403896/retrieve> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2022a). *State of the World's Drinking Water*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240060807> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2022b). *Lead Poisoning*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health> adresinden erişildi.
- WHO (World Health Organization) (2022c). *Strontium and Strontium Compounds*. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44280/9789241530774\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44280/9789241530774_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y) adresinden erişildi.

- Widjajakusuma, B., Djojotubroto, H., Hidaayat, A., Supriatna, D., Kumolowati, E. (2008). The use of nuclear and related techniques for the studies of possible health impact of airborne particulate matter in a metal industry. *The IAEA Technical Documents-1576*, 143.
- Williamson, R. A., Hertzfeld, H. R., Cordes, J., Logsdon, J. M. (2002). The socioeconomic benefits of Earth science and applications research: reducing the risks and costs of natural disasters in the USA. *Space Policy*, 18(1), 57-65.
- Willis, M. S., Monaghan, S. A., Miller, M. L., McKenna, R. W., Perkins, W. D., Levinson, B. S., ... Kroft, S. H. (2005). Zinc-induced copper deficiency: a report of three cases initially recognized on bone marrow examination. *American Journal of Clinical Pathology*, 123(1), 125-131.
- WPP (World Population Prospects) (2019). Data Booklet, UN Dep. of Eco. and Soc. Aff., [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_DataBooklet.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_DataBooklet.pdf) adresinden erişildi.
- WPR (World Population Review) (2020). World Population Clock, Current World Population, April, 2020, <https://worldpopulationreview.com> adresinden erişildi.
- Wouters, M., Rahman, S., Myamoto, H., Tran, N. N., Hessel, V. (2021). Continuous microfluidic solvent extraction of cobalt from mimicked and real asteroid leaching solutions. *Separation and Purification Technology*, 260, 118238.
- WWW-Türkiye (2014). Yaşayan Gezegen Raporu 2014. [http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/ygr\\_2014\\_ozet.pdf](http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/ygr_2014_ozet.pdf) adresinden erişildi.
- Vahter, M. (2008). Health effects of early life exposure to arsenic. *Basic Clinical Pharmacology Toxicology*, 102(2), 204-211.
- Veenema, T. G., Thornton, C. P., Lavin, R. P., Bender, A. K., Seal, S., Corley, A. (2017). Climate change-related water disasters' impact on population health. *Journal of Nursing Scholarship*, 49(6), 625-634.
- Vinodh, R., Padmavathi, R., Sangeetha, D. (2011). Separation of heavy metals from water samples using anion exchange polymers by adsorption process. *Desalination*, 267(2-3), 267-276.

- Vuorinen, H. S., Juuti, P. S., Katko, T. S. (2007). History of water and health from ancient civilizations to modern times. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(1), 49-57.
- Yalçın, M., Oğuz H. (2010). Konya bölgesi içme sularındaki ağır metal düzeylerinin araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 2(35), 9-18.
- Yamazaki, D., Trigg, M. A. (2016). The dynamics of Earth's surface water. *Nature*, 540(7633), 348-349.
- Yaşar, S., Üstek, M. A., Bengü, A. Ş., Leyla, M. İ. S. (2016). Mardin bölgesi içme sularında ağır metal düzeylerinin araştırılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 63-71.
- Yaykaşlı, H. (2020). *Endüstriyel amaçlı AlMgTiB hafif alaşımlarının üretilmesi, yapısal, ısıl ve mekaniksel özelliklerinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Yekta, S., Sadeghi, M. (2018). Adsorption and degradation of methyl parathion (MP), a toxic organophosphorus pesticide, using NaY/Mn 0.5 Zn 0.5 Fe 2 O 4 nanocomposite. *Research on Chemical Intermediates*, 44, 1865-1887.
- Yılmaz, M. L., Peker, H. S. (2013). A possible jeopardy of water resources in terms of Turkey's economic and political context: water conflicts/Su kaynaklarının turkiye acısından ekono-politik onemi ekseninde olasi bir Tehlike: su savaslari. *Cankiri Karatekin Universitesi Iktisadi ve Idari Bilimler Fakultesi Dergisi*, 3(1), 57-75.
- Yılmaz, M., Yılmaz, M., Kara, İ. H., Poyraz, B., Mayda, A. S. (2014). Konuralp beldesinde içme sularının elementer analizi ve içerdiği ağır metaller: şebeke suyu, doğal kaynak suyu ve zezem suyunun karşılaştırılması. *Konuralp Medical Journal*, 6(3), 54-58.
- Yılmaz, M., Bolu, F., Mayda, A. S., Poyraz, B. (2017). Düzce'de Satılan Şişe Suları İle Musluk Sularının Ağır Metal Düzeylerinin İncelenmesi. *Konuralp Medical Journal/Konuralp Tip Dergisi*, 9(1).
- Yuan, J., Lai, Y., Huang, C. T., Huang, L., Tang, F. K., Hong, L., Yang, Y. M. (2020). Clinical analysis of 11 cases of sub-acute arsenic poisoning. *Zhonghua lao Dong wei Sheng zhi ye Bing za zhi= Zhonghua Laodong Weisheng Zhiyebing Zazhi= Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 38(12), 921-924.

- Zahir, F., Rizwi, S. J., Haq, S. K., Khan, R. H. (2005). Low dose mercury toxicity and human health. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 20(2), 351-360.
- Zambelli, B., Ciurli, S. (2013). Nickel and human health. *Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases*, 321-357.
- Zamora-Ledezma, C., Negrete-Bolagay, D., Figueroa, F., Zamora-Ledezma, E., Ni, M., Alexis, F., Guerrero, V. H. (2021). Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods. *Environmental Technology Innovation*, 22, 101504.
- Zayed, A. M., Terry, N. (2003). Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant and Soil*, 249, 139-156.
- Zhaoyong, Z., Abuduwaili, J., Fengqing, J. (2015). Heavy metal contamination, sources, and pollution assessment of surface water in the Tianshan Mountains of China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 1-13.
- Zhang, Z., Chau, P. Y., Lai, H. K., Wong, C. M. (2009). A review of effects of particulate matter-associated nickel and vanadium species on cardiovascular and respiratory systems. *International Journal of Environmental Health Research*, 19(3), 175-185.
- Zhang, H., Zhou, X., Wang, L., Wang, W., Xu, J. (2018). Concentrations and potential health risks of strontium in drinking water from Xi'an, Northwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 181-188.
- Zhang, D., Sial, M. S., Ahmad, N., Filipe, A. J., Thu, P. A., Zia-Ud-Din, M., Caleiro, A. B. (2020). Water scarcity and sustainability in an emerging economy: a management perspective for future. *Sustainability*, 13(1), 144.
- Zhang, Q., Wang, C. (2020). Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: a review. *Water, Air, Soil Pollution*, 231, 1-13.
- Zito, R. R., Zito, R. R. (2020). The movement of inorganic cadmium through the environment. *Mathematical Foundations of System Safety Engineering: A Road Map for the Future*, 257-274.

**T.C.**  
**AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ**  
**SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLİMSEL ETİK BEYANI**

“Aydın İli Efeler İlçesi Çeşme Sularındaki Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması” başlıklı Yüksek Lisans tezindeki bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm. İfade ettiklerimin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Gurbet EMEK

29 /05 /2023