

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIZILIRMAK NEHRİ'NDE (KIRIKKALE) SU VE
SEDİMENT AĞIR METAL DÜZEYLERİNE SANAYİ
BÖLGELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Fatıma Tüz Zehra YAMAN**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Özlem FINDIK**

**Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

Kasım 2022

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIZILIRMAK NEHRİ'NDE (KIRIKKALE) SU VE
SEDİMENT AĞIR METAL DÜZEYLERİNE SANAYİ
BÖLGELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Fatıma Tüz Zehra YAMAN**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Özlem FINDIK**

**Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

Kasım 2022

Prof. Dr. Özlem FINDIK danışmanlığında **Fatıma Tüz Zehra YAMAN** tarafından hazırlanan ‘**Kızılırmak Nehri'nde (Kırıkkale) Su ve Sediment Ağır Metal Düzeylerine Sanayi Bölgelerinin Etkisinin Araştırılması**’ adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tarih...

Başkan: Prof. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ

Jüri: Prof. Dr. Özlem FINDIK

Üye: Dr. Öğrt. Üyesi İbrahim KÜÇÜKBASMACI

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun/...../..... tarih ve Sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım ilkelerine uyularak yapılan bu çalışmada bulunan bütün bilgilerin; akademik ilkeler ve bilimsel çerçeve içerisinde elde edilerek sunulduğuna ve bana ait olmayan her bilgi ve ifadenin kaynağına atıf yapıldığını bildiririm.



Fatıma Tüz Zehra YAMAN
İmza

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımda uzun yıllar boyunca desteğini benden esirgemeyen, tez süresince bilgilerini benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Özlem Fındık'a

Manevi anlamda her daim yanımda olan Sayın Hakan FİDANCI'ya

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



KIZILIRMAK NEHRİ'NDE (KIRIKKALE) SU VE SEDİMENT AĞIR METAL DÜZEYLERİNE SANAYİ BÖLGELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatıma Tüz Zehra YAMAN

Kasım 2022

ÖZET

Yeryüzünde bütün canlılara yaşam veren şey sudur. Son yıllarda dünyanın gerçeği olan su, hava ve toprak kirliliği ekosistemdeki bütün canlıları tehdit edecek hale ulaşmıştır. Hızla artmaya devam eden nüfus ihtiyacını karşılama amacı, daha fazla sanayileşmeye sebep olmuştur. Üzerinde birçok endüstriyel kuruluş barındıran ve Türkiye'nin önemli nehirlerinden biri olan Kızılırmak Nehri, yıllar geçtikçe su kirliliği kaynaklı verimini yitirerek ekoloji için zararlı hale gelmiştir.

2022 yılında yapılan bu çalışmada, Kızılırmak Nehri'nin İç Anadolu (Kırıkkale) havzasında bulunan ülkenin üretim stratejisinde oldukça aktif fabrikaların, Kızılırmak Nehri üzerinde ağır metal kirliliğine etki potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Kızılırmak Nehrinin İç Anadolu havzasından (Kırıkkale) Kasım ayında, sanayi bölgelerinden önce, sanayi bölgelerini kapsayan 2 lokasyon ve sanayi bölgelerinden sonra olmak üzere toplam 4 istasyondan 4 su ve 4 sediment olmak üzere 8 numune alınmıştır. Örneklerde Pb, Cr, Cd, Zn, B, Al, Mn, Ni, As, Se, Cu değerleri indüktif eşleştirilmiş plazma kütle spektroskopisinde (ICP-MS) analiz edilerek Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçlara kirlilik potansiyelinin analizinde kullanılan EF, CF, PLI ve PI indeksleri uygulanmıştır.

Sonuçlarda Kızılırmak Nehri sedimenti sanayi bölgelerinde artmak üzere bütün istasyonlarda As, Al ve B ağır metalleri açısından "ciddi düzeyde" kirlenmiş olarak tespit edilmiştir. Pb bütün istasyonlarda "orta düzeyde", Cr TÜPRAŞ rafinerisinde "orta düzeyde" diğer istasyonlarda ise "hafif düzeyde", Se TÜPRAŞ rafinerisi hariç bütün istasyonlarda "orta düzeyde", Mn ise MKE'sinde "orta düzeyde", Cu, Cr ve Ni bütün istasyonlarda "az düzeyde", Zn ise bütün istasyonlarda "kirletici unsur olmayan metal" olarak analiz edilmiştir.

Su örneklerinde Cr, Ni, Cu, Se, Cd, ve Pb metalleri tespit edilmemekle beraber As belirlenen sınır değerlerini aşmıştır ve kirlilik indeksine (PI) göre ‘‘ileri toksisite’’ sınıfında tespit edilmiştir. B TüPRAş rafinerisinde ve M.E’nde sınır değeri aşmıştır, Al ve Zn en yoğun sanayi bölgelerinde analiz edilmekle beraber bir tehdit oluşturmamaktadır.

Hem su hem sediment örneklerinde TüPRAş rafinerisinin ve MKE’nin nehir üzerinde kirletici olduğu ve kirlilik düzeyini yüksek şekilde artırdığı tespit edilmiştir. Bu kirliliğin fabrikaların atık su arıtımının verimli olmamasından kaynaklı sanayi sonrası istasyonunda da kirliliğe neden olduğu ve Kızılırmak Nehri’nin geçmiş yıllara göre ağır metal kirliliğinin arttığı grlmştir. İndeks hesaplamaları sonucunda ve yönetmelik tarafından belirlenen sınır değerleri aşmasından dolayı Kızılırmak Nehri’nin canlılar için uygun olamayacak düzeyde çeşitli toksik ağır metaller tarafından kirlilik yükü taşıdığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Kızılırmak Nehri, Su Kirliliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özlem FINDIK

Sayfa Adeti: 81

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF INDUSTRIAL ZONES ON WATER
AND SEDIMENT HEAVY METAL LEVELS IN KIZILIRMAK RIVER**

(KIRIKKALE)

(M. Sc. Thesis)

Fatma Tüz Zehra YAMAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES**

November 2022

ABSTRACT

Water is what gives life to all living things on earth. In recent years, water, air and soil pollution, which is the reality of the world, has reached a level that threatens all living things in the ecosystem. The aim of meeting the population need, which continues to increase rapidly, has led to further industrialization. The Kızılırmak River, which hosts many industrial establishments and is one of the important rivers of Turkey, has lost its efficiency due to water pollution over the years and has become harmful for ecology.

In this study, which was carried out on 27 November 2022, a more sustainable environment was aimed by investigating the impact potential of highly active factories on heavy metal pollution on the Kızılırmak River in the production strategy of the country located in the Central Anatolia (Kırıkkale) basin of the Kızılırmak River. In terms of covering both summer and winter seasons from the Central Anatolian Basin of the Kızılırmak River (Kırıkkale), 8 samples as 4 water and 4 sediment were taken from 2 locations covering the industrial zones and after the industrial zones in November, before the industrial zones and after the industrial zones, 8 samples were taken as 4 water and 4 sediment. Pb, Cr, Cd, Zn, B, Al, Mn, Ni, As, Se, Cu values were analyzed in paired plasma mass spectroscopy (ICP-MS) and limit values determined by the World Health Organization were compared and the results were EF, CF used in the analysis of pollution potential. , PLI and PI indexes applied.

In the results, the sediment of the Kızılırmak River was determined to be "severely" contaminated by As, Al and B heavy metals at all stations, increasing in industrial areas. Pb is at "medium level" at all stations, Cr is at "medium level" at TÜPRAŞ refinery,

And at other stations is at “light level”, Se is at “medium level” at all stations except TÜPRAŞ refinery, Mn is at MKE It was analyzed as "moderate" in the.

Although Cr, Ni, Cu, Se, Cd, and Pb metals were not detected in water samples, As exceeded the determined limit values and was determined in the "advanced toxicity" class according to the pollution index (PI). B at TÜPRAŞ refinery and .KE The limit value has been exceeded in, Al and Zn do not pose a threat although they are analyzed in the most concentrated industrial zones.

In both water and sediment samples, it has been determined that TÜPRAŞ refinery and MKE are pollutants on the river and increase the pollution level to a high extent. It has been observed that this pollution also causes pollution in the post-industrial station due to the inefficient wastewater treatment of the factories, and heavy metal pollution of the Kızılırmak River has increased compared to previous years. As a result of the index calculations and due to exceeding the limit values determined by the regulation, it has been determined that the Kızılırmak River carries a pollution load by various toxic heavy metals that are not suitable for living things.

Keywords: Heavy metal, Kızılırmak River, Water Pollution

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özlem FINDIK

Page Number: 81

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvii
1.BÖLÜM	
GİRİŞ.....	1
2. BÖLÜM	
2.1.Türkiye'nin Su Kaynakları.....	4
2.2. Atık Sular.....	4
2.3. Ağır Metaller.....	6
2.4. Ağır Metallerin Birikim Mekanizmaları.....	6
2.5. Ağır Metallerin Canlı Yaşama Geçişleri.....	7
2.6. Ağır Metallerin Sağlığa Etkileri.....	9
2.7. Ağır Metallerin Özellikleri.....	10
2.7.a. Kurşun (Pb).....	11
2.7.b. Krom (Cr).....	13

2.7.c. Kadmiyum (Cd).....	14
2.7.d. Çinko (Zn).....	15
2.7.e. Bor (B).....	16
2.7.f. Alüminyum (Al).....	17
2.7.g. Manganez (Mn).....	18
2.7.ğ. Nikel (Ni).....	19
2.7.h. Arsenik (As).....	20
2.7.i. Selenyum (Se).....	21
2.7.ı. Bakır (Cu).....	21
2.8. Ağır Metallerin Sınır Değerleri.....	22
3. BÖLÜM	
MATERYAL VE METOD.....	23
3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri.....	23
3.1.a. Birinci İstasyon.....	25
3.1.b. İkinci İstasyon.....	27
3.1.c. Üçüncü İstasyon.....	27
3.1.d. Dördüncü İstasyon.....	28
3.2. Çalışma Kapsamı.....	29
3.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	30
3.3.a. ICP-MS Cihazı.....	31
3.3.b. Su Örnekleri Analizleri.....	33
3.3.c. Sediment Örnekleri Analizleri.....	33

3.4. Ağır Metal Kirlilik Değerlendirme İndeksleri.....	34
3.4.a. Zenginleştirme Faktörü (EF).....	35
3.4.b. Kontaminasyon Faktörü (CF).....	36
3.4.c. Kirlilik Yük İndeksi (PLI).....	36
3.4.d. Kirlilik İndeksi (PI).....	37
4. BÖLÜM	
BULGULAR ve TARTIŞMA.....	38
4.1. Sediment Bulguları ve Tartışma.....	38
4.1.a. Alüminyum (Al).....	40
4.1.b. Mangan (Mn).....	41
4.1.c. Bor (B).....	43
4.1.d. Çinko (Zn).....	44
4.1.e. Krom (Cr) ve Arsenik (As).....	46
4.1.f. Nikel (Ni).....	48
4.1.g. Kurşun (Pb).....	49
4.1.ğ. Bakır (Cu).....	51
4.1.h. Selenyum (Se).....	52
4.1.ı. Kadmiyum (Cd).....	53
4.2. İstasyonlara Göre Sediment Bulguları ve Tartışma.....	55
4.3. Su Bulguları ve Tartışma.....	57
4.3.a. Bor (B).....	58
4.3.b. Alüminyum (Al).....	59

4.3.c. Mangan (Mn).....	59
4.3.d. Çinko (Zn).....	60
4.3.e. Arsenik (As).....	60
4.4. İstasyonlara Göre Su Bulguları ve Tartışma.....	64
5. BÖLÜM	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	81

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Resmî Gazete su kirliliği kalite standart eşik değerleri.....	5
Tablo 2.2. Çalışılan ağır metallerin bulunduğu sektörler.....	10
Tablo 2.3. Ağır metallerin sınır değerleri.....	22
Tablo 2.4. Kalite parametreleri.....	22
Tablo 3.1. İstasyonlara ait koordinatlar.....	24
Tablo 3.2. Referans değerleri.....	34
Tablo 3.3. EF sınıflaması.....	35
Tablo 3.4. CF sınıflandırması.....	36
Tablo 3.5. PLI sınıflandırması.....	36
Tablo 3.6. İndekste kullanılacak standart değerler.....	37
Tablo 4.1. Sediment örnekleri ICP-MS sonuçları.....	38
Tablo 4.2. Alüminyumun EF-CF-PLI indeks değerleri.....	40
Tablo 4.3. Manganın EF-CF-PLI indeks değerleri.....	42
Tablo 4.4. Borun EF-CF-PLI indeks değerleri.....	43
Tablo 4.5. Çinkonun EF-CF-PLI indeks değerleri.....	45
Tablo 4.6. Krom ve Arseniğin EF-CF-PLI indeks değerleri.....	46
Tablo 4.7. Nikelin EF-CF-PLI indeks değerleri.....	49
Tablo 4.8. Kurşunun EF-CF-PLI indeks değerleri.....	50
Tablo 4.9. Bakırın EF-CF-PLI indeks değerleri.....	51
Tablo 4.10. Selenyumun EF-CF-PLI indeks değerleri.....	53

Tablo 4.11. Kadmiyumun EF–CF–PLI indeks değerleri.....	54
Tablo 4.12. Su rneklere ICP-MS Sonuçları.....	57
Tablo 4.13. Kirlilik İndeksi (PI) sonuçları.....	61
Tablo 4.14. Su eşik değerlerini aşan metaller.....	61
Tablo 4.15. Su değerlerinin literatür karşılaştırması.....	62
Tablo 4.16. Aras ve İpek analiz sonuçlarının bu çalışma ile karşılaştırılması.....	63



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Ağır metallerin biyokümülyasyonu.....	7
Şekil 2.2. Ağır metallerin biyolojik sisteme giriş yöntemlerinde cıva örneği.....	8
Şekil 2.3. Ağır metallerin zararları.....	9
Şekil 2.4. Ağır metallerin sebep olduğu bazı hastalıklar.....	10
Şekil 2.5. Kurşunun sebep olduğu hastalıklar.....	12
Şekil 2.6. Kadmiyum kaynaklı kirliliğin dünyasal haritası.....	14
Şekil 2.7. Alüminyumun kullanıldığı alanların oranları.....	17
Şekil 2.8. Manganez oksidi.....	18
Şekil 2.9. Nikele bağlı cilt hastalığı.....	19
Şekil 2.10. Arseniğin sisteme katılması.....	20
Şekil 3.1. Kızılırmak Nehri çalışma alanı sınırları.....	24
Şekil 3.2. Birinci istasyon uydu görüntüsü.....	25
Şekil 3.3. Birinci istasyon resmi.....	25
Şekil 3.4. Tüpraş uydu görüntüsü.....	27
Şekil 3.5. İkinci istasyon (a), (b); TÜPRAŞ atık suyunun nehre döküldüğu bölge (c), (d); numune alımı.....	27
Şekil 3.6. (a); MKE uydu görüntüsü (b), (c); bölge resmi (d); numune alımı.....	28
Şekil 3.7. (a); dördüncü istasyon uydu görüntüsü (b), (c); bölge resmi (d); numune alımı.....	29
Şekil 3.8. Alınan örnekler.....	30

Şekil 3.9. Laboratuvar çalışmasından bir resim.....	31
Şekil 3.10. ICP-MS cihazı.....	32
Şekil 3.11. Su ve sediment örneklerinin plazmadaki davranışları.....	32
Şekil 4.1. Sediment sonuçlarının grafiği.....	39
Şekil 4.2. Alüminyumun istasyonlardaki dağılımı.....	40
Şekil 4.3. Manganın istasyonlardaki dağılımı.....	41
Şekil 4.4. Borun istasyonlardaki dağılımı.....	43
Şekil 4.5. Çinkonun istasyonlardaki dağılımı.....	44
Şekil 4.6. Kromun (a) ve arseniğin (b) istasyonlardaki dağılımı.....	46
Şekil 4.7. Nikelin istasyonlardaki dağılımı.....	48
Şekil 4.8. Kurşunun istasyonlardaki dağılımı.....	49
Şekil 4.9. Bakırın istasyonlardaki dağılımı.....	51
Şekil 4.10. Selenyumun istasyonlardaki dağılımı.....	52
Şekil 4.11. Kadmiyumun istasyonlardaki dağılımı.....	54
Şekil 4.12. İstasyonların toplam ağır metal barındırma kapasitesi.....	55
Şekil 4.13. Su sonuçlarının grafiği.....	58
Şekil 4.14. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Bor (B) dağılımı.....	58
Şekil 4.15. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Alüminyum (Al) dağılımı.....	59
Şekil 4.16. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Mangan (Mn) dağılımı.....	59
Şekil 4.17. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Çinko (Zn) dağılımı.....	60

Şekil 4.18. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Arsenik (As) dağılımı.....	60
Şekil 4.19. İstasyonların toplam ağır metal barındırma kapasitesi.....	64



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

WHO: Dünya Sağlık Örgütü

TS-266: Türkiye Standartları

TSE: Türkiye Standartları Enstitüsü

M.K.E.: Makine Kimya Endüstrisi

TÜPRAŞ: Türkiye Petrolleri A.Ş.

Al: Alüminyum

As: Arsenik

Cr: Krom

Cu: Bakır

Mn: Mangan/Manganez

Zn: Çinko

Pb: Kurşun

Ni: Nikel

B: Bor

Se: Selenyum

EF: Zenginleştirme Faktörü

CF: Kontaminasyon Faktörü

PLI: Kirlilik Yüğü İndeksi

PI: Kirlilik İndeksi

PVC: Polivinil Klorür

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Dünyamızın yaklaşık %71'lik kısmı su ile kaplıdır. Su, gezegendeki tüm canlılar için önemli bir kaynaktır. Canlı yaşamın var olabilmesi ve yaşamını sürdürmesinin ana temeli bizlere hayat veren sudur. Su kaynakları birçok dala ayrılmakla beraber en çok kapasite içerenler; yeraltı su kaynakları ve okyanuslardır. Son yıllarda dünyada sanayileşme, aşırı nüfus artışı, pandemi nedeniyle göç artışları, iklim krizi ve kuraklık sebebiyle su kaynaklarının yeterliliği ve kirlilik düzeyi geleceğimizi belirlemedeki temel faktör haline gelmiştir. Fazla nüfus artışı ve endüstrinin çevresel koşullara dikkat etmemesi halinde insanlığı iklim krizi ve temiz su kaynaklarının tükenmesi beklemektedir [1].

Özellikle sanayi faaliyetlerinin artmasıyla ağır metal akümülayonu bütün ekosisteme dağılmış olup, gezegendeki doğal döngüsünün bozulmasına, atmosferin, su ve toprak kaynaklarının kirlenmesine sebep olmuştur. Dünyanın geleceği için, sulardaki kirliliğin önüne geçilmesi ve korunması için arıtım sistemlerinin çok verimli bir şekilde yapılması gerekmektedir [2].

Endüstriyel faaliyetler yasal kurallar kapsamında atık su ve kirlilik yönünden standartlara sahiptirler. Ancak yine de kirlilik kaynağı araştırıldığında sanayi faaliyetlerinin su kirliliğine etkisi ciddi boyutlara ulaşmıştır. Özellikle demir çelik ve petrol rafinelerinin arıtma sistemlerinin ağır metal toksisitesi açısından verimli olabilmesi için büyük bir maliyet gerekmektedir. Ülkemiz şu anda gelişen ülkeler arasında yer alıp sanayi faaliyetlerinin artacak olması su kaynaklarımızın üzerindeki tehdidi artırmaktadır. Petrol rafineleri, ham petrolü damıtma ve arıtma işlemleriyle ağır metal kaynaklı su kirliliği üzerinde oldukça etkisi olan bir sanayi dalıdır [3]. Sanayi faaliyetlerinin atıklarında cıva (Hg), demir (Fe), kurşun (Pb), nikel (Ni), çinko (Zn), arsenik (As), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), alüminyum (Al), mangan (Mn), selenyum (Se), krom (Cr) gibi metal iyonları bulunmaktadır. Bu metaller ekosistemde belli bir sınırı aşınca toksik etki göstermektedirler. Bu metaller, suda ayrışamazlar ve su sedimentinde çökerek kirlilik meydana getirirler ve ayrıca nehirlerde

Akıntıyla nehir kolları boyunca devam edip bütün nehirde yayılım gösterirler. Canlı sisteme giren ağır metaller, besin piramidinde temelden başlayarak üst zincire kadar tüm canlı yaşamında toksik etki yaratmaktadırlar. Yıllar boyunca dünyadaki birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de ağır metal kaynaklı su kirliliğine kalıcı çözüm üretilmemiştir. Bu bağlamda ağır metal kaynaklı su kirliliği yoğun olarak araştırılan konulardan biri olmuştur [4].

Nehirler gezegenin damarları olup su döngüsünde kilit rol oynarlar. Türkiye'nin en uzun nehri olan, Kızılırmak Nehri 10 ilden geçmektedir. Kırıkkale İl'i sınırlarından geçen Kızılırmak Nehri üzerinde Türkiye'nin büyük ithalat kuruluşları olan; petrokimya ve savunma sanayi üretim tesisleri yer almaktadır. Nehir 10 ilden geçinceye kadar tarımsal faaliyetler ile de çevrilidir. Taşıdığı bu kriterler sebebiyle ağır metal kirliliğinin belirlenmesi, çevre ve insan sağlık risklerinin ortaya konması bakımından oldukça uygun bir kaynaktır [5].

Son yıllarda Türkiye'nin nehir su kaynaklarında kritik değerlerini aşan kirlilik saptanmıştır. Alınan göçlerle beraber nüfusun normalden daha fazla artarak, sanayi üretim ürünlerinde daha fazla talep olmasına neden olmuştur. Buda daha fazla endüstri tesisini beraberinde getirmiştir. Nehirlerimiz üzerindeki yüksek ağır metal toksisite seviyeleri, toplumun bu konuda duyarlı olmadığını da göstermektedir.

Kızılırmak Nehri, doğal güzellikleri büyük ölçüde korunmuş olan ülkemizin nadir sulak alanlarından biridir. Ancak son yıllarda nehir, daha çok su kirliliği dallarında yapılan araştırmalarla ve nehirdeki birçok canlının hayati tehlikesiyle anılmaktadır. Sonuçlar ülkemizdeki su havzalarının giderek daha fazla kirlendiğini gözler önüne sermektedir. Kızılırmak Nehri'nin sediment tabakası son yıllarda ağır metal kirlilik yükü bakımından oldukça riskli hale gelmiştir. Sedimentte çökelmeyen ağır metaller ise yüzey suyunda nehir boyunca akarak birçok canlıyı tehdit etmektedir. Nehirler aynı zamanda bir tarımsal alan ve sulama kaynağı olduğundan dolayı ağır metaller kökler aracılığıyla bitkilere de geçmektedir. Bitkilerden ise karasal hayvanlara ardından ise insanlara aktararak biyolojik sistemlere kalıcı ve kalıtsal (genetik) zarar vermektedir.

Yapılan son çalışmalarda özellikle çalışmayı planladığımız bölgede bulunan sanayi bölgeleriyle kirlilik düzeyinin ilişkisi, nehir üzerindeki rafineri ve savunma

sanayilerinin atık su arıtma verimliliği bakımından nehre etkisi araştırılmamıştır. Bu çalışma belirlenen literatür eksikliğine katkı yapmayı amaçlamakla beraber bu konuda alınacak tedbir ve önlemlere vurgu yapmayı hedeflemektedir.

Türkiye için çok önemli olan ve gittikçe kirlenen Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan endüstriyel faaliyetlerin nehir üzerinde kirletici etkileri önlem alınmadığı takdirde Türkiye ekosistemi için önemli yere sahip Kızılırmak Nehri alg patlaması, su türlerinin yok oluşu, sucul canlıların azalması, tarımsal sulamada nehrin artık kullanılamaması sonucuyla ve kuruma tehlikesiyle baş başa kalabilme ihtimali taşımaktadır.



2. BÖLÜM

2.1. Türkiye'nin Su Kaynakları

Türkiye'de toplam 26 topografik su havzası bulunmaktadır. 26 su havzasının ise 95 milyar m³ su potansiyeli bulunmaktadır. Ancak bu potansiyelin %30 kadarı kullanılmaktadır. Sanayi faaliyetleri için kullanılan su oranı %10'dur. Ülkemiz şu anda su kıtlığı çeken ülkeler arasında yer almaktadır. Su yetersizliğinin yanında su kirliliği sorunu var olan su kaynaklarının kullanılmamasının bir diğer sebebidir [6].

2.2. Atık Sular

Sanayi fabrikalarının atık suları arıtma sistemlerine tabii tutulmadan veyahut verimsiz bir şekilde kararnameye uymadan arıtılarak başka su kaynaklarına deşarj edilebilmektedir. Atık sular; alıcı ortamlarda kimyasal, fiziksel ve biyolojik toksisiteye sebep olmaktadır. İçerisinde birçok, ağır metal iyonu, tuz ve çözücü içeren atık sular, arıtılsa bile tam olarak temizlenememektedir. Pet şişelerin ham maddesi olan polietilen teraftalat buna bir örnektir. En çok kirlilik etkisi yaratan sanayi dalları petrokimya, çelik, barut ve yağ fabrikalarıdır. Petrolün içerisindeki yüksek ağır metaller canlılar için büyük risk oluşturmakta olup, biyolojik sistem tarafından tamamı elimine edilememektedir. Şu an ülkemizde atık su ağır metal kaynaklı su kirliliği dolayısıyla birçok su kuşunun ve su canlılarının neslinin tehdit altında olduğu, bir kısmınınsa neslinin tükendiği bildirilmektedir. Endüstriyel kirleticilerin sebep olduğu organik yan ürünleri temizleyebilmek için ortamda bakterilerin çoğaldığı gözlemlenmektedir. Bu durumda sudaki oksijen seviyesi düşmektedir. Bu duruma son yıllarda gündeme gelen alg patlaması ve Marmara Denizi vakası örnek verilmektedir [7].

31.12.2004 tarihinde ve 25687 sayılı Resmî Gazete yönetmelik kararınca su kirliliği derecelendirilmesi yapılmıştır. Derecelendirmeye ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

1. Sınıf – Yüksek Kaliteli Su Derecesi

Birinci sınıf sular, sadece dezenfeksiyon yöntemiyle içme suyunda, hayvan üretiminde ve yüzme, spa, havuz sporları gibi vücutla temas hali gereğince kullanılabilir. Biyolojik sistemde herhangi bir kirlilik sorunu teşkil etmeyen su grubudur.

II. Sınıf – Az Kirli Su Derecesi

İkinci sınıf sular, orta düzeyde bir arıtma işleminden sonra kimyasal madde üretimi için, alabalık cinsi hariç balık üretiminde kullanılmaktadır.

III. Sınıf – Kirli Su Derecesi

Gıda için ya da tekstil gibi kaliteli suya ihtiyaç duyan endüstriler hariç olarak ileri seviyedeki arıtmadan sonra kullanılan su grubudur.

IV. Sınıf – Çok Kirli Su Derecesi

Yukarıdaki sınıflardan daha çok kirletici madde içeren yüzey sularını ifade etmektedir. Biyolojik sistem için toksik olduklarından dolayı vücut ile temas etmemesi ve içilmemesi gereken su grubudur. Bu su kalitesindeki bir havzada herhangi bir canlı formunun olamayacağı düşünülmektedir [8]. Türkiye için ağır metal eşik değerleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Resmî Gazete su kirliliği kalite standart eşik değerleri [8]

	I	II	III	IV
Kadmiyum	3	5	10	>10
Kurşun	10	20	50	>50
Arsenik	20	50	100	>100
Bakır	20	50	200	>200
Krom	<1	20	50	>50
Nikel	20	50	200	>200
Çinko	200	500	2000	>2000
Mangan	100	500	3000	>3000
Bor	1000	1000	1000	>1000
Selenyum	10	10	20	>20
Alüminyum	0.3	0.3	1	>1

Az Kirli	Hafif Kirli	Belirgin Kirli	Ciddi Düzey
----------	-------------	----------------	-------------

2.3. Ağır Metaller

Eski çağlardan beri işlenen metaller, insan işlemleriyle atmosfere ve doğaya salınmaya başlamıştır. Gelişmiş ülke olan Japonya, ağır metal kirliliği kaynaklı zehirlenmelerin görüldüğü ilk ülke olmuştur. Yoğunlukları 5 g/cm³ ten büyük olan metaller; kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, cıva, çinko ve nikel olmak üzere 60'dan fazla çeşide sahiptirler. Ağır metaller, gezegende çoğunlukla karbonat, oksit ve silikat şeklinde bileşikler halinde bulunmaktadır. Yoğunlukları ile toksik etkileri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Yoğunluğu az olan baryumun, titanyumdan daha etkili bir toksisiteye sahip olduğu bildirilmiştir [9].

Aynı zamanda ağır metaller litosferde serbest olarak bulunurlar. Bazıları düşük dozda biyolojik sistemde bulunması gerektiğinden "iz element" olarak adlandırılmaktadır. Örneğin; iz element olan selenyum, düşük dozda gerekli fakat yüksek miktarda oldukça toksiktir. Sanayi devriminden sonra tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de ağır metal toksisitesi ekolojik bir tehdit halini almıştır [10].

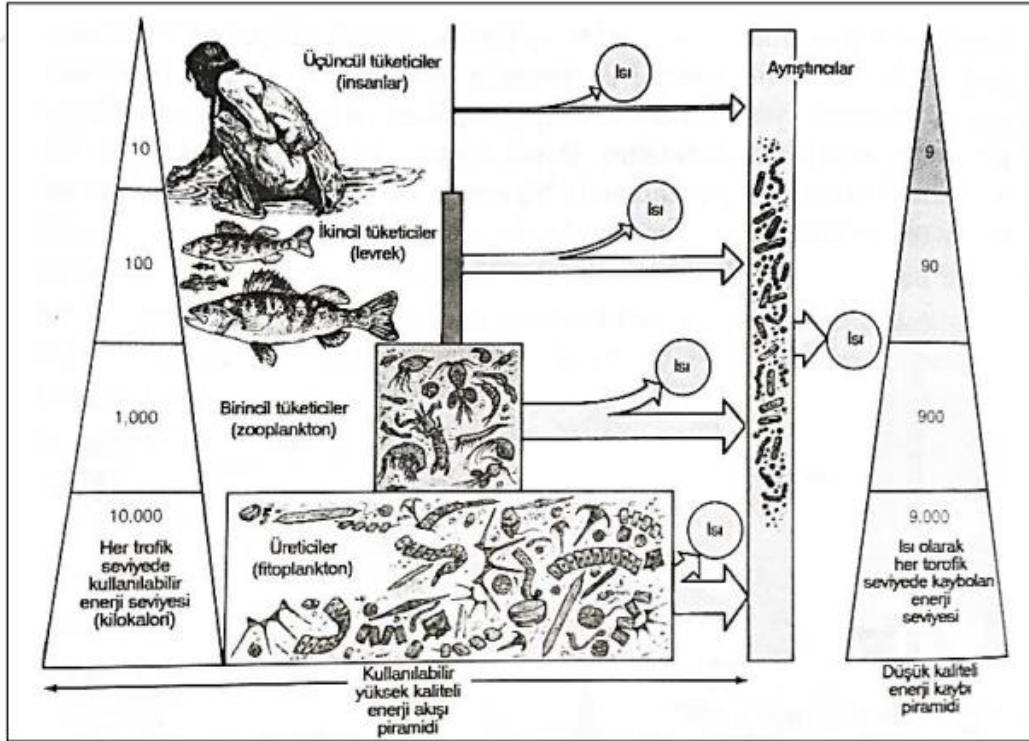
2.4. Ağır Metallerin Birikim Mekanizmaları

Ağır metaller, sulara, sanayi atıkları ve asit yağmurlarıyla toprağa, topraktan ise çözünerek ırmak, göl ve yeraltı sularına karışırlar. Su aracılığıyla taşınan ağır metaller seyrelirler ve karbonat, sülfat ve sülfürle birleşerek bir tortu halinde tabanda çöker ve bölgede zenginleşirler. Fakat birleşik halde daha yoğun ve ağır hale gelen ağır metal kompleksleri, bir süre sonra dip tortuda (Sediment) birikmeye başlamaktadırlar. Fakat sediment tabakası, ince bir tabakadır bundan dolayı adsorpsiyon kapasitesi sınırlıdır. Taşıma kapasitesini geçen tortular bir süre sonra suyun orta katmanlarına oradan da yüzeye çıkarak asıl kirliliği meydana getirmektedirler. Birikim mekanizmasında önce sediment birikimi daha sonra ise su kolonunda birikim gözlenmektedir. Tuz göllerinde ve sodalarda ağır metal bileşikleri bileşim şeklinden daha çok sade haliyle bulunabilmektedir. Tuzdan ve sodalardan arıtma işlemlerinden sonra üretim yapılmaktadır. Tuz göllerinde, nehirlerde ve akarsularda ağır metaller, toprak katmanlarına da nüfus ederek yer altı sularını kalıcı olarak kirlenmektedir. [11].

2.5. Ağır Metallerin Canlı Yaşama Geçişleri

Ağır metallerin biyolojik proselere katılma kriterleri yaşamsal ve yaşamsal olmayan olmak üzere iki şekilde incelenmektedir. Yaşamsal biyolojik proses; biyolojik sistemde kimyasal reaksiyonlar için zorunlu olan (iz) metallerdir. Örneğin, bakır canlı yaşamda kan hücrelerinde oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarında zorunludur. Demir ise oksijenin bağlanması ve taşınmasında rol oynamaktadır [12].

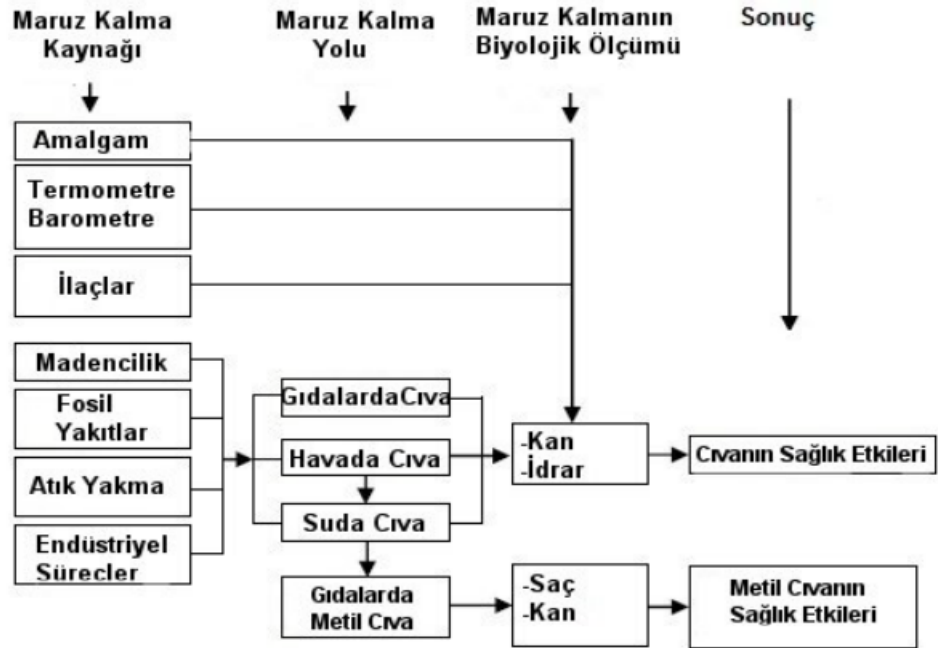
Tatlı su ekosisteminde besin piramidi en alt sınıf olan fitoplanktonik organizmaların güneş enerjisiyle çalışan mekanizmalarıyla başlamakta olup, balıklar ve diğer omurgalılar ile son bulmaktadır. Ağır metaller sucul canlıların hücrelerinde birikip toksik özellik gösterirler. Sucul canlıları beslemek amacıyla tüketen balıklara, balıklardan ise yine beslenmek amacıyla balık yiyen insanlara geçerler. Canlı ölse dahi ağır metaller mitokondrilerde, dokularda ve hücrelerde biriktiğinden elimine edilememektedir ve o canlıyı besin olarak kullanan diğer canlıya da geçmektedir [13-14].



Şekil 2.1. Ağır metallerin biyoakümülyasyonu [15-16]

Ağır metaller; konservelerde, kuaför boyaalarında, sigarada, elektronik sigarada, masaj yağlarında, deniz ürünlerinde (ahtapot, midye, karides), içme sularında, poşet gıdalarda olmak üzere birçok şeyde bulunmaktadır. Birçok şeyde buldukları için insan sağlığını büyük ölçüde tehdit etmektedirler. İnsan vücuduna içme, soluma ve temas yoluyla da girebilmektedirler. Bu konuda ağır metal kaynaklı hava kirliliği de ülkemizde artmakla beraber solunum yoluyla insan bünyesine zarar vermektedir.

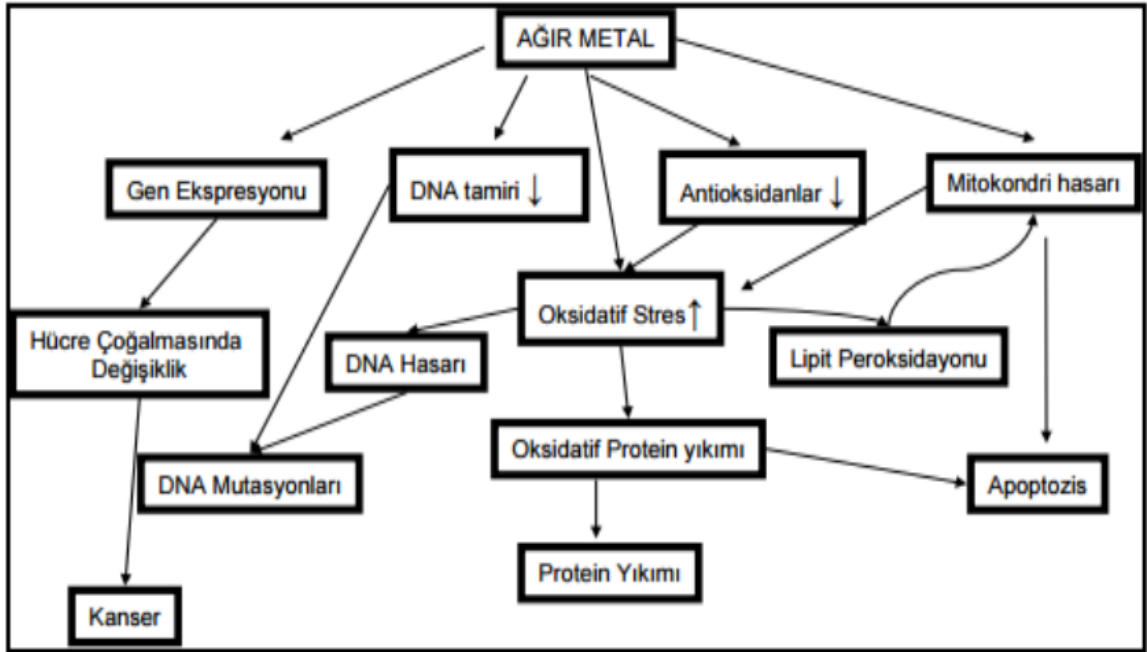
Ağır metaller toprağın pH değerini değiştirerek toprak verimini kalıcı olarak bozabilmekte ve alanda bir daha bitki yetişmemesine neden olmaktadır. Bu yüzden çiftçiler bir zaman sonra göç ederek başka topraklarda mahsul yetiştirmek zorunda kalmaktadırlar. Killi topraklar, katyonları değiştirebildikleri için normal topraklara göre daha az ağır metal barındırırlar. Bitkiler, toprakta bulunan kökleriyle ağır metalleri bünyelerine almaktadırlar. Ağır metaller bitkiler üzerinde son derece toksik etki göstermektedirler. Uzama, yaprak sayısı ve stoma hareketlerinde olumsuz etki yaratmaktadırlar. Aynı zamanda bitkinin vitamin ve mineral üretim reaksiyonlarını etkileyerek bitkinin besin değerini düşürebildikleri bildirilmiştir [17].



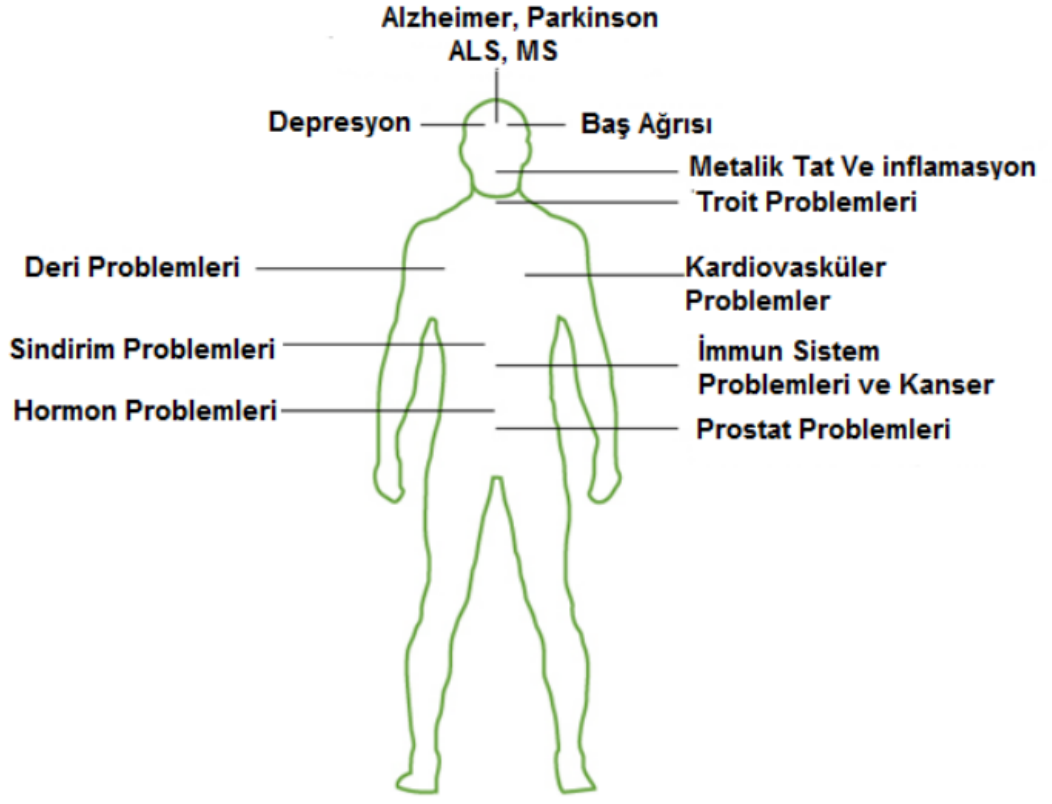
Şekil 2.2. Ağır metallerin biyolojik sisteme giriş yollarında cıva örneği [18]

2.6. Ağır Metallerin Sağlığa Etkileri

Ağır metallerin metabolizmadan atılımları çok yavaş ve çok zordur. Sebebi ise; metaller dolaşım sistemi, doku ve organlar için çok toksik olduklarından vücudun pH seviyesini asitlenmeye iterler. Bu yüzden karaciğerimiz metalleri, dolaşımdan olabildiğince uzakta tutmak üzere yağ dokularının içerisine ya da dokular arası sıvı olan ödem olarak hapseder. Amacı, vücudu zehirlenmeye karşı korumaktır. Bu yüzden fazla alkol tüketen kişilerde fazla kalori alması bile karaciğer etrafında yağlanma görülmektedir. Vücutta oluşturacağı etkiler; metalin cinsine, dozuna ve çözünürlüğüne göre değişmektedir. Toksik olmalarının temel sebebi, hücre içinde metabolik bozukluğa sebep olmalarıdır. Bahsedilen bozukluklar; DNA hasarları, hücre içi oksidatif stresin artması, protein yıkımları, proteinlerin üç boyutlu yapılarının yanlış katlanmaları, mitokondri hasarları ve hücre ölümü olan apoptozisin indüklenmesidir. Eğer ağır metal eşik değeri üzerinde uzun zamandır maruz kalma var ise otoimmün hastalıklara ve kansere sebep olmaktadır. Aynı zamanda sadece hücre içi değil ağır metaller psikolojik sancı süreci yaratmaktadırlar. Sigara kullanan insanların, sorunlarla baş etme, sorun çözme ve öfke kontrolleri arasında ağır metal yönünden ilişki bulunmaktadır [19-20-21].



Şekil 2.3. Ağır metallerin zararları [21]



Şekil 2.4. Ağır metallerin sebep olduğu bazı hastalıklar [20]

2.7. Ağır Metallerin Özellikleri

Bu kısımda çalışmada araştırılan; bor (B), alüminyum (Al), krom (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As), selenyum (Se), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pd) metallerinin özellikleri ve kullanıldıkları sanayi dalları yer almaktadır.

Tablo 2.2. Çalışılan ağır metallerin bulunduğu sektörler

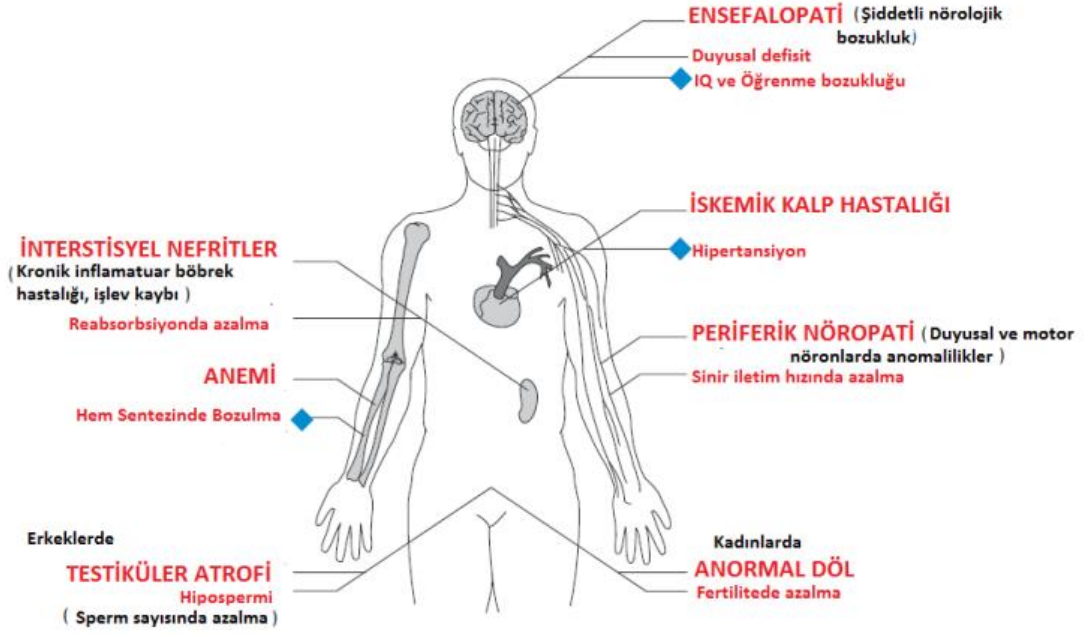
Endüstri	B	Al	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Se
Kağıt	-	+	+	+	+	+	-	-	+
Petrokimya	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Deri	-	-	+	+	+	+	-	+	+
Gübre	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Demir Çelik	+	+	+	+	+	+	+	+	+

2.7.a. Kurşun (Pb)

Kurşun periyodik cetvelde 4A grubu en metalik olan elementtir. Doğada 4 izotopu bulunmaktadır. Doğada en çok bulunan kurşun bileşikleri; sülfür içeren galena (PbS), karbonatlı serüsit (PbCO₃) ve sülfatlı anglesittir (PbSO₄) [22].

Kurşun, biyolojik reaksiyonlarda yer almamaktadır, organik ve inorganik formda bulunmaktadır. İnorganik kurşun formu, atmosfer tabakasında partikül halde bulunur, organik kurşun ise gıdalar içerisinde ve içme sularında olan formdur. Maruz kalma yolları çevresel ve endüstriyeldir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre kurşunun tolere edilebilir haftalık seviyesi 3000 mg'dır. Fakat çocukların bünyesi henüz gelişmemiş olduğundan 1500 mg kabul edilmektedir. Kurşunun majör emilimi solunum yolları ve gastrointestinal kanaldandır. Gastrointestinal kanalından emilim yetişkinlerde %10 olmak üzere yaşlandıkça değişmektedir. Ayrıca kurşun, deri yoluyla da emilebilmektedir. Bu şekilde vücuda giren kurşun metalinin %90'lık kısmı eritrositlere bağlanarak %1'i serbest, kalanı ise albüminle birleşerek taşınır. Biyolojik sistemden atılım hızı çok yavaştır ve kanda 30 gün kaldıktan sonra dokularda depolanır, kemiklerde ise 27 yıl kalmaktadır. Öncelikli, yumuşak doku hücrelerinde ve parankimal organlarda dağılmaktadır. Kurşunun esas yerleşim yeri diş ve kemiklerdir. Bu yüzden diş sorunları çok yaygındır [23-24].

Kurşunun en tehlikeli tarafı, kalsiyumun iyonik yapısıyla benzemesidir. Bu yüzden kurşun iyonu, tıpkı kalsiyummuş gibide taşınabilir. Kalsiyumca eksik diyetler, kurşun depolarını artırmaktadır. Bu durumda kalsiyum taşıyıcılarının kurşunu taşıması bir yarış başlatarak 'asetil kolin' salgılanmasına sebep olarak, sinir dokusunda solunumun bozulmasına sebep olur. Üstelik kurşun, divalen katyon olduğundan, sülfidril gruplara bağlanması çok yüksek olmakta ve böylece enzim ve proteinleri bozabilmektedir. Bu durum eritrosit olgunlaşmasını önler ve anemi ile sonuçlanır. Bu süreç, kurşunun en yaygın toksikleşme prosesidir. Prosesin en sonunda, ALA biyosentezi bozularak GABA salınımı azalır ve eritrositlerin zar yapılarını kullanılamaz hale getirerek, yaşam sürelerini kısaltır. Kurşun toksisitesi, kısa sürede anemiye, diş ve sinir sorunlarına sebep olmaktadır. Kurşunun sebep olduğu sorunlar Şekil 1.5.'te verilmiştir [25].



Şekil 2.5. Kurşunun sebep olduğu hastalıklar [26]

En yaygın kurşun tüketimi Kuzey Amerika'dır. Yıllık tüketim 1.300.000 ton olmakla beraber atmosfere salınan miktar ise 600.000 tondur. Eski yıllarda paslanmaya karşı oksit boyanın hammaddesi olarak kullanılmakla beraber, araba kullanımında çok yaygındır. Bu yüzden yol kenarlarında kurşun kirliliğine çok rastlanmaktadır. Roma İmparatorluğu'nda su borularında kurşun kullanılmıştır. Günümüz bilim adamları Roma zamanı hastalıklarının bundan dolayı olduğunu düşünmektedirler. Sağlıkçılar, kısalan insan ömrünün kurşun kaynaklı su kirliliği olduğunu savunmaktadırlar. Sanayi fabrikalarının yakın yerleşkelerinde yaşayan insanlarda hastalıklar tespit edilmiş üstelik su kirliliğine de rastlanmıştır. Özellikle böcek ilaçlarının içerisinde yüksek kurşun bulunur ve ilaçlı sebze meyveler kurşunludur. Kozmetik malzemelerinde renk pigmentini veren madde kurşundur. Altın sektöründe altının geri kazanımında uygulanan 'Kal' işlemi, kurşunun oksit şeklinde atmosfere salınmasına neden olmaktadır. Yetişkin insan için günlük alımda 1-2 mg kurşunu geçmemek gereklidir ancak çok eski insan fosilleri üzerindeki çalışmalarda 500-700 katı kadar kurşun bulunmuştur. Kurşun kümülasyonu özellikle nehirlerde birikerek, önemli türleri olumsuz etkilediği ve günümüzde ağır metal kirliliği kaynaklı su kirliliğinden dolayı bazı su türlerinin kaybedildiği ve kaybedileceği bildirilmektedir [27-29].

2.7.b. Krom (Cr)

Krom, vücutta insülin prosesine etki etmektedir. Doğada sık bulunan bir metaldir. Krom Fransız L.N. Vauquelin tarafından üretilmiş olup, renkliliğinden dolayı Yunancada renkler anlamına gelen 'Krom' adını almıştır. Günümüzde alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel oksidasyon, fosil yakıtların yanması ya da ağaç yanmaları doğaya altı değerlikli krom formunu salmaktadır. Okside olan krom kararlıyken, okside olmayan krom suda üç değerlikli olarak redüklenmektedir. Krom daha çok yanma olan oksidasyon sonucunda yayılmakla beraber doğal gezegende de bir döngüsü vardır. Kromun yılda 6700 ton olarak su sedimentinde çökeldiği bildirilmektedir [30].

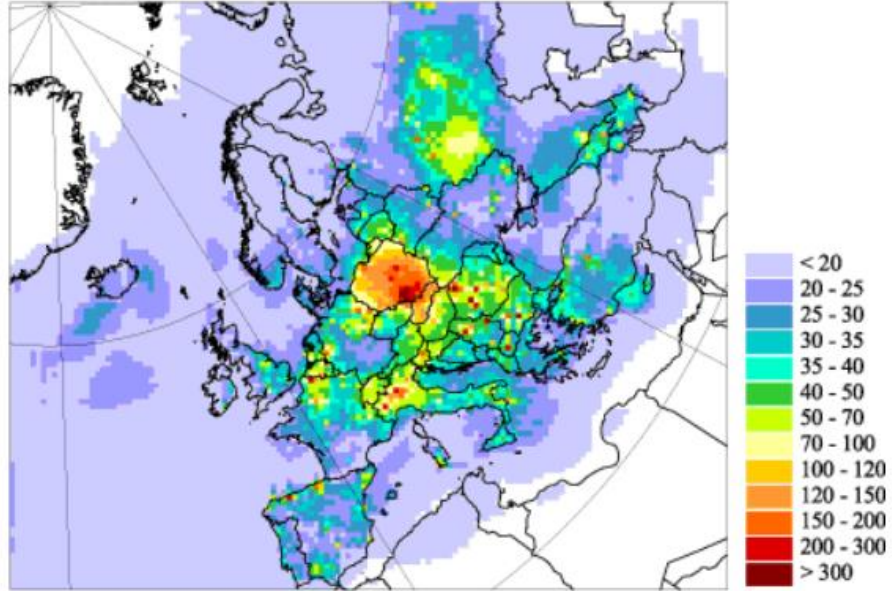
Kromun toksisitesi, ne kadar yandığına ve nasıl yandığına bağlıdır. Günde 250 µg'a kadar biyolojik sistemde toksik etki yapmamaktadır. Altı değerlikli kromun, üç değerlikli kromdan 3-5 kat daha çok adsorpsiyon yeteneğine sahiptirler. Absorbe olan krom üre olarak atılır, kalanı ise dokularda depolanır. Et, bakliyat ve baharatlar en iyi krom kaynaklarıdır. Süt, sebze ve meyveler pek az krom barındırırlar. Krom bir iz elementtir ve eksikliği şeker hastalığına sebep olmaktadır. Oksidatif stresle kansere sebep olan krom formu altı değerlikli kromdur [30].

Kromat, histamin etkisi yaratan bir alerjen maddedir. Fakat krom, cilt kanserine sebep olmamaktadır. Altı değerlikli krom, hava yoluyla vücuda alındığında; burun akması, kaşıntı ve üst solunum yolları polipleri nihayetinde astıma neden olmaktadır. Yetişkin insan için öldürücü doz 50-70 mg'dır. Üç değerlikli kromun, kansere sebep olmayan form olduğu belirtilmektedir [30].

Kauçuk malzemelerde, çimento, boyalar, kâğıt ve boya hammaddesinde kullanılan krom, ağaçlarda yeterli fotosentez yapılamamasına sebep olarak doğaya zarar vermektedir. Diğer metallere göre sucul ortamda birikmesi doğada var olması sebebiyle daha kolaydır. Bu yüzden metropol şehirlerde tutulup yenilen balıklar, sadece krom değil bütün ağır metallerce zengindir. Balık yemek diyet sisteminde çok sağlıklı gözükse de günümüz şartlarında kirlenen nehirlerde ve daha da sanayileşen dünyada balıklar artık sağlıklı gıda adı altında nitelendirilmesinden uzaklaşmıştır [30].

2.7.c. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, çinko elde edilmesi için üretilmiştir. Bu yüzden çinko kadar suya ve havaya karışmaktadır. Günümüzde kadmiyum, pil sanayisinde, tuzlu suya koruma özelliğiyle gemilerde, boyalarda PVC stabilizatörü ve elektronik sanayisinde kullanılır. Esas su kirliliğine olan etkisi ise çalışmada yer alan petrol rafineleridir. Yıllık doğaya salınımı 25000-30000 tondur. Bu miktarın %70'i insan faaliyetlerinin sonuçlarıdır. Özellikle sigarada, kahve, çay, kömür, kabuklu deniz canlılarında ve su borularında kullanılır. Kaynak işçilerinin kanlarında yüksek miktarda kadmiyum metaline rastlanmıştır [31].



Şekil 2.6. Kadmiyum kaynaklı kirliliğin dünyasal haritası [32]

Kadmiyum ve çinko benzer formlarda ve bir arada bulunurlar. Kadmiyum, biyolojik sistemde önemli enzimlerin ve organ fonksiyonlarında çinkonun yerine geçebilmektedir. Vücutta kadmiyum eksildiğinde, çinko artmaktadır, çinko arttığında ise kadmiyum azalmaktadır. Bunun sebebi, bağlayıcı taşıyıcıların ve reseptörlerin aynı olmasıdır. Tahıllarda buğdayı rafineri etme işlemi, çinko eksikliğine dolayısıyla da kadmiyum artışına sebep olmaktadır. Kadmiyumun diğer ağır metallere göre en önemli özelliği suda çözünme özelliği çok yüksek olmasıdır. Bu sebeple ekosistemde dağılımı çok hızlıdır ve iz element değildir.

Suda çok iyi çözüldüğü için su kirliliğinde en etkili metaldir. Kadmiyum kurşun ve cıvanın aksine plasentadan bebeğe geçmemektedir. Günlük 40 µg'a kadar tolere

edilebilmektedir. Endüstri bölgelerinde kadmiyum, kırsal alandan çok daha fazladır. Yüksek ve uzun süreli kadmiyuma maruz kalındığında böbrek yetmezliği ve akciğer hastalıkları ortaya çıkmaktadır. Vücutta uzun yıllar bekleyip yıllar sonra da etkisi ortaya çıkabilmektedir. Bunun sebebi; yaşlandıkça karaciğerin depolarının dolmasıdır. Bu durumda ağır metalleri dolaşımdan uzaklaştıramamaktadır. Bu yaş genellikle 50 ve üzeridir. En önemli tıbbi tanısı, prostat kanseri ve akciğer kanseridir. Dişlerdeki mine tabakasını bozarak diş ve kanal sorunlarına neden olmaktadır. Sigara ile direkt bağlantılı metaldir [33].

2.7.d. Çinko (Zn)

Çinko, metal-alaşım olan bir iz elementtir. Boya, kozmetikler, plastik sanayi, maden sanayi ve kanalizasyon borularında kullanılmaktadır. Endüstrilerin yeterince arıtılmamış suları, asit yağmurları ve kanalizasyonlarla doğada yayılımı çok kolaydır. Bitki metabolizmasında önemli bir element olan çinko, fosfat üretiminde enzim aktivasyonunda ve insülin sisteminde görev yapmaktadır [34].

Çinkonun doz aşımı, bitkilerde büyüme gecikmesine ve bitkinin yaşlanmasına sebep olmaktadır. Toksikitede, sürgün gelişiminde azalma, klorofil sentezinin olumsuz etkilenmesi görülür [35].

Çinko suda çözünen ve suda çözünmeyen olarak iki formu bulunmaktadır. Suda çözünen formları; kloratlar, klorürler, sülfat ve nitratlardır. Oksitler, karbonatlar, fosfatlar, silikatlar suda çözünemeyen formlardır. Çinko toprakta ve suda; sülfat ve nitratla bileşik halde bulunur. Dünyada, yıllık tüketimde dördüncü sıradaki metaldir. Eski çağlarda metal alaşımında kullanılırken, günümüzde hala en çok metal alaşımında ve otomobil sanayisinde kullanılmaktadır [36].

Çinkonun biyolojik sistemde başlıca görevleri; RNA, DNA, protein sentezi, yara iyileşimi, saç ve tırnak yapısına katılma, hücre bölünmesi, Vit-A'nın lokasyonel taşınması ve aktarılması, tat almak, immün sistemin güçlendirilmesi, beyinde öğrenme ve hafıza bölgesinin performansı ve kanda yağların taşınmasıdır [37].

2.7.e. Bor (B)

Bor, yer kabuğunda doğal olarak yüzey suyunda ise endüstriyel kirletici vasıtasıyla bulunmaktadır. Türkiye’de sulama sularını en çok kirleten toksik metal bordur. Bu bağlamda bitkilerin verimi düşürerek besin değeri az sebze meyvelere ve bitki çürümelere sebep olmaktadır. Sulama sularında belli bir miktar bor bulunması metabolik işlevler için gereklidir [38].

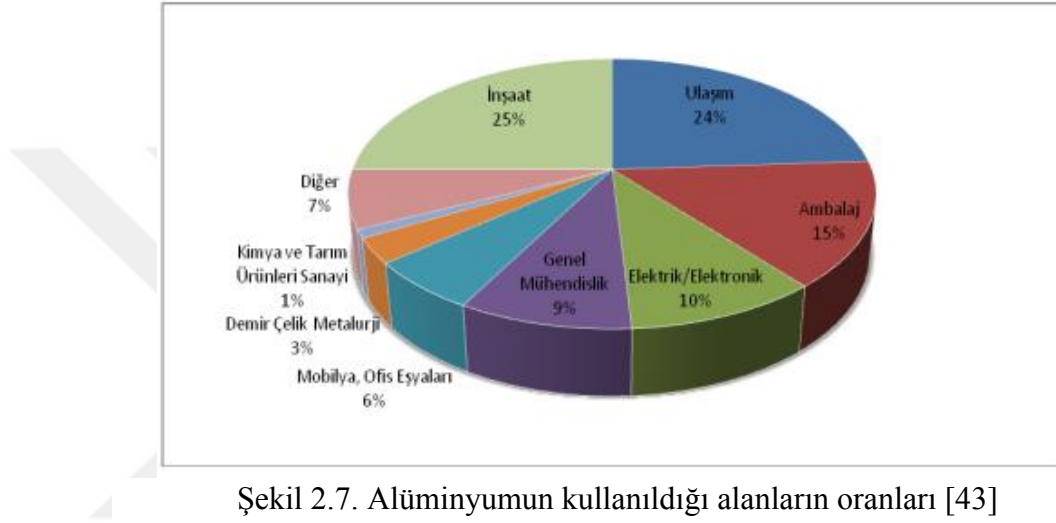
Vücuda alınan bor böbreklerden süzülerek idrar yoluyla %60 oranında atılmaktadır. Geri kalanı ise kemik, karaciğer ve dalakta birikmektedir. Maden işçilerinde bor kaynaklı, sperm sayısı azlığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde bor fabrikasında çalışan işçilerin eşlerinde, düşük ve ölü doğum oranı çalışmayanlara göre daha yüksek çıkmıştır. Restuccio ve arkadaşları, yüksek doz bor ile intihar vakalarında, otopsi sonuçlarında kanlarında 42 mg/dl bor tespit edilmiştir [39- 40-41].

Ülkemizde bor yatakları Kütahya ve Balıkesir yöreleridir. Açık ocaklarda işlenen borun kalıntıları çevre topraklarına oradan yağmur ile nehirlere ve sulara karışmaktadır. Maden havzalarındaki ekolojik sistem toksik seviyede bora maruz kalmaktadır. Bor, havada suda ve toprakta doğal olarak zaten bulunmaktadır fakat kayaların aşınmasıyla, volkanik faaliyetlerle, denizlerden küresel ısınmayla borik asidin buharlaşmasıyla, doğada birikmektedir [42].

Küresel ısınma ve iklim krizi atmosferde ısınmaya yol açarak deniz ve okyanuslarda fazla buharlaşmaya sebep olmaktadır. Buda buharlaşan kütlenin birden ve yoğun şekilde boşalmasıyla sellere sebep olmaktadır. Seller, normal yağmur suyundan daha fazla ağır metal kirliliği içerirler ve yer altı suyuna karışmazlar. Bu durumda her yere ağır metal yağmaktadır. Elde edilen verilere göre ilerleyen yıllarda iklim krizi sebepli dünyanın insan için yaşanabilir halde olması mümkün olmayacaktır. Özellikle bor metali; karbonhidrat metabolizmasında, hücre zarında görev almaktadır. Asitlerle bağ kurabilen bor tuzları atmosferde ve biyokümülyasyon zincirinde artmaktadır. Dünya genelinde çoğalan cinsel sağlık sorunları ve azalan doğurganlık verileri bor önde olmak üzere besin zincirinde insan biyolojik sistemine kadar ulaşmış olan ağır metal kirliliğidir.

2.7.f. Alüminyum (Al)

Alüminyum yer kabuğunda %8 oranında bulunan ve ısı iletkenliği, ömür uzunluğu, amfoter olması, aktif olması ve dış etkenlere karşı sert olmasıyla yönleriyle her alanda seçilen popüler bir metaldir. 21. Yüzyıl metali olarak anılmaktadır. İnşaat, ulaştırma, elektronik, makine ekipmanlarında, gıdada, ev eşyalarında ve çiplerde, sağlık alanında kullanılmaktadır [43].



Şekil 2.7. Alüminyumun kullanıldığı alanların oranları [43]

Alüminyumun vücuda girişi solunum, deri, içme yoluyla olmaktadır. Dış sektöründe kullanılan dolgu ve teller, mutfak tencereleri, parfümler, gıda katkı maddeleri, ilaçlarda, diyaliz solüsyonları, konserve, meyve suyu ve kola kutularında sınır değeri aşan alüminyum bulunmaktadır. Su, alüminyumu en fazla bağlayan ve taşıyan etkidir. Vücutta olması gereken miktarı 30-40 mg olan alüminyum, mide asidinden ve proksimal ince bağırsaktan emilmektedir. Emilimi çok düşük olduğundan kana geçen miktarı çok azdır ve serumda çıkan alüminyum yakın zamanda dolaşıma giren miktarı temsil etmektedir [44-45].

Guam'da sinyal motor nöronları üstünde yapılan bir çalışmaya göre Al derişimi yüksek olan su, motor nöronların ölümünü tehlikeli seviyede artırmıştır. Nehirlerdeki alüminyum toprağa oradan bitkilere ve sonra canlılara geçerek nörodejenerasyona sebep olur ve kabuklu deniz canlılarının kabuklarında yüksek düzeyde bulunmaktadır [46].

2.7.g. Manganez (Mn)

Oksijenin az olduğu kuyularda ve okyanuslarda doğal olarak ortaya çıkan bir ağır metaldir. Kil topraklarında ve yer altı suyunun zengin aktığı yerlerde kolaylıkla çözünebilmektedir. Manganez daha çok demir metaliyle doğada beraber bulunmaktadır. Endüstriyel atıklar, depo sızıntılar, maden drenajları manganez ve demir çözünmesini etkileyen yegâne faktörlerdir. Manganez dört değerlikli ve iki değerlikli olmak üzere taşınmaktadır [47].



Şekil 2.8. Manganez oksidi [48]

Demiryollarında hammadde olan manganez, çelikteki aşınma ve paslanmanın önlenmesinde kullanılmaktadır. Nehirlere taşınımı en çok yakınlardan geçen tren yollarından olmaktadır. Eksikliğinde; yorgunluk, hafıza problemleri, kısırlık, büyüme geriliği, kilo kaybı görölmektedir. Manganez nehirde sedimentte kolayca çözünebilmektedir. Bundan dolayı taşınımı, nehirdeki yayılımı ve birikimi çok hızlıdır.

2.7.ğ. Nikel (Ni)

Yerkabuğunda en fazla bulunan beşinci elementtir. Saf olarak bulunmak yerine demir ve kobaltla bağ kurarak bulunur. Nikel boru, nikel çubuk ve paslanmaz ürünler sanayi alanında nikelin öncü materyalleridir. Kullanım alanları;

- Çatal, bıçak ve ameliyathane malzemeleri,
- Elektro kaplamalar ve otomobillerin kapı mandalları,
- Zırh üretimi,
- İnternet hızını sağlayan iletişim kabloları,
- Bozuk paralardır [48].

Nikel yeryüzüne meteorlarla beraber gelmiştir. Biyolojik sistemde strese karşı savunmada, karbonhidrat metabolizmasında, insülin seviyesini ayarlamakta rol oynamaktadır. Nikelin en önemli etkisi alerji yapması ve deri üzerindeki etkisidir. Deri kanseri ve deri hastalıklarının çoğunda nikel seviyesi yüksek bulunmuştur. Ağır metallerin çoğunda olduğu altı değerlikli nikelde en tehlikeli olanıdır. Nikele bağlı alerji olan kontak dermatit ve anafilaksi tehlikeli cilt hastalıklarındandır [49].



Şekil 2.9. Nikele bağlı cilt hastalığı [49]

Balık avı için kullanılan malzemelerin, suyun içine düşüp yıllarca kalması suya nikel çözünmesine sebep olmaktadır. Nikel madenlerinin tüm ekolojik sistem için mutlaka denetimlerin sıklaştırılması ve artırılarak uzaklaştırılması gerekmektedir [49].

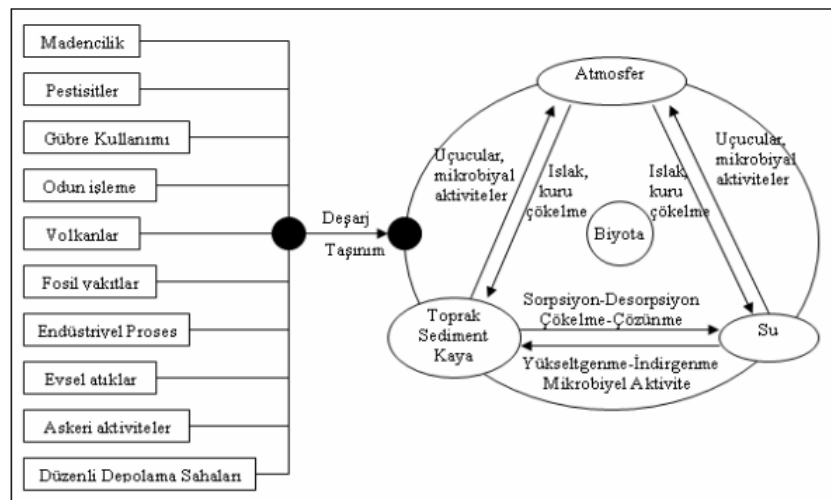
2.7.h. Arsenik (As)

Türkiye’de yüksek su kirleticisi unsur olarak öne çıkan arsenik, ülkemiz için en önemli metal haline gelmiştir. Arsenik ülkemizde hem mineral çözünmesiyle hem de endüstri ile gitgide artarak eşik değerini aşmıştır. Bu konuda kirliliğin önüne geçilme çabası yetersiz kalmıştır ve birçok yeraltı sularımızda, nehirlerimizde ve içme sularımızda eşik değer geçilmiştir [50].

Son yıllarda İzmir ilimizde bulunan kuyularımızda arsenik kirlilik derişim seviyesi Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nün belirlediği seviyeleri geçtiği için 29 kuyu kapatılmıştır. Şu an içme suyundaki arsenik miktarı diğer sular ile karıştırılarak seyreltilerek verilmektedir. İzmir en yüksek seviye olmak üzere ülkemizde diğer şehirlerde de arsenik seviyesi kritik seviyededir [50].

En yüksek seviyenin görüldüğü alan kurşun-çinko madenciliğidir. Ondan sonra ise bakır madenciliği gelmektedir. Arsenik çok çeşitli formlara sahip olması sebebiyle karmaşıktır. Arsenat, arsenit oksidasyon basamaklarında bulunmaktadır [51-52].

Arsenik, mesane ve akciğer kanserine sebep olduğu için kanserojen madde olarak sınıflandırılmıştır. Zekâ, hafıza, bebek ölümleri, diyabet, kardiyovasküler hastalıklarda arsenik kirliliğine bağlı gelişebilmektedir.



Şekil 2.10. Arseniğin sisteme katılması [53]

2.7.i. Selenyum (Se)

Selenyum, vücudumuz için gerekli olan elzem elementlerden birisidir. Bununla birlikte, dünyada ve ülkemizde sulardaki kabul edilebilir selenyum düzeyleri 10 µg/l olarak belirtilmiştir. Selenyum değerlerinin toksik seviyeye ulaşması; sinir sisteminde, tırnak ve saç yapısında, karaciğer, böbrek bozukluklarına neden olmaktadır. EPA (Çevre Koruma Örgütü)' ne göre, kişi başı alınması gereken selenyum miktarı 200 µg'dır [54].

Selenyum, doz aşımı olmadığında antikanserojen, doz aşımını aştığında ise kanserojendir. Doğada -2, 0, +4 ve +6 değerliklerinde ve sisteinlerle kompleks halde bulunmaktadır [55].

Alkali topraklarda yetişmeye uygun bitkilerde selenyum zehirlenmesine "alkali hastalığı" denmektedir. Saçların dökülmesi, tırnak kırılması, gelişimin durması ve siroz ile karakterizedir. Hayvanlarda ise selenyum zehirlenmesinde çıkan ve ölüme sebep olan sendroma "kör sendeleme" denmektedir. 24 saat içerisinde öldürecek kadar tahrip edici özelliğe sahiptir [56].

2.7.ii. Bakır (Cu)

Bakırın dövülebilme ve iletkenliği sebebiyle birçok kullanım alanı vardır. Bakır, elektrik sanayileri, inşaat malzemeleri, silah ve savunma sanayi ve tel üretim aşamalarında sulara kolaylıkla karışmaktadır. Çin'de bulunan Dexing Bakır Madeninden dolayı Le'an Nehri ve etrafındaki tüm göller yüksek seviyede bakır kirliliğine sebep olduğundan dolayı kapatılmıştır. Madenin bulunduğu köy, kirlenme sırasında kanser vakalarında zirve yapmıştır. Maaliyet açısından düşük bütçeli olduğu için bakır neredeyse tüm sanayi departmanlarında kullanılmaktadır. Fakat sudan temizlenmesi oldukça zor olmakla beraber insan sağlığını büyük ölçüde tehdit etmektedir. Bakır zehirlenmesi olan "metal ateşi" grip türü ortaya çıkmaktadır. Bakır günümüzde, birçok denizimizde kirlilik indeksini aşmıştır. Bundan dolayı hem deniz ekosistemini hem de çevreyi olumsuz etkilemektedir [57].

2.8. Ağır Metallerin Sınır Değerleri

Türkiye’de TSE (Türk Standartları Enstitüsü), dünyada ise Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenmiş sınır değerler Tablo 1.3’te su kalite sınıfları ise Tablo 1.4’te verilmiştir. Zenginleştirme işlemleriyle suların bu standartlara uyması sağlanmaktadır.

Tablo 2.3. Ağır metallerin sınır değerleri

Ağır Metaller	WHO	AB	USA	Rusya	TS-266
Kadmiyum	0,0003	0,005	0,005	0,003	0,005
Krom	0,005	0,05	0,1	0,05	0,05
Bakır	2	0,2	1	2	1,5
Demir	0,3	0,2	0,3	0,3	1,0
Kurşun	0,01	0,05	0,015	0,01	0,05
Çinko	3	0,4	5,0	5,0	5,0

Tablo 2.4. Kalite parametreleri

Ağır Metaller	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
Kadmiyum	0,0003	0,005	0,01	>0,01
Krom	0,02	0,05	0,2	>0,2
Bakır	0,02	0,05	0,2	>0,2
Demir	0,3	1	5	>0,05
Kurşun	0,01	0,02	0,05	>0,05
Çinko	0,2	0,5	2	>2

3. BÖLÜM

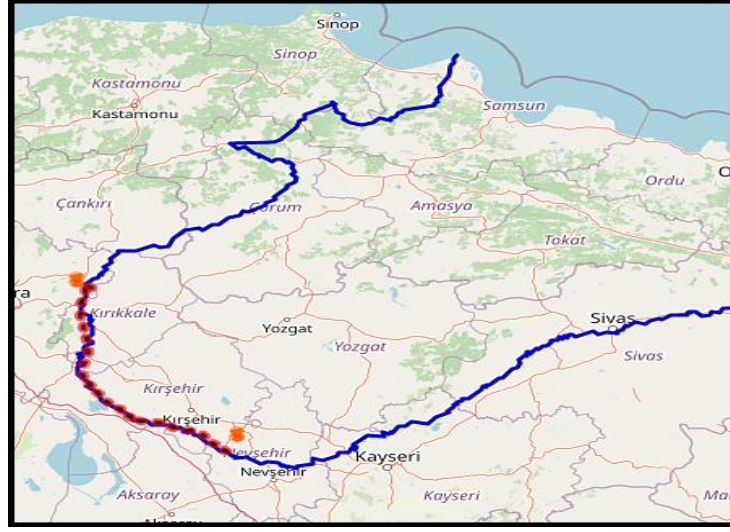
MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Kırıkkale İli, kuzey kürede 33°20'-34°25' doğu meridyenleri ve 39°20'-40°20' kuzey paraleli alanında yer almaktadır. İlin, deniz seviyesinden yüksekliği 747 m, yüz ölçümü 4630 km² olup Kızılırmak Nehri üzerinde yer alan bir ildir. Kızılırmak Nehri: Sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Aksaray, Çankırı, Çorum illerinden geçtikten ve Sinop-Samsun sınırının bir bölümünü oluşturduktan sonra çok sayıda dere ve çayın sularını toplayarak Bafra Burnu'ndan Karadeniz'e ulaşmaktadır. Nehir, Karadeniz'e döküldüğü alanın da içinde yer aldığı 56.000 hektarlık deltasıyla Türkiye'nin önemli sulak alanlarının başında gelmektedir [58].

Türkiye'nin en önemli vadisi ve büyük bir kolunu Orta Anadolu'nun Kırıkkale İl'inde barındıran Kızılırmak Nehri, üzerinde birçok tarımsal ve endüstriyel faaliyet içermektedir. Sanayi bölgeleri üzerinde yer alan Kızılırmak Nehri'nin bu bölgeleri aynı zamanda buğday, arpa ve yulaf sulamasında da yoğun olarak kullanılmaktadır. Kızılırmak Nehri'nin toksisite parametreleri son yıllarda ölçülmemiş olup ayrıca Orta Anadolu'nun sanayi merkezi olan (Kırıkkale), bölgeleri ile ilişkisi belirlenmemiştir. Sanayi lokasyonları daha önce Kızılırmak Nehri içinde sanayisel atıklara bağlı olarak petrol sızıntıları bulguları üzerine denetlemeye tabii tutulmuş olup, atık su ve drenaj sisteminin nehir üzerindeki etkisi yıllardır araştırılmamıştır. Çalışmada, nehir üzerinde bulunan sanayilerin, nehir üzerindeki etkisinin potansiyelinin araştırılması hedeflenmiştir. Bundan dolayı istasyonlar; tarımsal faaliyetlerin ve sanayi işletmelerinin Kızılırmak Nehri'yle olan birleşim noktaları olarak seçilmiştir [58].

Araştırma Kızılırmak Nehri'nin geçtiği Ankara İli girişi, Kırıkkale İli çıkışı ve Kırşehir İli girişi havzasında yapılarak en büyük fabrikaları çalışma alanı içerisine almaktadır. Bu bağlamda seçilen çalışma alanı içerisinde aralarında 20-25 km bulunan 4 istasyon belirlenmiştir. Kızılırmak Nehri üzerinde çalışılacak lokasyon aralığı ve istasyonlara ait koordinatlar çalışma sahasını kapsayacak şekilde aşağıdaki haritada verilmiştir.



Şekil 3.1. Kızılırmak Nehri çalışma alanı sınırları

İstasyonların seçimleri, ağır metal kirlilik düzeylerine sanayi bölgelerinin etkisinin tam çıkması için Nevşehir İl'inden çıkış yönüne doğru; sanayi bölgelerinden sonra, sanayi bölgeleri ve sanayi bölgelerinden önce olacak şekilde yapılmıştır. Böylelikle; kirliliğin sanayi faaliyetlerinden önce de olup olmadığı, fabrikalar arasındaki ağır metal kirlilik düzeylerinin istatistiksel farkları, sanayi bölgelerindeki farklı ağır metaller arasında yoğunluk ve seyreklik düzeyleri, fabrika işletmelerinin devamı olan Nevşehir İl'ine ağır metal kirliliğinin taşınıp taşınmadığı, sanayi tesislerinin atık su arıtma departmanlarının verimliliği ve Kızılırmak Nehri'nin kirlilik potansiyeli için güncel bir literatür verisi çıkarılması ve nehirdeki su kirliliğinin önlenmesine dair tedbirleri almak amaçlanmıştır.

Tablo 3.1. İstasyonlara ait koordinatlar

İstasyonlar	Koordinatlar	
I. İstasyon (Sanayi Öncesi)	38° 76' 59.907"K	34° 59' 18.00"D
II. İstasyon (Rafineri)	39° 74' 87.22"K	33° 47' 83.74"D
III. İstasyon (MKE silah-barut)	39° 80' 73.69"K	33° 46' 98.21"D
IV. İstasyon (Sanayi Sonrası)	39° 83' 95.270"K	33° 45' 38.15"D

3.1.a. Birinci İstasyon



Şekil 3.2. Birinci istasyon uydu görüntüsü

Birinci numune alım noktası gidiş yönüne doğru Nevşehir İl'ine 90 kilometre uzaklıkta bulunan Kırşehir İli girişidir. Kırşehir İli girişinde bulunan Kızılırmak Nehri; tüm istasyonlardaki akışın birleşmesinden sonra ortaya çıkan kirliliğin Nevşehir İl'ine geçişini saptamak amacıyla seçilmiştir. Sanayi lokasyonlarından 90 kilometre sonra gelen bu istasyon, hala nehirde bir ağır metal kirlilik potansiyelini ortaya koyacaktır. Bu istasyona ait harita Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Birinci istasyon resmi

3.1.b. İkinci İstasyon

TÜPRAŞ Rafinerisi; Kırıkkale İl'inde bulunan bir petrol, fuel oil, asfalt, jet yakıtı ve benzin fabrikasıdır. Kızılırmak Nehri'nin batı kıyısında yer alan fabrika, 815 hektardan fazla olan bir arazide bulunmaktadır. TÜPRAŞ Rafinerisi, daha önce TK-4104 numaralı petrol tankının hasar görüp petrolün nehre taşmasından dolayı Kızılırmak Nehri'nde hasara sebep olmuştur. Sızıntıya karşı TÜPRAŞ ekipleri, nehre yağ emici sosis bariyerleri çekmiş olup yine de lokasyonda azalan balık faunası meydana gelmiştir. Aynı zamanda 17 Ağustos 1999'da yaşanan Gölcük depremiyle TÜPRAŞ rafinerisinin betonarme bacası yıkılarak parçaları ve partikülleri nehre saçılarak kirlilik meydana getirmişlerdir. En son 2017 ve 2022 yıllarında patlamalar yaşayan rafinerinin, Kızılırmak Nehri'nin ağır metal kirlilik potansiyelini büyük ölçüde etkilediği düşünülmektedir [59].



Şekil 3.4. Tüpraş uydu görüntüsü

TÜPRAŞ sanayi tesisi birçok departman bölgesinden oluşuyor olup, numune almak için seçilen nokta petrol üretme ve ithalat bölgesidir. Bu bölge Kızılırmak Nehri ile birleşik olup atık suyu bizzat numune alınan yere dökülmekte ve atık su dökülen alanın öncesinde veya sonrasında herhangi bir su arıtma tesisi bulunmamaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.5. İkinci istasyon (a), (b); TÜPRAŞ atık suyunun nehre döküldüğü bölge (c), (d); numune alımı

3.1.c. Üçüncü İstasyon

Makine ve Kimya Endüstrisi Anonim Şirketi (MKE); Türk Silahlı Kuvvetlerinin (TSK), silah, barut, çelik, roket ve mühimmat ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuş olup, savunma sanayi faaliyetleri ile öne çıkan bir fabrikadır. Top dökümhanesi Fatih Sultan Mehmet zamanına dayanmaktadır. İstasyonun seçilme amacı fabrikanın silah ve barut departman lokasyonunun, direkt olarak Kızılırmak Nehri'nde olup, bu bağlamda nehir üzerinde büyük ölçüde ağır metal yüküne sebep olacağının düşünülmesidir [60].



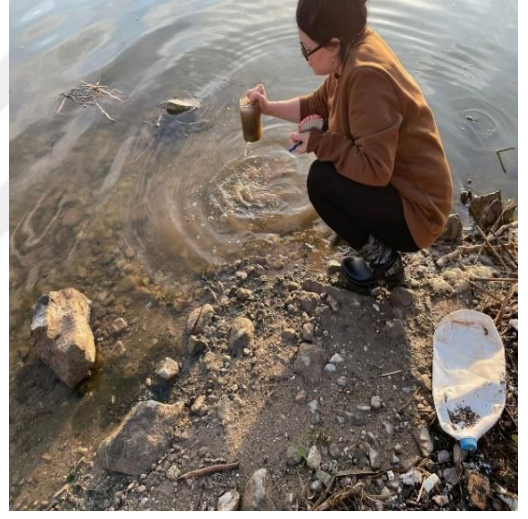
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.6. (a); MKE uydu görüntüsü (b), (c); bölge resmi (d); numune alımı

3.1.d. Dördüncü İstasyon

Dördüncü istasyon olarak Kırıkkale İl'inin çıkışına bağlı olan bir ilçe olan Yahşihan ilçesi seçilmiştir. İlçeden geçen Kızılırmak Nehri, sanayi bölgelerinden sonra geliyor olup, fabrikalara 20 kilometre uzaklıktadır. İstasyonun seçilme amacı; sanayi bölgelerine henüz girmeden nehrin kirlilik düzeyinin araştırılıp, sanayi bölgeleri ile farkının çıkarılması ve kirliliğin yukarı Kızılırmak Nehri ile bağlantısının saptanmasıdır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.7. (a); istasyon uydu görüntüsü (b), (c); bölge resmi (d); numune alımı

3.2. Çalışma Kapsamı

Bu çalışma Kasım 2022 tarihinde yapılmıştır. Kasım ayı hem kış hem yaz mevsimine yakın olması ve çeşitli sanayi aktiviteleri sebebiyle tercih edilmiştir. Araştırma; saha çalışması ve numune alımı, laboratuvar çalışmasının ardından analiz safhası ve bulguların yorumlanması şeklinde toplam üç aşamada gerçekleşmiştir.

Kızılırmak Nehri'ne sanayi bölgelerinin ağır metal kirlilik etkisini belirlemek amacıyla, seçilen 4 istasyonun her birinden bir defa olmak üzere 1 su ve 1 sediment olmak üzere toplam 4 su ve 4 sediment numunesi alınmıştır. Su örnekleri alınmadan önce numune şişeleri temizlenip, nehre daldırılıp hava kalmayacak şekilde daldırılmıştır. Numune şişelerinin üzerine istasyon adı, tarihi ve saati yazılmıştır. Ardından steril poşetlere sarılarak muhafaza edilmiştir. Sediment örnekleri nehrin durgun akışının olduğu derin bölgeden kürek ile alınıp kavanoza konarak üzerine istasyon adı, tarihi ve saati yazılmıştır. Örnekler test için Nevşehir Hacı Bektaş Üniversitesi, Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BTUAM)'ne getirilerek hizmet alımı olarak ve ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-kütle Spektrofotometresi) analizi kullanılarak yapılmıştır.

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Saha çalışmasının ardından, 4 su ve 4 sediment örneği Nevşehir Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BTUAM)'ne getirilmiştir. Örnekler bozulmayacak şekilde laboratuvarında muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.8. Alınan örnekler

Laboratuvar çalışmalarına analitik işlemler ve analiz işlemleri olmak üzere farklı günlerde ve aralıklarla devam edilmiştir.



şekil 3.9. Laboratuvar çalışmasından bir resim

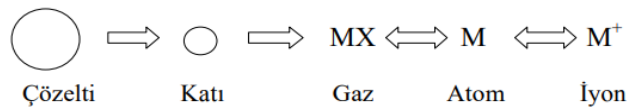
3.3.a. ICP-MS Cihazı

ICP-MS tekniği temelde kütle spektrofotometresi (MS) ve indüktif eşleşmiş plazma (ICP) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Teknik hem sıvı hem katı örneklerde hızlı ve en doğru şekilde nicel sonuç sağlamaktadır. Çalışma prensibi; çok yüksek sıcaklıktaki plazmaya argon, hidrojen veya helyum atılarak moleküler arası bağların kırılması ve atomun iyonlaştırılması esasına dayanmaktadır. Akabinde MS, yüksek sıcaklığa ulaşmış olan argon, hidrojen ya da helyumla rneği iyonize ederek bunları kütlesine göre ayırılmakta ve sonuçlar elektron dedektörüyle saptanmaktadır. Her atomun kütle/yük oranı farklı olduğundan minimum hata ile element analizi yapılarak, sinyal oranına göre dedektör ile saptanan en doğru sonuçlar vermesi sebebiyle akademik çalışmalarda oldukça tercih edilen bir analitik tekniktir [61].



Şekil 3.10. ICP-MS cihazı [61]

Cihaza sıvı bir numune konulduğunda sırası ile plazma ortamına ulaşır ve burada 9000-10000 K sıcaklıkta madde formunda olan sıvı numune atomlaşarak madde formunu kaybederek son yörüngesindeki elektronları kaybederek pozitif yüklü bir hale gelmektedir. Bu işlem sayesinde istenmeyen diğer iyonlar kopararak atılmaktadır. Meydana gelen pozitif yüklü iyonlar, kütleyi ayırt eden bir filtre ile atomları kütle/yük farklarına göre ayırıp sırasıyla dedektöre göndermektedir. Dedektör sistemi bir yazılım yardımıyla iyonları sayarak saniye içerisinde her bir iyonun bir sinyal verecek şekilde sinyal vermektedir. Sediment örneklerinin analiz edilebilmesi için çözündürme işleminden geçmiş olması gerekmektedir. Bunun için lazer aşındırma sistemleri kullanılmaktadır. Aksi halde tortu cihaz mekanizmalarını tıkalabilir ve girişim riskinde komplikasyonlara sebep olabilmektedir. Sediment analizleri cihaza çözünmüş halde ve damla damla püskürtülerek verilmektedir. Püskürtücü argon gazı ile numuneyi aerosol bir hale getirerek çok küçük damlacıklar olarak plazmaya göndermektedir [61].



Şekil 3.11. Su ve sediment örneklerinin plazmadaki davranışları

3.3.b. Su Örnekleri Analizleri

Su örnekleri için makro partiküllerden ayrıştırma işlemi yapılmıştır. Su numuneleri bir süzgeçten geçirilerek deney tüplerine konulmuştur. Tüplerin üzerine istasyon isimleri yazılmıştır. Her bir tüpe, bakterilerin işlevlerini durdurmak ve metal yapılarını bozmamaları için reaktif olarak %2'lik nitrik asit (HNO_3) eklenmiştir. Numuneler, Agilent marka, 8800 Triple Quad ICP (İndüktif Eşleşmiş Plazma-kütle Spektrofotometresi) modeli ve saf gazları argon olan cihaza püskürtme tekniğiyle konulup içerisindeki; B, Al, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pd miktarları belirlenmek üzere analiz edilmiştir [62].

3.3.c. Sediment Örnekleri Analizleri

Sediment örnekleri içerisindeki yosun ve otlardan arındırılması için bir kısım büyük deney tüplerine konularak üstlerine istasyon isimleri yazılmıştır. Ardından yüksek devirde santrifüj edilerek homojen hale getirilmiştir. Ardından etüvde kurutularak içerisindeki suyun buharlaşması sağlanmıştır. Etüvden alınan sediment numuneleri süzgeçten geçirilerek nemden uzak şekilde steril malzemeye konulmuştur. 4 numuneden her biri 0.1 g olacak şekilde tartılarak çözünme tüplerine konulmuştur. Bu sırada bütün malzemeler temizlenerek diğer işlemler için hazır hale getirilmiştir. Tüplerin her birine 3 ml HNO_3 (Nitrik asit), 9 ml HCl (Hidrojen klorür) ve 2 ml HF (Hidrojen florür) eklenmiştir. Ardından tüpler mikrodalgaya çözündürme işlemi için 60 dakika bırakılmıştır. Mikrodalgadan çıkarılan tüpler soğuması için kapakları açılarak 30 dakika bekletilmiştir. Soğuyan numuneler, filtreleme kağıtlarına konularak 15 ml'lik falkon tüplere alınmıştır. Üzerleri saf su ile tüpün hepsini dolduracak şekilde tamamlanmıştır. Devamında numuneler tek tek Agilent marka, 8800 Triple Quad ICP (İndüktif Eşleşmiş Plazma-kütle Spektrofotometresi) modeli ve saf gazı argon olan cihaza yerleştirilerek B, Al, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pd metallerinin ölçümleri yapılmıştır [62].

3.4. Ağır Metal Kirlilik Değerlendirme İndeksleri

Su ve sediment ağır metal kirlilik miktarları ölçüldükten sonra, değerlerin belirlenen kirlilik seviyesinde olup olmadığını, kirlilik seviyesinde ise düzeyini saptamak için çeşitli faktör ve indeksler kullanılmaktadır. İndeksler genel olarak; saptanan ağır metal miktarı ve referans değer arasındaki formül çıktısına dayanmaktadır. Referans değer; insan faaliyeti sebebiyle kirlenme olmayan yerlerden, yüzey suları ya da yeraltı sularından alınan ölçüm olup, hedef metalin kirlilik kıyasını yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Referans örnek ise; referans değer için elde edilmesi için kirlenmemiş yerlerden alınan örnek olarak tanımlanmaktadır [63].

Çalışma kapsamında indekslerde kullanılacak referans değerleri literatür kaynaklardan elde edilerek Tablo 2.2’de verilmiştir ve bütün indekslerde bu arka plan konsantrasyonları kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Referans değerleri [64- 65- 66- 67- 68- 69- 70]

Ağır Metal	Yerkabuğu Değerleri
Arsenik (As)	1,8
Alüminyum (Al)	0,2
Bakır (Cu)	55
Nikel (Ni)	68
Kurşun (Pb)	13
Çinko (Zn)	95
Krom (Cr)	90
Mangan (Mn)	850
Selenyum (Se)	0,6
Kadmiyum (Cd)	2,5
Bor (B)	10

Çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi için Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nün kullandığı indeksler olan; zenginleştirme faktörü (EF), kirlilik yük indeksi (PLI), kirlilik indeksi (PI) ve kontaminasyon faktörü (CF) uygulanarak Kızılırmak Nehri kirlilik sınıfı belirlenmiştir.

3.4.a. Zenginleştirme Faktörü (EF)

Zenginleştirme faktörü (EF), insan kaynaklı ağır metal kirlilik seviyesini gösteren önemli ve yaygın bir sedimente özgü faktördür. İnsan kaynaklı kirlenmeler olan sanayi bazlı kirliliklerde kullanılmaktadır. EF, kirliliğin insan kaynaklı olup olmadığı hakkında da bilgi vermektedir. Faktörün çalışma prensibi; bir referans element kullanarak normalleştirme yapmasıdır. En yaygın kullanılan referans elementler; Fe, Al, Mn'dir [71].

$$EF = C_n / C_{ref} \div B_n / B_{ref} \quad (2.1)$$

Zenginleştirme faktörü denklem (2.1) ile hesaplanmaktadır. Formüldeki C_n incelenen metalin analizi yapılan örnekteki miktarı, C_{ref} referans seçilen metalin analizi yapılan örnekteki miktarı, B_n incelenen metalin yer kabuğundaki ortalama miktarı, B_{ref} referans seçilen metalin yer kabuğundaki ortalama miktarıdır.

Tablo 3.3. EF sınıflaması [72]

EF DEĞERİ	KİRLİLİK DEĞERİ
$EF < 2$	Minimal Zenginleşme
$2 \leq EF \leq 5$	Orta Zenginleşme
$5 \leq EF \leq 20$	Belirgin Zenginleşme
$20 \leq EF \leq 40$	Çok Yüksek Zenginleşme
$40 < EF$	Aşırı Zenginleşme

Çalışmada referans metali olarak mangan (Mn) seçilmiştir. Bu durumda değerler; aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

(2.2)

$$EF = \frac{x \text{ metali} / \text{Mn (analiz değeri)}}{x \text{ metali} / \text{Mn (yer kabuğundaki ortalama değer)}}$$

3.4.b. Kontaminasyon Faktörü (CF)

CF, sedimentteki kirlilik düzeyini saptamak için kullanılmaktadır. İncelenen metalin analiz ölçümüyle, o metalin yer kabuğundaki ortalama değerine bölünmesiyle elde edilmektedir [73].

$$CF = C_{\text{metal}} / C_0 \quad (2.3)$$

C_{metal} analiz edilen metalin sedimentteki değeri, C_0 ise metalin yer kabuğundaki ortalama miktarıdır.

Tablo 3.4. CF sınıflandırması [73]

CF Değeri	Kirlilik Derecesi
$CF < 1$	Az Kirlenme
$1 < CF < 3$	Orta Derecede Kirlenme
$3 < CF < 6$	Önemli Derecede Kirlenme
$6 < CF$	Aşırı Derecede Kirlenme

3.4.c. Kirlilik Yük İndeksi (PLI)

PLI, istasyon noktasında ağır metal kirliliğini ve istasyonlar arası farkları değerlendiren bir indekstir [74].

(2.4)

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^n$$

Tablo 3.5. PLI sınıflandırması [74]

PLI Değeri	Kirlilik Durumu
$PLI < 1$	Kirlenme Yok
$PLI > 1$	Kirlenme Var

3.4.d. Kirlilik İndeksi (PI)

Su örnekleri için kullanılan bir indekstir. Kurumlarca belirlenen su kriterlerine göre her bir ağır metalin konsantrasyonu ile üst ve alt seviyesi arasını ölçen bir fonksiyon prensibine dayanmaktadır [75].

$$PI = \frac{E_{MAX}/E_S + E_{MIN}/E_S}{2} \quad (2.5)$$

İndeks hesaplanırken diğer standartlara göre daha hassas olması açısından Tablo 2.6'daki EC Avrupa Birliği standart değerleri baz alınmıştır.

Tablo 3.6. İndekste kullanılacak standart değerler

	B	Al	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
EC Std.	1,0	0,20	0,05	0,05	0,01	2,0	5,0	0,01	0,010	0,003	0,01

Hesaplar sonucunda bulunan değerler $PI < 1$ ise sanayi bölgesinin kirliliğe etkisinin olmadığı, $1 < PI < 2$ ise hafif etkilediği, $2 < PI < 3$ ise orta düzeyde etkilediği, $3 < PI < 5$ ise güçlü etkilediği, $PI > 5$ ise ciddi şekilde etkilediği anlamına gelmektedir [75].

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın sonuçları; istasyonların farklı özellikleri, ağır metal çeşitliliğinin çok olması, su ve sediment olarak numune ayırımından dolayı ayrı ayrı ve alt başlıklar altında incelenmiştir. Bu bağlamda su örnekleri ve sediment örnekleri iki ayrı başlıkta incelenmiştir.

4.1. Sedimente Ait Bulgular ve Tartışma

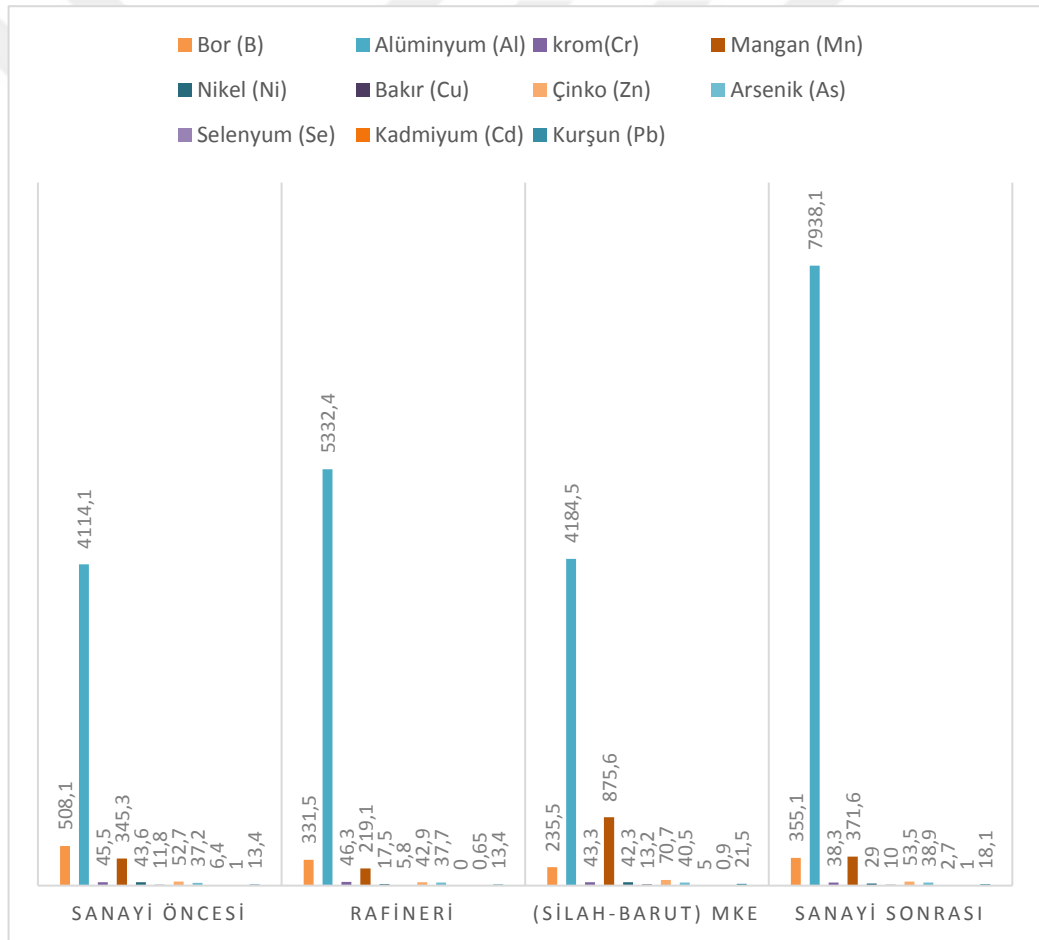
Çalışmada, Kızılırmak Nehri üzerindeki en büyük sanayi kuruluşlarının su ve sediment ağır metal kirliliğine etkisini belirlemek hedeflenmiştir. Bu bağlamda her bir istasyondan Kasım 2022 tarihinde alınan sediment numunelerinin ICP-MS sonuçları μ/l cinsinden Tablo 3.1’te verilmiştir.

Tablo 4.1. Sediment örnekleri ICP-MS sonuçları

	B	Al	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
Sanayi Öncesi Numune	508,1	4114,1	45,5	345,3	43,6	11,8	52,7	37,2	6,4	1,1	13,4
Rafineri Sanayi	331,5	5332,4	46,3	219,1	17,5	5,8	42,9	37,7	0	0,65	13,4
Silah- Barut M.K.E. Fabrikası	235,5	4184,5	43,3	875,6	42,3	13,2	70,7	40,5	5	0,9	21,5
Sanayi Sonrası Numune	355,1	7938,1	38,3	371,6	29	10	53,5	38,9	2,7	1	18,1

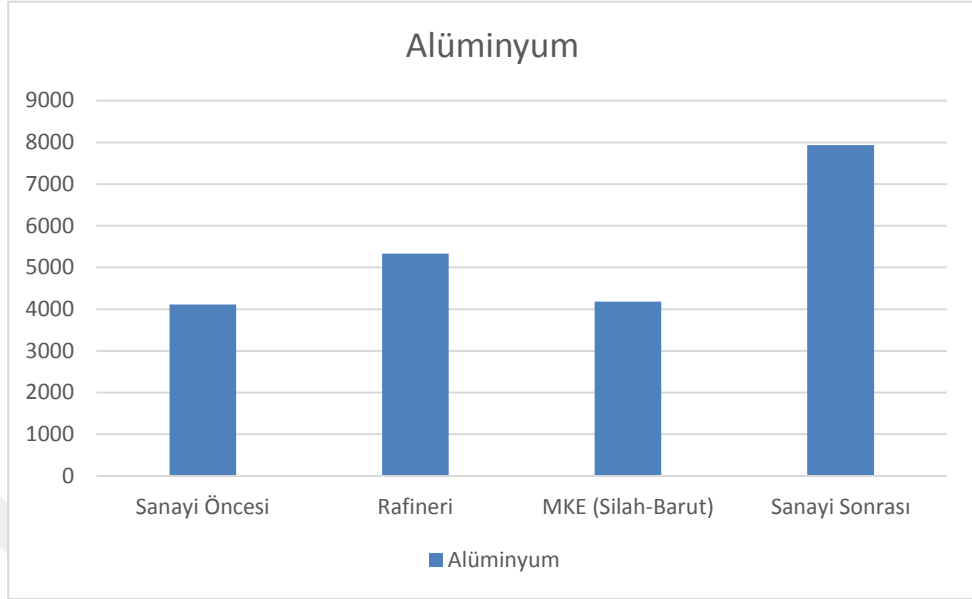
İstasyonların hepsinde alüminyum ciddi düzeyde analiz edilmiştir. Alüminyumdan sonra mangan yine yüksek düzeyde saptanmıştır. Bor, alüminyum ve mangandan

sonraki en toksik kirletici çıkmıştır. Çinko ve krom kirlilik potansiyeli birbirine çok yakın olmakla beraber yine her istasyonda dördüncü seviyede iki metaldir. Arsenik ve krom arasındaki kirlilik potansiyeli az olmakla beraber arsenik her istasyonda beşinci toksisite unsuru olmuştur. Ardından kurşun, 8,5 mg/l farkla bakırdan daha toksik çıkmıştır. Bakır ve selenyum arasında ise çok fark saptanmıştır. Bu bağlamda bakır selenyumdan açık ara ile daha kirletici bulunmuştur. Selenyum yüksek olmak üzere, selenyum ve kadmiyum yine konsantrasyon farkı çok olarak en son sırada saha kirletici metal çıkmıştır. Ağır metaller arasındaki istasyonlardan bağımsız yoğunluk sıralaması $Cd < Se < Cu < Pb < Ni < As < Cr < Zn < B < Mn < Al$ şeklinde saptanmıştır.



Şekil 4.1. Sediment sonuçlarının grafiği

4.1.a. Alüminyum (Al)



Şekil 4.2. Alüminyumun istasyonlardaki dağılımı

Alüminyum bütün istasyonlarda en yüksek çıkan metal olmuştur. Sanayi bölgelerinden sonra alınan numunede en yüksek alüminyum değeri bulunmuştur. Zenginleştirme faktörüne (EF) göre alüminyum sanayi öncesinde “belirgin zenginleşme”, rafineride “belirgin zenginleşme”, MKE fabrikasında “minimal zenginleşme”, sanayiden sonrasında ise yine “belirgin zenginleşme” şeklinde analiz edilmiştir. Kontaminasyon faktörü (CF), alüminyum tüm istasyonlarda “aşırı derecede kirlenme” sınıfına girmiştir. Kirlilik İndeksi (PLI)’a göre alüminyum yine tüm istasyonlarda “kirletici elementtir”. Tablo 4.2.’de sınırı aşma değerine göre renk kullanılarak tüm indeksler verilmiştir.

Tablo 4.2. Alüminyumun EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	5,06	10,3	0,48	9,08
CF	20	26,6	20,9	39,6
PLI	4,4	5,1	4,5	6,2

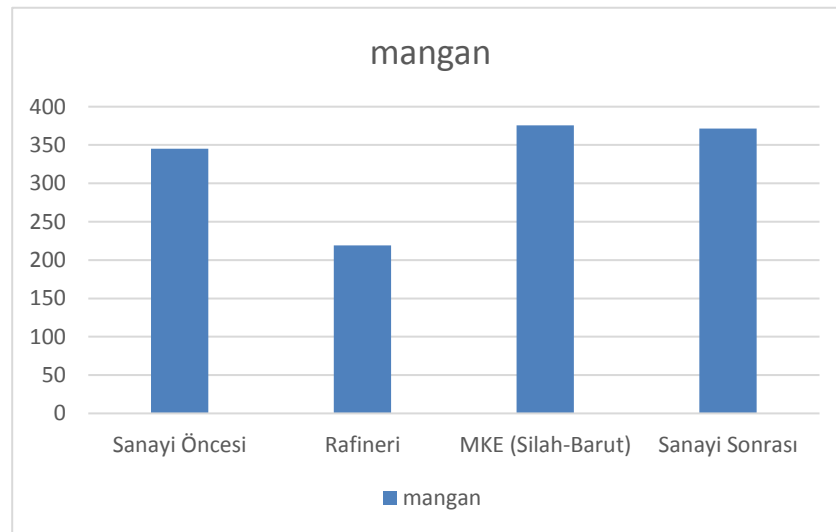
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Gökben (2019), bu çalışmadaki sanayi sonrası istasyonunun ilerisinde yer alan Kızılırmak Nehri üzerindeki Kapulukaya Barajı'nda ağır metal kirliliğini araştırmış ve orada da yüksek miktarda Fe ve Al derişimi tespit etmiştir. Bu durum, Gökben tarafından yer kabuğunda bu metallerin en çok bulunan metaller olmasına dayandırılmıştır [76]. Fakat, Kapulukaya barajı çevresinde sanayi kuruluşu olmamasına rağmen bu çalışmadaki Al derişimi daha yüksek çıkmıştır. Kızılırmak Nehri'nde sanayi kuruluşu olmayıp yüksek çıkan sediment Al derişimi, sanayi kuruluşları olan Kızılırmak Nehrinde daha yüksek çıkmasının sebebi endüstrilerin nehirdeki alüminyum kirliliğini artırdığı olmuştur.

Şimşek ve arkadaşlarının (2022), Samsun İl'inden geçen Kızılırmak Nehri'nde yaptıkları çalışmaya göre; girmeden Kızılırmak Nehri ilkbahar ayında zaten yönetmelik değerlerine göre zayıf su olarak sınıflandırılmış olup ve sediment Al derişimi bu çalışmadan az olmakla beraber yine de yüksek çıkmıştır [77].

Alüminyumun tüm istasyonlarda ciddi oranda yüksek çıkması, havza gerisinde ve ilerisinde zaten kirlenmiş düzeyde olmasıdır fakat rafineri ve MKE istasyonlarında geçmiş çalışmalara göre daha yüksek çıkmıştır. Buda Kızılırmak Nehri'nin zaten Alüminyum bakımından kirliliğini fakat endüstrinin belirgin şekilde kirliliğini artırdığını göstermektedir.

4.1.b. Mangan (Mn)



Şekil 4.3. Manganın istasyonlardaki dağılımı

Tablo 4.3. Manganın EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	1,95	9,64	4,91	1,08
CF	0,40	0,25	1,03	0,43
PLI	0,6	0,5	1,01	0,6

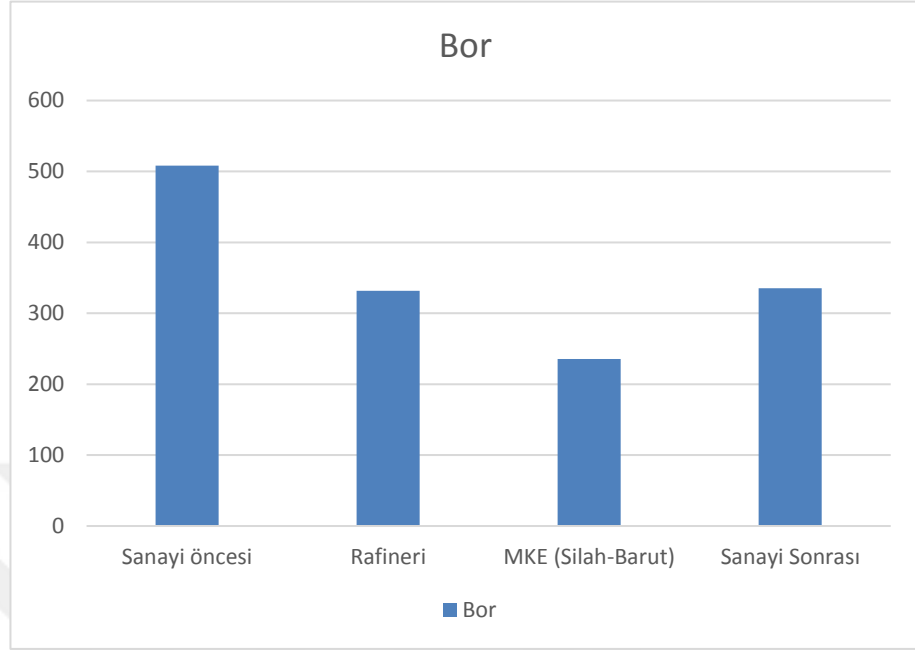
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Bütün indekslere göre MKE bölgesinde, mangan ‘‘orta zenginleşme’’ (EF), ‘‘orta derecede kirlenme’’ (CF) ve ‘‘kirletici unsur’’ (PLI) sınıflandırmasına girmekle beraber rafineri bölgesinde de EF faktörüne göre ‘‘belirgin zenginleşme’’ saptanmıştır. Sanayi öncesi ve sanayi sonrasında ‘‘hafif zenginleşme’’ (EF) saptanan manganın, sanayi bölgelerinde kirletici unsur olmasının sebebi sanayi faaliyet kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

Alüminyumdan sonra tüm istasyonlarda en yüksek çıkan mangan, en yüksek kirliliğe MKE silah ve barut fabrikasında bulunduğu istasyonlarda ulaşmıştır. Sanayi sonrasındaki mangan değeri ve MKE mangan değerinin neredeyse eşit çıkmasının sebebi, alıcı ortama karışan metal kirliliğinin varlığına işaret etmektedir. Rafinerinin atık suyunun döküldüğü yerden alınan sediment numunesinden görüldüğü üzere, rafineri bölgesindeki alıcı ortama gelen metal kirlilik yükü daha azdır.

Ünal vd. (2003), şeker sanayisinin arıtma sedimentinde mangan EC değerini ve mısır bitkisindeki etkisini çalışmışlardır. Sedimente her inkübasyon işlemi yaptıklarında atık sedimentinde mangan derişiminin yükseldiğini bulmuşlardır. Manganın en yüksek değerini 49 mg/kg ve en düşük değerini 43, 20 mg/kg bulmuşlardır [78]. Bu durumda mangan metalinin sanayinin birçok alanında değer aşıldığında çevre için kirletici olabileceği fakat silah-savunma sanayisinde hammadde olmasından dolayı alıcı ortamda daha çok kirletici potansiyeli olabileceği anlaşılmaktadır.

4.1.c. Bor (B)



Şekil 4.4. Borun istasyonlardaki dağılımı

En yüksek seviyeye sanayi öncesi bölgesinde ulaşan bor metali, MKE bölgesinde hafif azalırken sanayi sonrasında yine yüksek seyretmiştir. Sonuçlar bor metalinin çalışma sahasında yüksek bir yayılıma sahip olduğunu göstermektedir. Bor bütün istasyonlarda ‘‘ciddi zenginleşme’’ (EF), ‘‘aşırı derecede kirlenme’’ (CF) ve en yüksek kirlenici metal çıkmıştır.

Tablo 4.4. Borun EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	147	151	26	95
CF	50,8	33,15	23,55	35,5
PLI	7,12	5,7	4,8	5,9

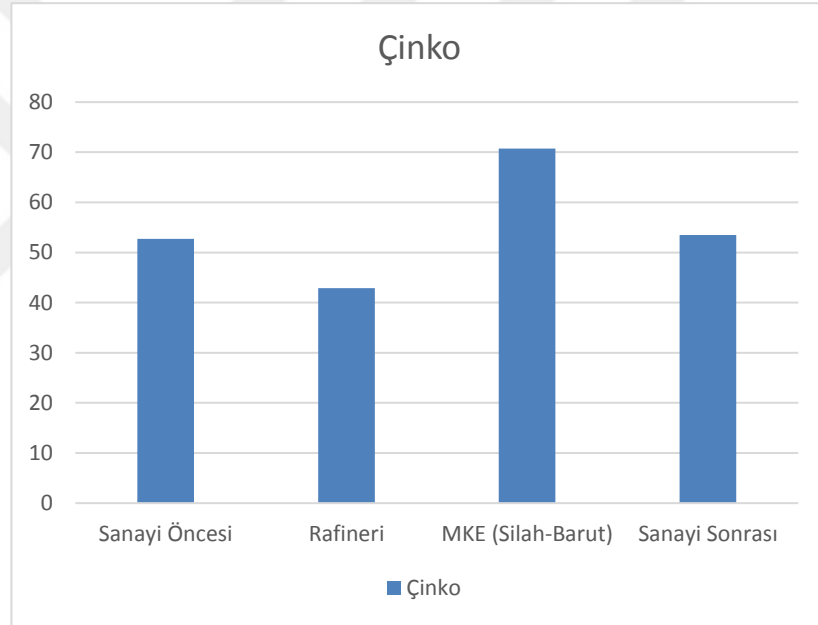
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Bor metalinin her istasyonda yüksek bir yayılım göstermesinin sebebinin ülkemizde en bol bulunan element olmasından olduğu düşünülmüştür. Dünyanın bor rezervinin %72’si Türkiye’de bulunmaktadır. Çalışmada sanayi bölgelerinden önce en yüksek değere ulaşan bor, fabrikalardan çıkarken artış göstermektedir. Bütün istasyonlarda bor metalinin yüksek çıkması, bor bakımından yeraltı sularımızın zengin olmasından

kaynaklanmaktadır. Bu yüzden yer altı sularından Kızılırmak Nehri sedimentine karışan bor genel olarak bir potansiyel varlığa sebep olabilmektedir. Bor elementinin, petrol sanayisinde çok sık kullanılmaması bu değerlerin yeraltından nehre karıştığı ihtimalini güçlendirmektedir.

Kızılırmak yer altı sularıyla sulanan bitkilerde, bor miktarının bitkide arttığı gözlemlenmiştir [79]. Bundan dolayı, bor değerlerinin rezerv bakımından yüksek potansiyel metal olduğu ve sanayi sonrasındaki artan değer, Kırşehir İl'inde bulunan bor yatağı sebebiyle yüksek çıktığı düşünülmektedir.

4.1.d. Çinko (Zn)



Şekil 4.5. Çinkonun istasyonlardaki dağılımı

Çinko en yüksek değerine MKE'nin bulunduğu havzada ulaşmıştır. Sanayi öncesi ve sanayi sonrası bölgelerinde neredeyse eşit seviyede seyreden çinko metali, nehir üzerinde MKE havzası hariç birbirine yakın şekilde dağılım göstermiştir. MKE bölgesinde daha yüksek çıkması ise çinkonun birçok silah alaşımı, gövde, mermi üretiminde ve savunma sanayisinde dış koruma amaçlı örtülemeye kullanılmasıdır. Çinko yer altı tabakalarında bol bulunan bir kayaç mineralidir. Bu yüzden yer altı sularıyla yer üstü sulara karışabilmektedir. Genellikle nehir, göl ve denizler çinko ihtiva eden su kaynaklarıdır.

Tablo 4.5. Çinkonun EF – CF – PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	1,36	1,72	0,72	1,27
CF	0,55	0,45	0,74	0,56
PLI	0,7	0,6	0,8	0,7

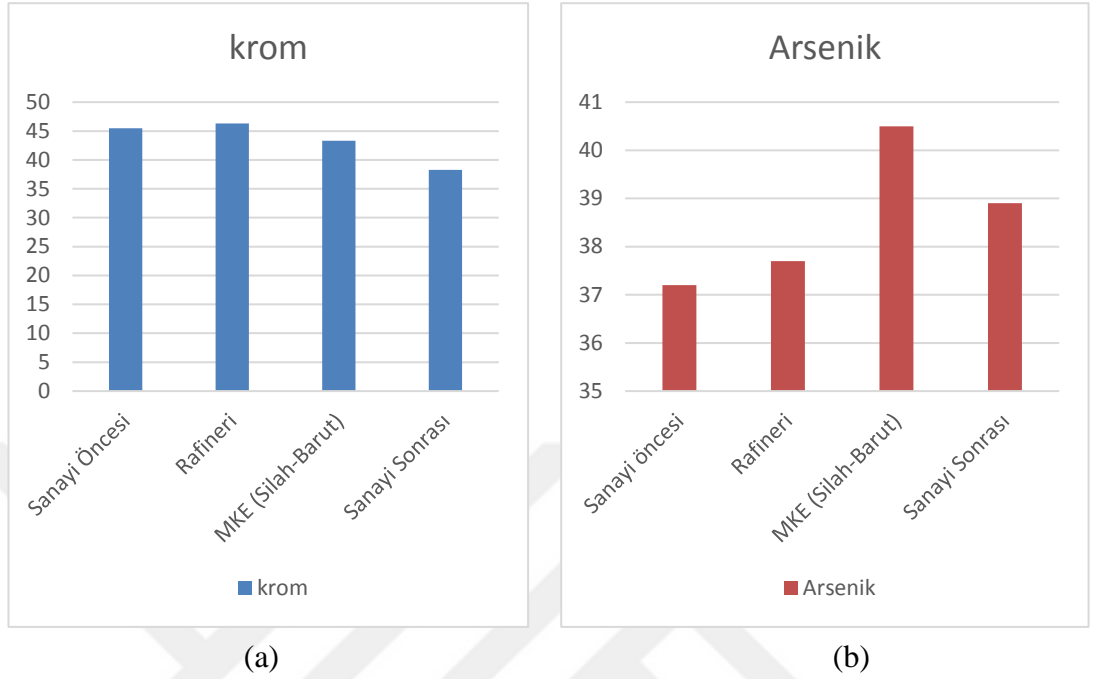
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Çinko indekslere göre bütün istasyonlarda kirliliğe sebep olmamaktadır. Fakat kontaminasyon faktörüne (CF) göre, MKE'nin bulunduğu istasyonda kirlilik durumuna çok yakın seyretmekle birlikte kirlilik faktörüne (EF) göre ise rafinerinin olduğu istasyonda hafif kirlenme düzeyine çok yakın seyretmektedir. Çinko Kızılırmak Nehri sediment örneklerinde konsantrasyon açısından, en çok MKE barut fabrikası istasyonunda çıkmıştır ve fabrikadan sonra ise diğer istasyonlara göre yüksek derişimle nehir boyunda devam etmiştir. Çinko döküm işlemlerinde silah sanayisinde çok kullanılmaktadır ve kimyasal çöktürme işlemiyle arıtılıp nehre verilmektedir.

Aktan (2012), Kırıkkale İli Kızılırmak Nehri sanayi kuruluşu havzasından izole ettiği *E. faecalis* bakterisinin çinko, alüminyum ve kroma dirençli olduğunu tespit etmiştir. Bakterilerin direnç göstermesi o maddenin toksisitesine karşı güçlendiği anlamına gelmektedir. Çinko, alüminyum ve kroma direnç gösteren bakteri, bu bölgede 2012 yılında da çinko, alüminyum ve krom bakımından riskli olduğunu göstermektedir [80]. Çinkoya karşı bakterilerin dirençli hale gelmesi, çinko derişiminin bu havzada canlı yaşamını etkilediği varsayımını güçlendirmektedir.

Aras ve Fındık (2018), Nevşehir Kızılırmak Nehri suyu potansiyelinin araştırılması adlı çalışmalarında, bor ve arsenik miktarını TS-266'ya göre yüksek tespit ederken, krom, bakır, çinko ve nikel değerlerinin normal seviyede olduğunu tespit etmişlerdir [81]. 2018 yılında yapılan bu çalışmadaki çinko kirlilik sınıfı risksiz kategorisindeyken, bu çalışmada riskli olmaya çok yakın seyretmiştir. Yıllar geçtikçe artan sanayi ve nüfus ile çinko elementinin giderek artacağı ve çevreyi tehdit edeceği öngörülmektedir.

4.1.e. Krom (Cr) ve Arsenik (As)



Şekil 4.6. Kromun (a) ve arseniğin (b) istasyonlardaki dağılımları

Krom ve arsenik bütün istasyonlarda konsantrasyon bakımından neredeyse eşit çıktığı için aynı başlıkta incelenmiştir. İstasyona bağlı yayılımları ise farklı olmakla beraber krom rafineri bölgesinde daha çok olmak üzere diğer istasyonlarda yakın seviyede seyretmiştir. Arsenik metali sanayi havzalarında yüksek seyredip yine yüksek miktarla sanayi sonrası bölgesine geçmiştir.

Tablo 4.6. Krom ve Arseniğin EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF (Cr)	1,3	2,1	0,46	1,1
CF (Cr)	0,50	0,51	0,48	0,42
PLI (Cr)	0,7	0,7	0,69	0,6
EF (As)	53,3	85	23	52
CF (As)	20,6	20,9	22,5	21,6
PLI (As)	4,5	4,5	4,8	4,6

Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Arsenik zenginleştirme faktörü (EF)'ne göre MKE bölgesinde ‘‘çok yüksek zenginleşme’’, diğer istasyonlarda ise ‘‘ciddi düzeyde zenginleşme’’ sınıfındadır. Kontaminasyon faktörü (CF) arseniği bütün istasyonlarda ‘‘ciddi düzeyde kirlenme’’ sınıfında değerlendirmektedir. Kirlilik indeksine (PLI) göre arsenik bütün istasyonlarda ‘‘ciddi kirlenici metal’’ olmakla beraber krom hem kirlilik indeksi hem de kontaminasyon faktörüne göre ise hiçbir istasyonda kirlenici değildir. Zenginleşme faktörüne göre krom sanayi öncesi ve sonrası ‘‘minimal zenginleşme’’, rafineride ise ‘‘orta düzeyde kirlenici’’ çıkmıştır. Arsenik düzeyinin bütün istasyonlarda ciddi boyutta olması önemlidir.

Nehirlerde, denizlerde ve hatta içme sularında dahi arsenik ülkemizde büyük bir sorun halini almıştır. Türkiye'nin bütün bölgelerinde sınır değerleri aşan arsenik ve krom mevcuttur. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı 2006 Kıtlık Raporu'nda, Türkiye arsenik ve krom zehirlenmesi olasılığı bulunan ülkeler arasında yer almıştır. Arsenik dünyada en çok kurşun fabrikalarının bulunduğu bölgelerde aşırı yüksek değerlerde çıkmıştır [82].

Oruç'a göre (2004), arsenik metalinin ülkemizde toksik olmasının sebebi bölgemizin bor bakımından da zengin olmasıdır. Arsenik ve bor birbiriyle çözünme aşamasında kimyasal etkileşime girebilmektedir [83]. Bu çalışmadaki bor miktarının (Şekil 3.4.) yüksek çıkmasının akabinde arsenik miktarının da yüksek çıkması bu kimyasal etkileşimi desteklemektedir.

Bilhan ve arkadaşı (2021), Kızılırmak Nehri (Nevşehir havzası) üzerinde yaptıkları sediment araştırmasında, ikinci istasyon olan küçük endüstri işletmeleri havzasında çıkmıştır. Bu durum önce Erciyes volkanik potansiyelinden olduğunu düşündürse de arseniğin endüstriyle ilgisi olduğu görülmüştür [84].

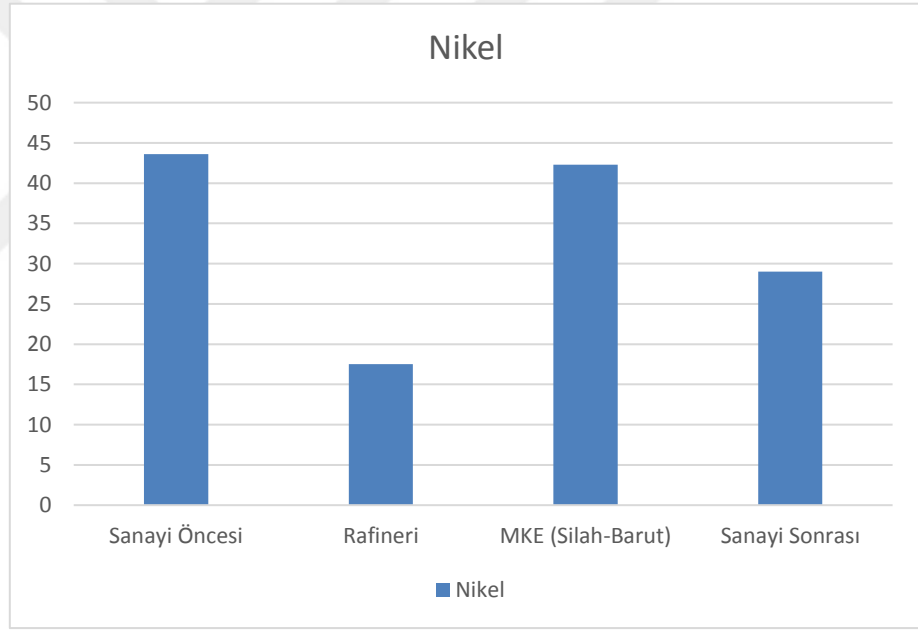
Kankılıç vd. (2013), rafineri bölgesindeki aynı lokasyonda krom elementine ait sedimentte ağır metal araştırması yapmışlardır. Altı istasyondan alınan nehir örneklerinde rafineri bölgesindeki krom 559,16 µg/g ile en yüksek konsantrasyon çıkmıştır [85].

Kankılıç aynı alandaki çalışmasını benzerini 2019 yılında yinelemiştir. Bu çalışmada 2013 yılındaki çalışmaya göre daha az konsantrasyonda krom tespit etmiştir. Aynı

zamanda tüm istasyonlarda alüminyum ve arsenik kirliliğini her iki çalışmada da çalışmamıza paralel olarak ciddi düzeyde saptamıştır [76].

MKE silah-barut fabrikasında ve rafineride geçmiş tarihlerde çeşitli iş kazaları ve patlamalar meydana gelmiştir. Özellikle 2013 ve 2019 yıllarındaki kazalar sonucu yakıt sızıntısı Kızılırmak Nehri'ne ulaşmıştır [86]. Kankılıç'ın 2013 ve 2019 yıllarında yaptıkları çalışmada krom konsantrasyonlarının yüksekliğinin bu sebeplerden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Benzer şekilde rafinerinin olduğu istasyondaki ciddi düzeyde çıkan alüminyum, bor ve manganın meydana gelen patlamaların nehri kirlilemesinden dolayı olabileceği düşünülmektedir.

4.1.f. Nikel (Ni)



Şekil 4.7. Nikelin istasyonlardaki dağılımı

Nikel konsantrasyonu en yüksek sanayi öncesi bölgesinde tespit edilmiştir. Rafineri bölgesinde en az akabinde ise sanayi öncesindeki bölge konsantrasyonu ile MKE fabrikasındaki konsantrasyonu neredeyse eşit konsantrasyonda tespit edilmiştir. Nikel metali yoğunluğu sanayi öncesi havzasına dayanan bir yayılımı işaret etmekle beraber MKE bölgesinde sanayi faaliyetleri kaynaklı yüksek seyretmiştir. Rafineri havzasında en az seviyede olan nikel metalinin MKE bölgesinin ardından tekrar artması nikel kirliliğinin sanayi faaliyeti kaynaklı olduğunu güçlendirmektedir.

Tablo 4.7. Nikelin EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	1,5	0,87	0,6	0,87
CF	0,64	0,25	0,62	0,42
PLI	0,8	0,5	0,78	0,6

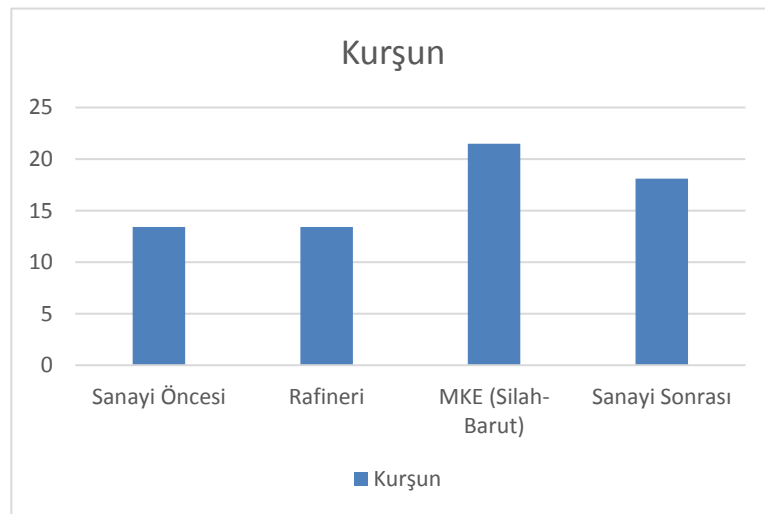
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Kontaminasyon faktörüne (CF) göre nikel, bütün istasyonlarda ‘‘az kirletici’’ sınıfına girmiştir. Zenginleştirme faktörüne göre ‘‘zenginleşme yok’’ sınıfına girerken, kirlilik indeksi (PLI)’ne göre MKE bölgesinde kirliliğin var olma durumuna çok yakın bir sonuç çıkmıştır.

Canpolat ve Uzun (2019), Kahramanmaraş’ın rafinerinin de bulunduğu organize sanayi bölgesinde benzer bir çalışma yapmış olup krom ve nikel değerlerini USEPA standartlarına göre oldukça yüksek tespit etmişlerdir [87].

Aras ve Fındık (2018), Nevşehir Kızılırmak Nehri’nde 2018 yılında yaptıkları çalışmada, nikel ve alüminyum metallerini TS-266 değerleri altında tespit ederek nehrin kullanıma uygun olduğunu saptamışlardır [81]. Fakat 2022 tarihli bu çalışmada nikel ve alüminyum toksik düzeyde tespit edilmiş olup bölge için toksik sınıfta yer almıştır.

4.1.g. Kurşun (Pb)



Şekil 4.8. Kurşunun istasyonlardaki dağılımı

İstasyonlardaki durum değerlendirildiğinde, endüstriyel faaliyetlerin olduğu ve olmadığı istasyonlar Pb derişimi bakımından benzer olarak bulunmuştur. Ancak MKE fabrikasının bulunduğu bölge istasyonunda ciddi düzeyde yüksek saptanmıştır. Silah ve kurşun yapımında hammadde olarak kullanılan Pb metalinin MKE bölgesinde ciddi düzeyde yüksek çıkması tahmin edilmekle beraber, sanayi sonrasındaki bölgeye de yüksek derişimle geçmesi çevreyi tehdit edecek düzeydedir. Bu durumda bölgede alıcı suya desarjın sorun olabildiği gözükmektedir.

Tablo 4.8. Kurşunun EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	3,2	6	2	3,2
CF	1,3	1,0	1,65	1,39
PLI	1,1	1	1,28	1,1
	Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek
				Aşırı yüksek

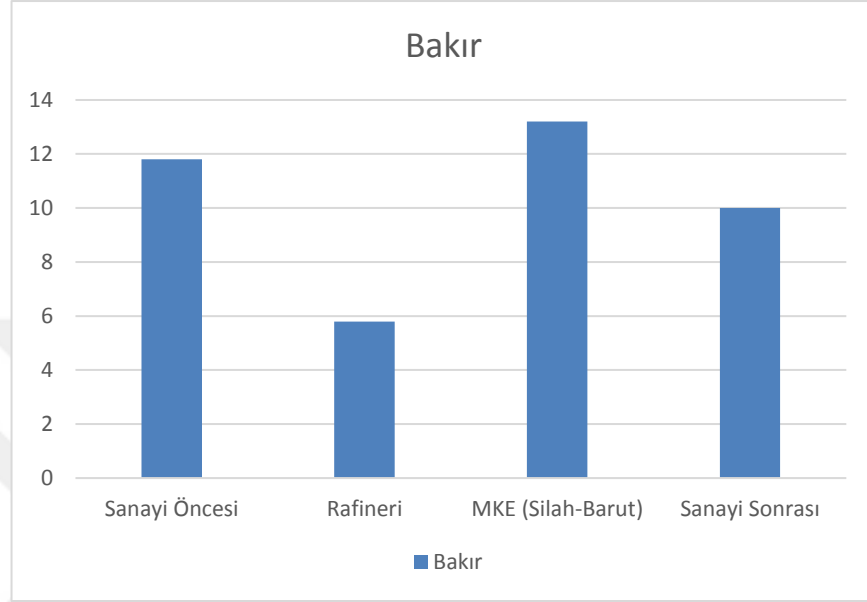
Zenginleştirme faktörü (EF) için Pb, rafinerinin atık suyunun döküldüğü Kızılırmak Nehri'nin sedimentinde "belirgin zenginleşmeye", diğer istasyonlarda "orta derecede zenginleşmeye" sebep olmaktadır. Kontaminasyon faktörüne (CF) göre kurşun, çalışma sahasındaki Kızılırmak Nehri'nde "orta derecede kirlenmeye" sebep olmaktadır. Kirlilik indeksi (PLI)'ne göre bütün istasyonlarda "kirletici unsur" sınıfına girmiştir.

Çavuşoğlu ve arkadaşları (2006), Kırıkkale İl'inin çeşitli lokasyonlarında bir ağaç türü olan *P. nigra subsp. nigra var. caramanica* yapraklarında ağır metal kirlilik analizi yapmışlardır. Çalışma sonuçlarında 11 istasyondan en az kurşun kirliliği MKE fabrikası ve rafineri lokasyonlarında çıkmıştır. Bu sonuç şaşırtıcı görülse de bu bölgede anayolların aktif olmaması, taşıt yoğunluğunun az olması, analiz edilen ağaç türünün ağır metali absorbe edebilme gücünün yüksek olması sebebiyle kurşunu antioksidanlarla tolere ettiği düşünülmüştür [88].

Bakan vd. (2010), Kızılırmak Nehri sedimentlerinde kalite değerlendirmesi yapmış ve sediment değerlerine zenginleştirme faktörü (SEF) ve jeolojik birikim indeksi (NI) uygulamışlardır. İndeks sonuçlarının ikisinde de Kızılırmak Nehrinde orta derecede kurşun kirliliğine rastlamışlardır. Bakan ve çalışma arkadaşlarına göre bu durum nehir

çevresindeki tarım arazileri için kullanılan gübreler ve endüstrilerden kaynaklanmaktadır [89].

4.1.ğ. Bakır (Cu)



Şekil 4.9. Bakırın istasyonlardaki dağılımı

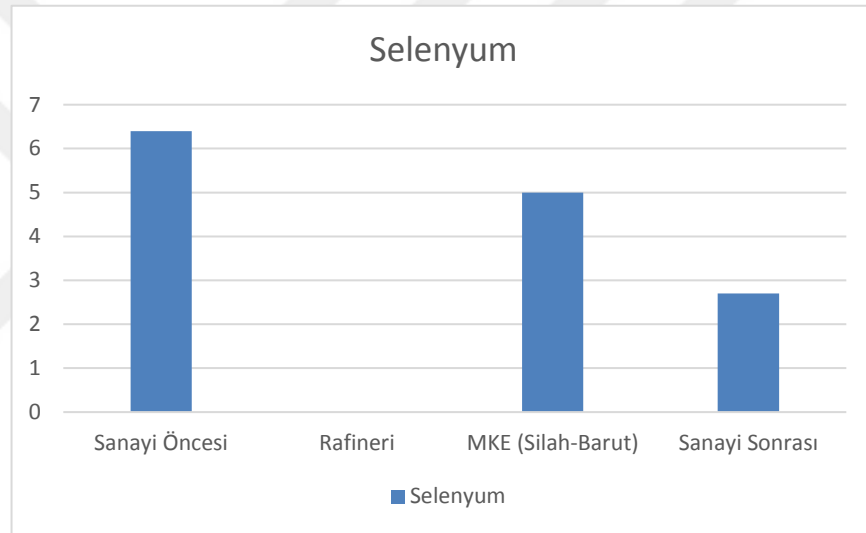
Bakır zenginleşme ve kontaminasyon faktörüne göre her istasyonda ‘‘az kirlenme’’ sınıfına girmektedir. Kirlilik indeksine (PLI) göre ise kirliliğe sebep olmamaktadır. Fakat konsantrasyon açısından bakır en çok MKE silah ve barut fabrikasındaki Kızılırmak Nehri’nde çıkmıştır. Fabrikalara gelmeden alınan nehir sediment örneğindeki bakır konsantrasyonu, sanayi sonrası bölgeden fazla çıkmıştır. Bu durum, çalışma sahasının gerisinde bulunan nehir kolundan gelen bir bakır kirliliğini göstermektedir.

Tablo 4.9. Bakırın EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	0,34	0,5	0,16	0,33
CF	0,21	0,51	0,24	0,18
PLI	0,4	0,3	0,4	0,42
	Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek
				Aşırı yüksek

Kızılırmak Nehri üstünde kurulan Hirfanlı Barajı'nda ICP-OES yöntemiyle sediment örnekleri üstünde ağır metal analizi yapılmıştır. Hirfanlı barajı bu çalışmadaki sanayi sonrası lokasyona denk gelmektedir. Barajda yapılan ICP-OES sonuçlarına göre en yüksek derişimli metaller yoğunluk sırasına göre demir, kurşun, çinko, kadmiyum ve bakırdır [90]. Sıralama, bu çalışmadaki konsantrasyon sıralamasına benzemektedir. Fakat yoğunluk değerleri Hirfanlı Barajı çalışmasının geçmiş yıllarda yapılması nedeniyle artış göstermiştir. Bakır metali bu çalışmadaki sanayi sonrası bölgesine denk gelen Hirfanlı Barajı çalışmasında da kirletici unsur olmuştur.

4.1.h. Selenyum (Se)



Şekil 4.10. Selenyumun istasyonlardaki dağılımı

Selenyum en yüksek yoğunluğa sanayi öncesi bölgesinde ulaşmış olup, rafineri bölgesinde neredeyse sıfır çıkmıştır. Ardından MKE silah ve barut fabrikasının bulunduğu istasyonda yükselmiş olarak bulunmuştur. Kontaminasyon faktörüne (CF) göre sanayi sonrasında “önemli derecede”, MKE ve sanayi öncesinde “aşırı derecede kirlenme” tespit edilmiştir. Zenginleştirme faktörüne (EF) göre ise MKE ve sanayi sonrasındaki sediment örneklerinde selenyum “belirgin”, sanayi öncesinde “orta derecede zenginleşme” mevcuttur. Kirlilik indeksi (PLI) selenyumu rafineri istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda kirletici metal olarak sınıflandırmıştır.

Tablo 4.10. Selenyumun EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	2,9	0	7,09	9,91
CF	10,6	0	8,3	4,5
PLI	3,2	0	2,8	2,1

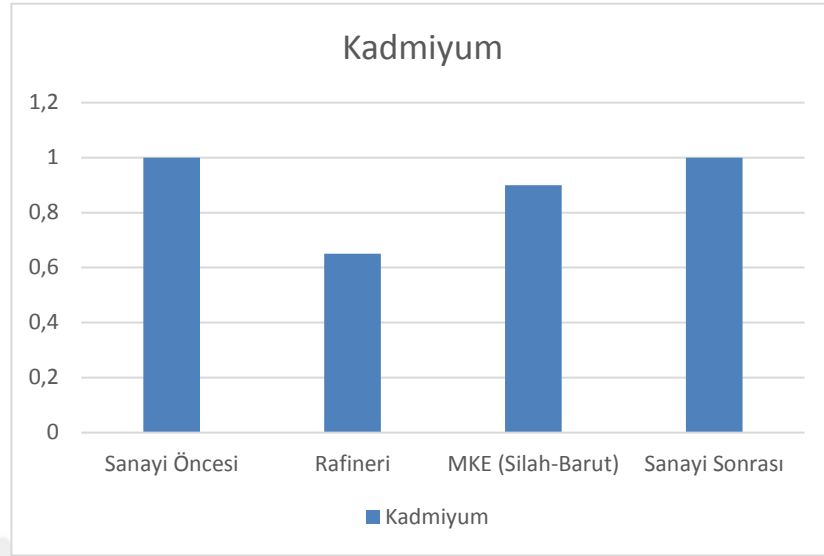
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Gündoğan (2005), bu çalışmadaki aynı istasyonlardaki ve aynı ildeki Kızılırmak Nehri'nden aldığı bir alg türü olan *Cladophora sp.* 'de ağır metal birikimini araştırmıştır. Gündoğan, bu çalışmadaki sanayi öncesi bölgesine denk gelen yerdeki Kızılırmak Nehri'nin dip tabakasında yaşayan *Cladophora*'da selenyum miktarını 2,08 % wt (kütlece ağırlık), rafineri bölgesindeki *Cladophora*'da selenyum miktarını 0, MKE bölgesindeki *Cladophora*'da selenyum miktarını 1,255 %wt (kütlece ağırlık) ve sanayi sonrası bölgesine denk gelen yerde algdeki selenyum miktarını 1,832 %wt (kütlece ağırlık) bulmuştur [91].

Bu çalışmada rafineri bölgesindeki selenyumun sıfır çıkması Gündoğan tarafından yapılan çalışmayı doğrulamaktadır fakat bu çalışmada sanayi sonrasındaki selenyum MKE bölgesine göre daha azken, Gündoğan tarafından yapılan çalışmada daha fazladır. Gündoğan rafineri bölgesinde selenyum miktarının sıfıra yakın çıkmasının sebebinin iz element olmasından ve diğer metallerin artışından ötürü iz elementlerin azalmasına bağlamıştır [91].

4.1.1. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, konsantrasyonu tüm istasyonlarda (sanayi öncesinde ve sanayi sonrasında) neredeyse eşit çıkmıştır. Rafineri bölgesindeki kadmiyum yoğunluğu, MKE bölgesindeki silah ve barut yapımından ve kadmiyumun silah sanayisinde daha çok kullanılmasından dolayı MKE bölgesine göre daha az çıkmıştır. Sanayi sonrası ve sanayi öncesindeki yoğunluk sanayi bölgelerindeki yoğunluktan daha fazla çıkmıştır. Buda Kızılırmak Nehri'nin daha yukarıdan ve daha geniş sahayı kapsayacak şekilde kadmiyum bakımından kirlendiğini göstermektedir.



Şekil 4.11. Kadmiyumun istasyonlardaki dağılımı

Zenginleşme faktörü (EF) kadmiyumu, bütün istasyonlarda ‘‘minimal zenginleşme’’ sınıfına sokarken, kontaminasyon faktörü (CF) kadmiyumu ‘‘az kirletici metal’’ olarak sınıflandırmıştır. Kirlilik indeksi (PLI) ise, kadmiyumu hiçbir istasyonda ‘‘kirletici metal’’ olarak sınıflandırılmamıştır.

Tablo 4.11. Kadmiyumun EF–CF–PLI indeks değerleri

	Sanayi Öncesi	Rafineri	MKE	Sanayi sonrası
EF	1	1	0,5	1
CF	0,4	0,26	0,2	0,4
PLI	0,6	0,50	0,44	0,6

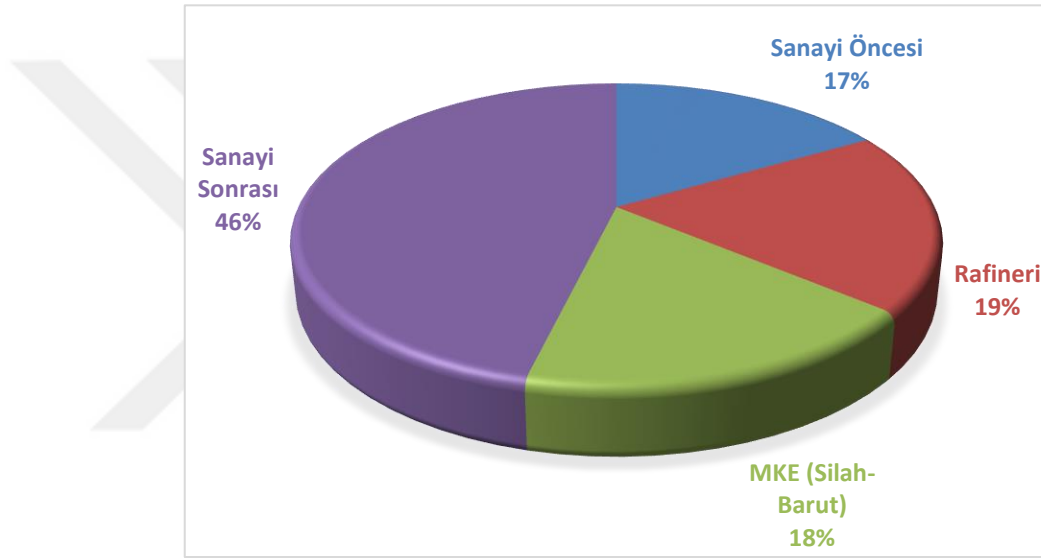
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek
--------------	-------	------	--------	--------------

Gündoğan (2005) tarafından yapılan ve selenyum metali bölümünde atıf yapılan çalışmada, aynı istasyonlardaki *Cladophora* alglerinde kadmiyum yoğunluğu sıralaması azdan yoğuna doğru olmak üzere; MKE, sanayi öncesi, rafineri ve sanayi sonrasıdır [91]. Gündoğan çalışmasındaki alg kadmiyum sıralaması, bu çalışmanın tam tersi şeklindedir. Bu çalışmadaki sediment kadmiyum oranı sıralaması azdan yoğuna doğru olmak üzere; rafineri, MKE, sanayi sonrası ve sanayi öncesidir. Bunun sebebinin ise sedimentteki ve nehirdeki ağır metal fazlalığını temizlemek amacıyla bünyesine daha çok kadmiyum almasından dolayı, sedimentte azalış alg bünyesinde ise artış görülmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Arıman ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (2010), Kızılırmak Nehri'nin sedimeninde krom, kadmiyum ve kurşun değerlerinin ERM (orta etkili) seviyesini aşmakta olduğu görülmektedir. Özellikle kadmiyumun Kızılırmak Nehri için bir tehdit oluşturduğunu belirtmektedirler [89-92].

4.2. İstasyonlara Göre Sedimentte Ağır Metal Konsantrasyonları

Bu bölümde her bir istasyonun ağır metal kirlilik potansiyeli, karşılaştırmaları ve istasyonlarla ilgili tartışma kısmı yer almaktadır.



Şekil 4.12. İstasyonların toplam ağır metal barındırma kapasitesi

Çalışma Kızılırmak Nehri'nin İç Anadolu havzasının geniş bir kesimini kapsamaktadır. Sahada en aktif ve belirleyici olması dolayısıyla seçilen dört istasyondaki toplam ağır metal kirlilik taşıma kapasitesi Şekil 4 12'de verilmiştir.

Sanayi sonrası havzasında çalışılan bütün ağır metallerin (B, Al, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) toplam kirlilik kapasitesi ve yoğunluğu diğer istasyonlara göre en fazladır. Yani sanayi sonrasındaki ağır metal derişimi diğer tüm istasyonlardan yaklaşık iki buçuk kat daha fazladır ve kirlilik barındırmaktadır. Sanayi sonrasındaki Kızılırmak Nehri'nin diğer istasyonlara göre iki buçuk kat daha fazla ağır metal bakımından kirli olmasının sebebi, fabrikaların yeterli arıtım yapamamasından dolayı ağır metallerin fabrika ilerisindeki nehir koluna taşınmaları ve sanayi sonrası ağır metal değerlerinin birçoğunun sınır değerleri aşmasından kaynaklanmaktadır. Fabrikalarda patlamalar ve

petrol sızıntılarından dolayı nehre ağır metal taşınmakta ve bunlar arıtmadan geçmeden direkt nehre girmektedir.

Toplam ağır metal kirlilik taşıma yoğunluğu en az olan istasyon sanayi bölgelerinden önce olan lokasyondur. Kırıkkale sanayi bölgelerinin gerisi ve uzağı olan Ankara il yolundaki Kızılırmak Nehri'nden alınan sediment örneklerinde, diğer istasyonlara göre en az ağır metal yoğunluğu saptanmıştır. Sanayi kuruluşlarının yaklaşık 25 km gerisinde daha az ağır metal barındırıp, sanayi bölgelerinden 22 km sonrasında yaklaşık iki buçuk kat daha fazla ağır metal kirliliğinin bulunmasının nedeni arada bulunan sanayi kuruluşlarından kaynaklandığını göstermektedir.

Rafineri bölgesindeki ağır metal taşıma yoğunluğu, MKE silah ve barut fabrikasından daha fazladır. Rafineri fabrikası, Kızılırmak Nehri'ni (farklı ağır metallerce) MKE fabrikasından daha fazla kirletiyor demektir fakat MKE fabrikasındaki değerlerde toksik sınırı aşmaktadır. Rafineri bölgesindeki ağır metal kapasitesi MKE bölgesi ve sanayi öncesindeki kapasite arasında az fark bulunmuştur. Rafineride ve silah yapımında farklı özgün metaller kullanıldığı için kirlilik yoğunluğu farkı az olsa da sanayiye özgü metaller bakımından oldukça toksiklik barındırmaktadır. Örneğin; MKE bölgesinde silah yapımında daha çok kullanılan mangan ve çinko konsantrasyonu daha fazla olmakla beraber rafineri bölgesinde ise petrokimyada daha çok kullanılan alüminyum daha fazla çıkmıştır. Kirlilik konsantrasyonu bakımından bu üç istasyonun arasında yüzde bakımından az fark bulunmasının bir diğer sebebi ise, Kızılırmak Nehri'nin bir önceki başlıkta incelendiği üzere çeşitli ağır metallerce zaten kirlenmiş olduğunu, fakat sanayi sonrasında sanayilerden kaynaklı daha çok kirlendiğini göstermektedir.

Sanayi öncesi bölgesi diğer istasyonlara göre en az ağır metal kirliliğine sahiptir fakat yine de toksik seviyesindedir. İstasyonlar arası ağır metal taşıma kapasitesi sıralaması yoğunundan az yoğununa doğru; IV. İstasyon (sanayi sonrası) > II. İstasyon (rafineri) > III. İstasyon (MKE) > I. İstasyon (sanayi öncesi) şeklindedir.

Çalışma sahasını kapsayan Kızılırmak Nehri sedimentleri kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), kurşun (Pb), çinko (Zn), alüminyum (Al), arsenik (As), bor (B), mangan (Mn), alüminyum (Al) ve nikel (Ni) metalleri bakımından Tablo 1. 3'te bulunan Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Avrupa Birliği (AB), Türkiye Standartlar Enstitüsü (TS-266) ve

Amerika Birleşik Devletleri (USA) tarafından belirlenen ağır metal eşik değerlerini aşarak ‘‘dördüncü kalite sınıfının daha gerisinde’’ sınıflandırılmıştır.

Alüminyum (Al), bor (B), arsenik (As), kurşun (Pb), selenyum (Se) ve kadmiyum (Cd) indeksler yönünden her istasyonda ‘‘yüksek miktarda kirletici olarak’’ sınıflandırılmakla beraber sanayi branşlarına göre kullanılan özgün metal derişim yoğunluğu değişmektedir.

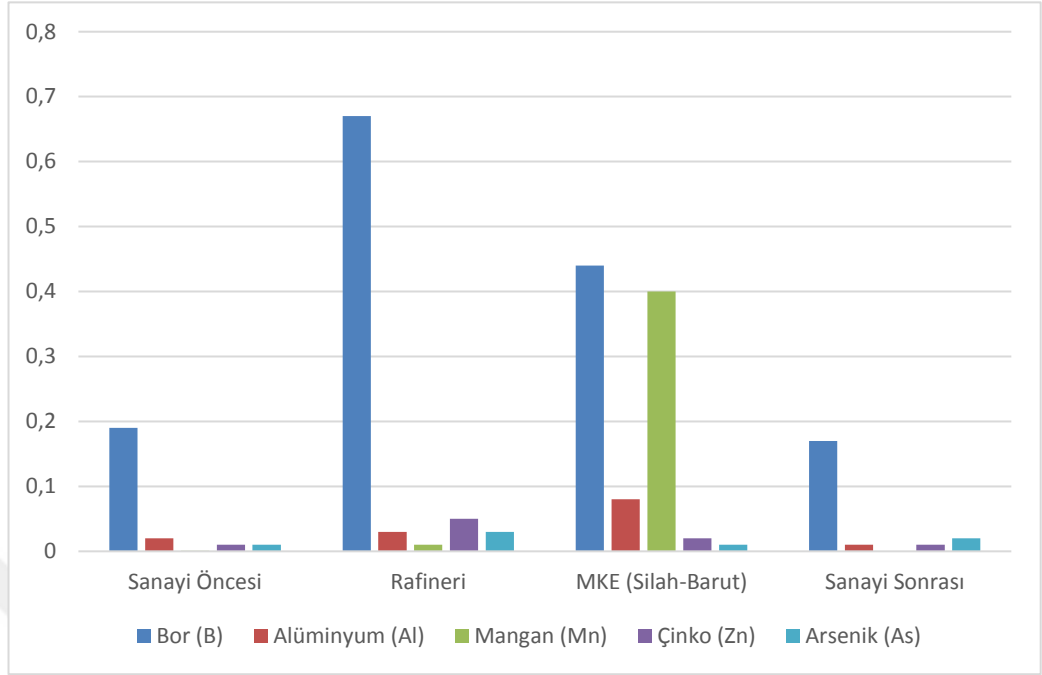
4.3. Suda Ağır Metal Konsantrasyonları

Su örneklerinde kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), selenyum (Se), bakır (Cu), nikel (Ni) ve krom (Cr) ICP-MS cihazında tüm istasyonlarda sıfır değerinde veya sıfırdan küçük çıktığı için tartışma kısmına dahil edilmemiştir. Alınan su örneklerine dair çıkan ICP-MS cihazı analiz sonuçları $\mu/1$ cinsinden Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12. Su örnekleri ICP-MS sonuçları

	B	Al	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
Sanayi Öncesi	0,19	0,02	0	0,001	0	0	0,01	0,01	0	0	0
Rafineri Tüpraş	0,67	0,03	0	0,01	0	0	0,05	0,03	0	0	0
M.K.E. Silah-Barut	0,44	0,08	0	0,4	0	0	0,02	0,01	0	0	0
Sanayi Sonrası	0,17	0,01	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0

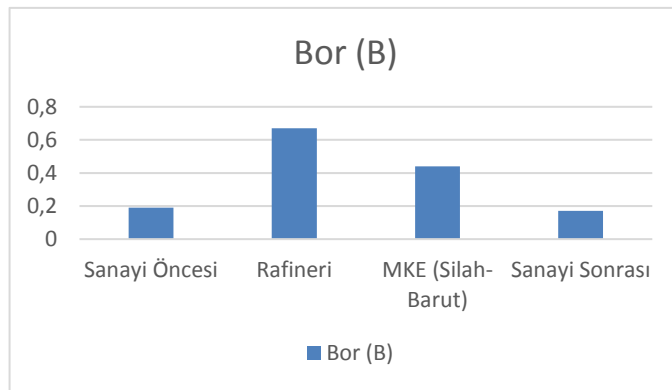
Kızılırmak Nehri’nin çalışma sahası içerisindeki yüzey suyunda bütün istasyonlarda en çok yoğunluk bor (B) metaline ait çıkmıştır. Bordan sonra alüminyum (Al) bütün istasyonlarda ikinci sırayı almış olmakla beraber en yüksek MKE ve rafineri bölgesinde tespit edilmiştir. Çinko (Zn) üçüncü sırayı alırken arsenik (As) dördüncü yoğunluk sırasına girmiştir. Mangan (Mn) sadece sanayi bölgelerinde yüksek çıkarken MKE bölgesinde en yüksek çıkmıştır. Arsenik (As) en çok rafineri ve sanayi sonrası lokasyonunda çıkmıştır.



Şekil 4.13. Suda ağır metallerin istasyonlara göre dağılımları

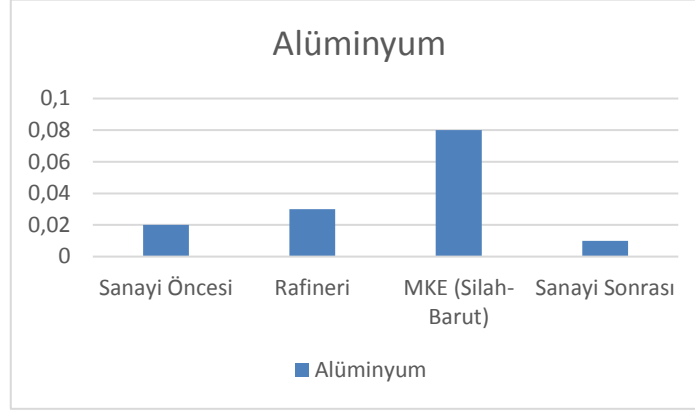
4.3.a. Bor (B)

Bor (B) en yüksek yoğunluğa rafineri bölgesinde ulaşmış olup, ardından MKE bölgesinde rafineri bölgesindeki yoğunluğundan az olmak üzere yine de yüksek çıkmıştır. Sanayi sonrasındaki bor (B) seviyesi, sanayi öncesi bölgeden daha az tespit edilmiştir. Sanayi önceki bor seviyesiyle sanayi sonrası bor seviyesinin, sanayi bölgelerine kıyasla daha az olması fabrikaların kısmen arıtma sağlamış olmaları ve akıntıyla yüzey suyundaki değerlerin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Rafineri bölgesindeki bor seviyesinin MKE bölgesine daha az değerle geçmesi verimli olmasa da arıtma sistemiyle bir kısmının arıtıldığını göstermektedir.



Şekil 4.14. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Bor (B) dağılımı

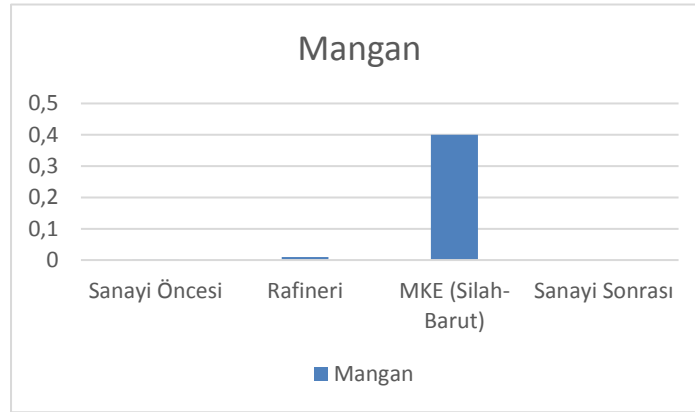
4.3.b. Alüminyum (Al)



Şekil 4.15. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Alüminyum (Al) dağılımı

Alüminyum su örneği değerleri arasında bariz fark olacak şekilde saptanmıştır. Özellikle sanayi sonrası lokasyonunun konsantrasyon değeri diğer istasyonlara oranla daha çok farkla az çıkmıştır. Alüminyum (Al), yüzey suyunda konsantrasyon açısından en çok MKE silah ve barut fabrikasında tespit edilmiştir. İkinci yoğun istasyon ise rafineri bölgesindeki Kızılırmak Nehri yüzey suyudur. Sanayi öncesi yüzey suyu kirliliği, sanayi sonrasına göre fazladır.

4.3.c. Mangan (Mn)



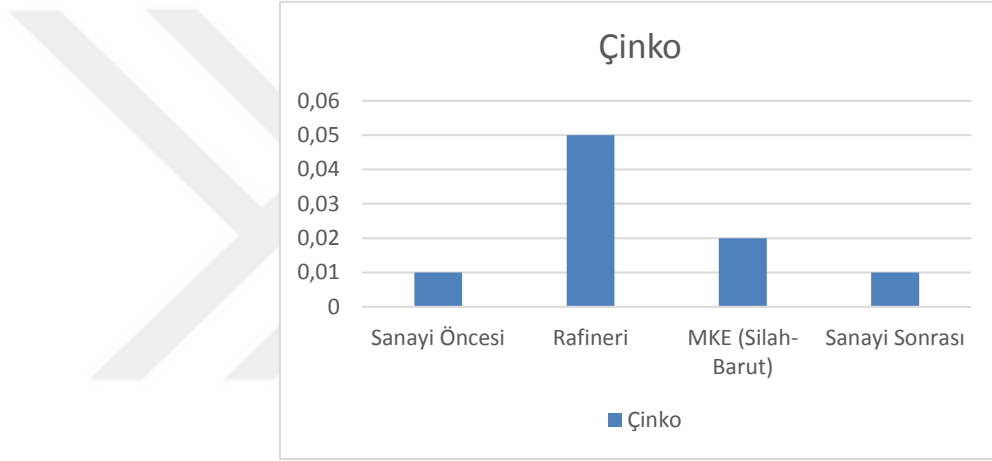
Şekil 4.16. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Mangan (Mn) dağılımı

Mangan yüzey suyu konsantrasyon derişimi yoğunundan az yoğununa doğru; III. İstasyon (MKE) > II. İstasyon (rafineri) > I. İstasyon (sanayi öncesi) > IV. İstasyon (sanayi sonrası) şeklinde analiz edilmiştir. MKE silah ve barut fabrikasındaki konsantrasyon

derişimi yoğunluğu, diğer istasyonlardaki derişim yoğunluğundan yaklaşık dört kat daha fazladır. Sanayi sonrasındaki yüzey suyunda mangan sıfır çıkmıştır.

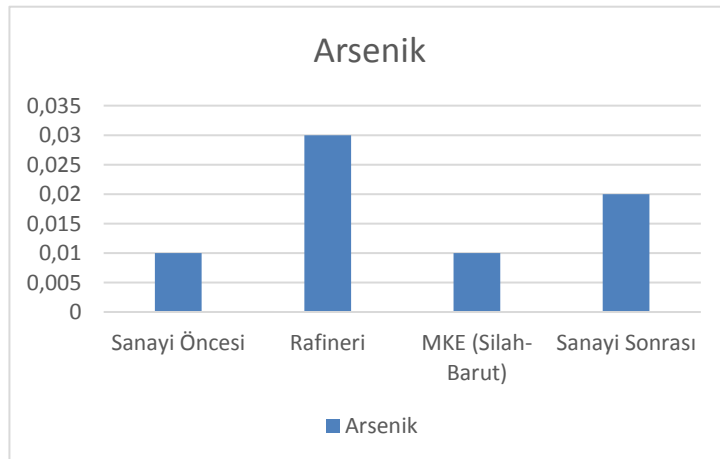
4.3.d. Çinko (Zn)

Rafineri bölgesindeki çinko (Zn) yüzey suyu yoğunluğu en fazla çıkmıştır. Rafinerideki çinko değeri, sanayi öncesi ve sanayi sonrası derişimin beş katı daha fazladır. Sanayi sonrası ve sanayi öncesi çinko değeri eşit tespit edilmiştir. Rafineri bölgesindeki yüzey suyu, MKE bölgesindeki yüzey suyundan yaklaşık bir buçuk kat çinko bakımından daha yoğundur.



Şekil 4.17. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Çinko (Zn) dağılımı

4.3.e. Arsenik (As)



Şekil 4.18. Bütün istasyonlardaki yüzey suyunun Arsenik (As) dağılımı

Sanayi öncesi yüzey suyundaki arsenik (As) yoğunluk derişimiyle MKE fabrikasındaki derişim eşit çıkmıştır. Rafineri bölgesindeki yüzey suyu en fazla arsenik barındıran bölgedir. Sanayi sonrasındaki arsenik yoğunluğu rafineriden sonra en yoğun lokasyondur.

Tablo 4.13. Kirlilik İndeksi (PI) sonuçları

	B	Al	Mn	Zn	As
Kirlilik İndeksi (PI)	0,42	0,225	2,1	0,006	2,1
Kirlilik yok	Hafif	Orta	Yüksek	Aşırı yüksek	

Kirlilik indeksi (PI) her istasyondaki maksimum metal değeri ve minimum metal değeri arasındaki bir fonksiyon ile çalışarak, çalışma sahası içerisindeki hangi metalin su kirliliğine sebep olduğunu veya değeri aştığını saptayan bir indekstir. Bu indeks su mühendisliği ve çevre analizleri gibi çalışmalarda yaygın kullanılan bir analizdir. Kirlilik indeksine göre mangan ve arsenik bütün istasyonlarda Kızılırmak Nehri'nde "toksik değeri aşan kirletici metal" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma sahası içerisindeki Kızılırmak Nehri arsenik ve mangan bakımından "orta derecede kirli" tespit edilmiş olup canlı yaşam için toksik seviyededir.

Tablo 4.14. Su eşik değerlerini aşan metaller

	B	Al	Mn	Zn	As
Sanayi Öncesi	0,19	0,02	0,001	0,01	0,01
Rafineri	0,67	0,03	0,01	0,05	0,03
MKE (Silah-Barut)	0,44	0,08	0,4	0,02	0,01
Sanayi Sonrası	0,17	0,01	0	0,01	0,02

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Avrupa Birliği (AB), Türkiye Standartlar Enstitüsü (TS-266) ve Amerika Birleşik Devletleri (USA) tarafından belirlenen su ağır metal eşik değerlerini aşan metaller kırmızı renk ile aşmak üzere olanlar ise mavi renkle boyanmıştır. Sınır değeri aşan metaller kirlilik indeksi (PI) ile paralel çıkmıştır. Yönetmelik tarafından tüm istasyonlarda arsenik belirlenen eşik değerlerini aşarak

“kirli su” olarak canlı yaşam uygun olmayan su kalitesindedir. Arsenik bakımından Kızılırmak Nehri avlanma, sulama, ten ile temas ve canlı yaşam için uygun olmadığı görülmüştür. Mangan değerleri MKE’nde sınır değeri aşmakla birlikte diğer istasyonlarda da sınır değere yakın seyrederek nehir üzerinde tehdit oluşturmaktadır

Tablo 4.15. Su değerlerinin literatür karşılaştırması

	Al	Mn	Zn
Arıman vd. (2004) [77]	0,06	0,3	<0,05
Bu çalışma	Sanayi Öncesi: 0,02 Rafineri:0,03 MKE:0,08 Sanayi Sonrası: 0,01	Sanayi Öncesi: 0,001 Rafineri:0,01 MKE:0,4 Sanayi Sonrası: 0	Sanayi Öncesi: 0,01 Rafineri:0,05 MKE:0,02 Sanayi Sonrası: 0,01

Arıman vd. (2004), orta Kızılırmak Nehri’nde su ve sediment numunelerinde analiz yapmışlardır. Arıman ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma, yukarı Kızılırmak olup bu çalışmanın sanayi öncesi istasyonunu kapsamaktadır. Arıman vd., yukarı Kızılırmak sahasını SKKY’ne göre “kirli su” sınıfında değerlendirmişlerdir [77].

Arıman vd. kapsamında yapılan çalışma bu çalışmadaki sanayi öncesi ve gerisini kapsadığı sadece sanayi öncesi değerler tartışılmıştır. Bu bağlamda, çalışılan alüminyum, mangan ve çinko sanayi öncesi değerleri, Arıman ve arkadaşlarının çalışmalarına göre azalmış olarak görülmektedir. Azalma sebebi mevsimsel değişiklikler ve iklim değişikliği sebebi olabilmektedir.

Gül (2021), doktora tezinde Kızılırmak Nehri’nin en büyük kolu olan Delice Irmağı’nda su kalite parametrelerini araştırmıştır. Gül, bu çalışmadaki metallerin bazılarını mevsimsel olarak araştırmıştır. Aynı ayda alınan su numunelerinde ortak çalışılmış olan bor (B), az oranda sınır değeri geçmiştir. Fakat indeksler anlamında iyi durumda sınıfta yer almıştır [93]. Bu çalışmada ise bor belirlenen sınır değerleri aşmak üzere olup, indeks bakımından ise “kirlilik yok” sınıfında yer alarak Göktuğ Gül’ün çalışması ile paralel çıkmıştır.

Çinko (Zn) bu çalışmada kirlilik indeksine (PI) göre “kirlilik yok” olarak değerlendirilirken (Tablo 4.13), sınır değerleride aşmadığı tespit edilmişti (Tablo 4.14). Gül ise çinko metalini Kızılırmak Nehri’nin en büyük kolu olan ve bu çalışmayı da kapsayan havza açısından kirletici unsur olarak belirlememiştir [93]. Bu bağlamda sonuç aynı çıkmıştır.

Arsenik açısından Gül, Nehrin kirlenmediğini saptarken bu çalışmada arsenik toksik ve sınır değerlerini aştığı saptanmıştır [93]. Arsenik bu bağlamda benzer çalışmada zıt çıkan tek metal olmuştur.

Aras ve İpek (2019), Kızılırmak Nehri yüzey suyunun kalite parametrelerini araştırmışlardır [94]. Değerlerin bu çalışmadaki değerler ile karşılaştırılması Tablo 4.16 ‘da verilmiştir. İki çalışmada aynı lokasyondaki en yüksek çıkan değerler değerlendirilmiştir.

Tablo 4.16. Aras ve İpek analiz sonuçlarının bu çalışma ile karşılaştırılması

	Al	B	Mn	As	Zn
Aras ve İpek, en yüksek değerler (mg/l) [94]	0,05	0,19	0,017	0,017	0,01
Bu çalışmadaki en yüksek değerler mg/l)	0,08	0,67	0,4	0,03	0,03

Aras ve İpek çalışmalarındaki değerler, bu çalışmadaki değerlerden daha az konsantrasyonda tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki artan değerlerin sebebi, en yüksek değerlere sahip numunelerin sanayi bölgelerinden alınmış olması, iki çalışma arasında yaklaşık dört yıl olmasıyla nehrin dahada kirlenmesi olarak düşünülmüştür. Aras ve İpek’in çalışma sahaları nehir olarak aynı olsa da sanayi faaliyeti açısından aynı değildir. Bu bağlamda fabrikaların nehri yaklaşık bir buçuk kat kirlilik anlamında etkilediği anlaşılmaktadır.

Zira rafineri ve MKE fabrikası nehri etkilemeseydi değerlerin aynı ya da benzer çıkması beklenmeliydi fakat bu çalışmadaki en yüksek değerler fabrikalardan geçen Kızılırmak

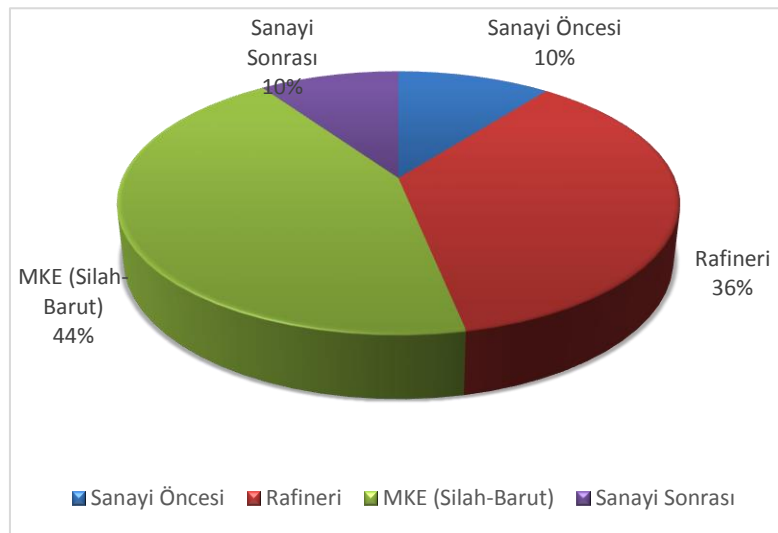
Nehri'nde saptanmıştır. Bu yüzden, nehrin fabrika kaynaklı Tablo 4.16'daki metaller açısından yaklaşık bir buçuk kat daha fazla kirlendiği görülmüştür.

İç Anadolu Bölgesi'ndeki Kızılırmak Nehrinin geçtiği Ankara, Kırıkkale, Sivas, Nevşehir, Karasu, Kırşehir ve Mudurnu çaylarında kurşun, krom ve arsenik parametreleri III. ve IV. Sınıf kirlilik düzeyinde tespit edilmiştir. Sanayi tesislerinin bulunduğu Kırıkkale Kızılırmak kolunda çeşitli ağır metaller bakımından IV. sınıf kirlilik sınıfında tespit edilmiştir [95].

Nehir dibindeki bitkiler ağır metalleri bünyelerinde biriktirme eğilimi göstererek ekosistem temizliği sağlamaktadırlar. Sedimentteki ağır metal birikimi uzun süreye bağlı sonuçları verirken, nehir yüzey suyundaki ağır metal sonuçları birikim olmadan anlık akış verileri sunmaktadır [96].

Yüzey suyundaki ağır metaller genellikle akış hızı, mevsimler ve canlılar tarafından bünyeye alınması ile sınır değerin altında olabilmektedir. Yüzey suyundaki ağır metaller nehrin orta su kısmında yaşayan canlılara zarar vermemesi açısından planktonlar tarafından hızlı bir şekilde absorbe edilmektedir. Bu nedenle sudaki ağır metal miktarları düşük olabilmektedir [97]. Fakat buna rağmen ve Kızılırmak Nehri'nin hızlı akış rejimine karşılık yine de sınır değeri aşan metaller tespit edilmiştir.

4.4. İstasyonlara Göre Suda Ağır Metal Konsantrasyonları



Şekil 4.19. İstasyonların toplam ağır metal barındırma kapasitesi

Su numunelerindeki toplam ağır metal konsantrasyonunun %44 'ü MKE bölgesine aittir. Ardından rafineri bölgesi toplam kirliliğin %36'sını barındırmaktadır. Sanayi öncesi yüzey suyu kirlilik taşıma potansiyeli ile sanayi öncesi eşit çıkmıştır.



5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İç Anadolu havzasında kalan Kızılırmak Nehri'nin ağır metal kirliliğinin saptanması ve ağır metal derişimine endüstriyel faaliyetlerin etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda Kızılırmak Nehri'nin sanayi kuruluşlarından uzak, TÜPRAŞ rafinerisi, Makine Kimya Silah ve Barut Fabrikası ve sanayi bölgesini geçen kollarından bir su ve bir sediment olmak üzere dört su ve dört sediment numunesi alınıp ICP-MS cihazında analizleri yapılmıştır. Türkiye ekosistem devamlılığı için önem arz eden Kızılırmak Nehri'nin korunması, canlıların sağlığı, fabrikaların sürdürülebilir çevre dostu olmaları, literatür katkısı ve çevre farkındalığını yaratmaya hedeflenmiştir.

Endüstrinin çevreye zarar vermesi, kontrolsüz nüfus artışı, evsel atıkların sulara karışması gibi sebepler gelecek yıllarda pandemiye sebep olacak olan kuraklık, iklim krizi, türlerin yok olması ve devamında insanların hayat tehdidini oldukça tetiklemektedir. Ağır metallerin toksik olması sebebiyle insan faaliyetleri sebebiyle nehir, akarsu, deniz kirlenmelerinin önemi her geçen gün yapılan çalışmalarla daha iyi anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak çalışmamızda, İç Anadolu havzası Kızılırmak Nehri sedimenti alüminyum (Al), bor (B) ve arsenik (As) metalleri bakımından sanayi bölgelerinde daha çok olmak üzere tüm istasyonlarda "ciddi düzeyde" kirlenmiştir. Ciddi düzey kirlenme sınıfı su canlılarının yaşamı için uygun olmayan sınıftır. Alüminyum, bor ve arsenik araştırılan metaller arasında tüm istasyonlarda sediment bakımından en yüksek ve ciddi düzeyde kirlenici olan metaller olarak tespit edilmiştir.

Kurşun (Pb) Kızılırmak Nehri sedimentini bütün istasyonlarda "orta düzeyde" kirlenmiş durumdadır. Krom (Cr) petrol faaliyetlerinin çevreye olumsuz etkilerinden dolayı rafineri bölgesinde "orta düzeyde" kirlenmeye sebep olurken, diğer istasyonlarda "hafif düzeyde" kirlenmeye sebep olmuştur. Selenyum (Se) petrokimyada kullanılmaması sebebiyle rafineri bölgesi hariç diğer bütün istasyonlarda nehri "orta

düzeyde”, mangan (Mn) ise sadece MKE bölgesinde barut yapımında kullanılmasından dolayı “orta düzeyde” nehri kirlettiği saptanmıştır.

Orta düzey sınıfı avlama, sulama, çeşme suyu veya içme için uygun değildir. Kızılırmak Nehri bakır (Cu), krom (Cr), nikel (Ni) bakımından ise “az düzeyde” kirlenmiş olup, uzun vadede canlı veya bitki bünyesinde birikerek tehdit etme potansiyeli taşımaktadır. Çinko (Zn), Kızılırmak Nehir üzerinde bir tehdit oluşturmamaktadır.

Sediment bakımından istasyonların kirlilik sıralaması yoğun az yoğun doğru olmak üzere; IV. İstasyon (sanayi sonrası) > II. İstasyon (rafineri) > III. İstasyon (MKE) > I. İstasyon (sanayi öncesi) şeklindedir. Bu sıralama sanayi bölgelerinde alıcı suya desarjlardan kaynaklı artan ağır metal toksisitesinin sanayi sonrasında birikerek nehir boyunca akarak git gide yayılmasına sebep olduğunu göstermiştir.

Su numunelerinde krom (Cr), nikel (Ni), bakır (Cu), selenyum (Se), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) bütün istasyonlarda sıfır çıkmıştır. Ancak bu metaller ağırlık bakımından daha çok nehirlerde dibe çökelmekle beraber, nehrin hızlı akış rejiminden dolayı canlı bünyesine girmektedir. Su numunelerinde sıfır çıkan bu metaller, sediment numunelerinde nehri ciddi, orta veya az düzeyde kirletmektedirler.

Mangan (Mn) ve arsenik (As) bütün istasyonlarda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen değerleri aşmakla beraber indeks değerleri bakımından “ileri toksisite” olarak değerlendirilmiştir. Bu kirliliğin nehrin çalışma kapsamında olmayan daha geri ve daha ileri kollarına da yayıldığı tahmin edilmektedir.

Bor (B) metal konsantrasyonunun rafineri ve MKE yüzey suyunda sınır değeri aşmak üzere olduğu gözlenmiştir. Alüminyum (Al) ve çinko (Zn) en yoğun MKE bölgesinde çıkmakla beraber bir kirliliğe sebep olmayacak düzeyde saptanmıştır. Yüzey suyu ağır metal kirliliği en çok MKE ve rafineri bölgesinde tespit edilmiştir.

Hem su hem sediment örneklerindeki ağır metal değerleri çoğunlukla sanayi bölgesinde artmış olup sanayi sonrası bölgesine az farkla yine yüksek değerle geçmektedir. Bu önemli bulgu endüstriyel faaliyetlerde alıcı ortamın etkilendiği göstermektedir.

Arsenik (As) hem su hem sediment örneklerinde her istasyonda (sanayi bölgesinde yükselmekle beraber), tüm indekslerde ve sınır değerlerinde “ileri ya da ciddi” düzeyde

Kızılırmak Nehri'ni tehdit etmektedir. Rafineri ve MKE gibi endüstriyel faaliyetlerin olduğu istasyonlarda çoğunlukla ağır metal derişimleri 1-2 kat artış göstermiştir.

Bu durumun nedeni olarak fabrikaların atık suları, patlamalarda nehre karışan metal partiküllerinin zamanla çözünmesi ve katı atıklar olarak gösterilebilmektedir. Arazi çalışması sırasında endüstriyel kaynakların alıcı ortama desarjlarıyla ilgili belediyeye şikâyet edilme geçmişleri bizzat yerel halktan dinlenmiştir.

Yardım ve Bat (2020), Kızılırmak Nehri'nde yaşayan ve yaygın bir tür olan sazan balığının dokularındaki ağır metal akümüasyonunu araştırmışlardır. Balıkların tüm dokularında en yoğunundan az yoğununa doğru ağır metal konsantrasyonları sırasıyla; Fe > Zn > Cu > Pb > Hg > Cd şeklinde tespit edilmiştir. Ayrıca konsantrasyonların toksik seviyede olduğu saptanmıştır [98].

Üyümez (2016), yüksek lisans çalışmasında Aksaray su kaynaklarının ağır metal konsantrasyonlarını araştırmıştır. Çalışma sonuçlarında arsenik miktarının bütün Aksaray su kaynaklarında sınır değeri geçtiği ve canlılar için uygun olmadığı analiz edilmiştir [99].

Basmacı ve arkadaşları Türkiye 'deki bütün su kaynaklarını ağır metal açısından incelemek ve bir geneli kapsayan durumu görmek için çalışmışlardır. Çalışmada 2000-2020 yılları arası ülkemizdeki bütün nehir, böl, baraj, deniz, çay, akarsu vs. ağır metal kirlilikleri hakkında çalışmaları toplayarak bir ortak sonuç çıkarmışlardır. Sonuçlara göre ülkemizde en çok nehirler ve deniz sularımız ağır metal yönünden kirli olmakla beraber bu ikisinde ise en çok Pb, Cu, Cd, Zn, Cr, Mn ve As tespit edilmiştir [100]. Yapmış olduğumuz çalışma ve incelenen birçok çalışma, Kızılırmak Nehri'nin kirlendiğini göstermektedir. Öncelik olarak alınacak önlemlerde; çalışma alanına giren sanayi tesislerinin alıcı su olarak bulunan Kızılırmak Nehri'ne atık su bırakılması konusunda tedbirleri almaları gerekmektedir. Özellikle filtre ve çöktürme sistemleri kesinlikle kullanılmalıdır. Kirletici kaynakların nehre bırakılması ortamdaki doğal yaşama zarar vermektedir, bu bakımdan nehirdeki balıkların kirlilikten dolayı zaten azalmış olması ve balıkların yüksek miktarda ağır metal içerdiği faktörü göz önüne alınarak avcılık izlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Wong, P. K., Kwok, S. C., "Accumulation Of Nickel İon (Ni+2) By İmmobilized Cells Of Enterobacter Epecies", *Biotechnology Letters.*, 14 (7), 629-634, 1992
2. Özer. A., Özer, D., "Nikel (II) İyonlarının İki Kademli Kesikli Kapta *Clodophora Crispata* ile Giderilmesi", *Turk. J. Eng. Environ. Sci.*, 22, 305- 313, 1998
3. Toprak, K., " Ülkemizde Demir Çelik Sanayi Atık Sularının Yönetimi ve Uluslararası Uygulamalar ile Karşılaştırılması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.1-30, Ankara, 2019.
4. Yücel, E., Hatipoğlu, A., Sözen, E., Güner, Ş.T., " The effects of the lead (PbCl₂) on mitotic cell division of Anatolian Black Pine (*Pinus nigra ssp. Pallasiana*)", *Biological Diversity and Conservation*, 1 (2), 124-129, 2008.
5. Kuzukuran, Ö., Filazi, A., Arslan, P., Yurdakök Dikmen, B., Yazgan Tavşanoğlu, Ü.N., "Determination of Persistent Organic Pollutants in Water and Sediment Samples from Kızılırmak River", *Kocatepe Veterinary Journal*, 12 (4), 430-436, 2019.
6. Akın, M., Akın, G., "Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği", *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47 (2), 105-118, 2007.
7. Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., "Sağlıklı İçme Sularının Nitelikleri", *Su Kirliliği*, 1. Cilt, *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, Ankara, s. 90-113, 1994.
8. Başbakanlık, Aralık 31, T.C. Resmî Gazete, s. 25687, 2004.
9. Rether, A., "Suda Çözünenlerin Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu Benzoil Tiyoüre İşlevselleştirilmiş Polimerler Ağır Metal İyonlarının Seçici Olarak Ayrılması İçin Atık Su ve Proses Solüsyonlarından" *Münih Teknik Üniversitesi İnorganik Kimya Enstitüsü, Doktora tezi*, s. 9-18, Almanya, 2002.
10. Zengin, F. K., ve Munzuroğlu, Ö., "Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) Fidelerinin Toplam Çözünebilir Protein, Prolin ve Klorofil Miktarları Üzerine Civa Klorürün

- (HgCl₂) Etkileri”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (1), 25-30, 2006.
11. Duffus, J.H., Worth, H.G.J., “Introduction”, *Fundamental Toxicology For Chemists*, 1. Cilt, *The Royal Society of Chemistry Information Services*, UK, s. 1-40, 1996.
 12. Bigersson, B., Sterner, O., Zimerson, E., “Einführung In Die Toxikologie”, *Chemie und Gesundheit*, 1. Cilt, *VCH Yayıncılık Şirketi*, Almanya, s. 20-100, 1988.
 13. Austin, A., Munteanu, N., “Evaluation Of Changes In a Large Oligotrophic Wilderness Park Lake Exposed to Mine Tailing Effluent For 14 Years: The Phytoplankton”, *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 33 (1), 39-62, 1984.
 14. Oberholster, P.J., Myburgh, J.G., Ashton, P.J., Botha A.M., “Responses of Pyhtoplanton Upon Exposure to a Mixture of Acid Mine Drainage and High Levels of Nutrient Pollution in Lake Loskop”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73 (3), 326-335, 2010.
 15. Miller, C.B., Frost, B.W., Wheeler, P.A., Landry M.R., Welschmeyer, N., Powell, T.W., “Ecological Dynamics In The Subarctic Pacific, a Possible Iron-Limited Ecosystem”, *Limnol Oceanogr*, 36, 1600-1615, 1991.
 16. Kocataş, A., “İnsanlığın Ekolojik Sorunları, Doğanın Korunması”, *Ekoloji Çevre Biyolojisi*, 1. Cilt, *Dora Yayıncılık*, Bursa, s. 310-390, 2014.
 17. Montiel Roza, M.M., Madejon, E., Madejon, P., “Effect of Heavy Metals an Organic Matter on Root Exudates (Low Molecüler Weight Organic Acids) of Herbaceous Species: an Assessment in Sand and Soil Conditions Under Different Levels of Contamination” *Environmental Pollution*, 216, 273-281, 2016.
 18. Poulin, J., Gibb, H., “Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels”, *Introdustion and Methods*, 1nd ed., Prüss-Üstün, A., Mathers, C., Corvalan, C., Woodward, A., *World Health Organization Protection of the Human Environment Geneva*, Switzerland, s. 5-69, 2003.

19. Bakar, C., Baba, A., "1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı", *Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu*, 1-24, Ürgüp Kültür Merkezi-Nevşehir, 2009.
20. İnternet: Voltahealth Kuruluşu "2016 Heavy metal Toxicity Symptoms"
[http://www.voltahealth.com/Heavy-Metal-Test-Kit-by-Nissen-Medica-\(2-tests\)](http://www.voltahealth.com/Heavy-Metal-Test-Kit-by-Nissen-Medica-(2-tests)).
21. İstanbulluoğlu, H., "Piyasada Satılan Süt ve Süt Ürünlerinde Ağır Metal kirliliği", *Gülhane Askeri Tıp Akademisi*, Tıpta Uzmanlık Tezi, 30-100, Ankara, 2011.
22. DüNDAR, Y., Aslan, R., "Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşununun Etkileri", *The Medical Journal of Kocatepe*, 6, 1-5, 2005.
23. Erickson, L., Thompson, T., "A Review of a Preventable Poison: Pediatric Lead Porsoning", *Journal Special Pediatric*, 10, 171-82, 2005.
24. Spiro, T.G., Purvis Roberts, K.L., Stigliani W.M., "Introduction", *Chemistry of the Environment*, 3rd ed., *University Science Books*, US, s. 20-80, 1996.
25. Ercal, N., Gurer, H., Aykin, N., "Toxic Metals and Oxidative stress, Mechanisms Involved in Metals Induced Oxidative Damage", *Curr Top Medical Chem.*, 6, 39-529, 2001.
26. İnternet: Chemical UNEP Kurumu "2016 Lead Exposure and Human Healthy"
<http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/lead/leadexp.pdf>
27. Cataldo, D.A., Wildung, R.E., "Soil and Plant Factors Influencing The Accumulation Of Heavy Metals by Plant", *Environmental Health Perspectives*, 27, 149-159, 1978.
28. Baldwin, D.R., Marshall, W.J., "Heavy Metal Poisoning and Its Laboratory Investigation", *Annals of Clinical Biochemistry*, 36, 267-300, 1999.
29. Gürgen Şimşek, H., Önal, A.E., "The Effects Of Lead Of An Environmental Toxic Heavy Metal On Fetus Health", *Turkish Journal Of Family Medicine and Primary Care*, 1, 363-370- 2019.

30. İnternet: Dünya Sağlık Örgütü Kurumu (WHO) ‘‘Internationally Peer Reviewed Chemical Safety Information (INCHEM)’’ <http://www.inchem.org>
31. İnternet: Agency for Toxic Substances and Disease Registry Kurumu (ATSDR) ‘‘Cadmium Toxicology’’ <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs5.htm>
32. İnternet: Meteorological Synthesizing Centre (MSC) Kurumu ‘‘2023 Cadmium Metal Distribution Map’’ http://www.msceast.org/hms/res_field.html
33. İnternet: United States Environmental Protection Agency (EPA) Kurumu ‘‘Cadmium’’ <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/minimize/cadmium.pdf>
34. Okçu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan M., ‘‘Ağır metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri’’, *Alınteri Zirai Bilimler Dergisi*, 17 (2), 14-26, 2009.
35. El-Ghamery, A.A., El-Kholy, M.A., El-Yousser, A., ‘‘Evaluation Of Cytological Effects of Zn+2 İn Relation To Germination and Root Growth of Nigella Sativa L. and Triticum Aestivum L. Mutation Research’’, *Environmental Mutagenesis*, 537 (1), 29-41, 2003.
36. Önder, S., ‘‘Atıksular ile Sulanan Zirai Alanlardaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması’’, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 3-25, Konya, 2012.
37. Karaçağıl, D., ‘‘İstanbul’da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği’’, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 4-12, İstanbul, 2013.
38. Harite, Ü., ‘‘Pamukta Bor Toksisitesine Dayanıklılık’’, *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 10-50, Aydın, 2008.
39. Çöl, M., Genç, Y., Ocaktan, E., ‘‘Bor Minerali Bölgesi Bigadiç-İskele Beldesinde 50 Yaş Üstü Kadınlarda Doğurganlık ve Genel Sağlık Durumuyla İlişkili Özellikler’’, *Medical Network Klinik Bilimler ve Doktor*, 9 (1), 5-12, 2003.
40. Türkez, H., ‘‘Bazı Bor Bileşiklerinin İn Vitro Şartlarda Periferal İnsan Kanı Üzerinde Genetik ve Biyokimyasal Etkileri’’, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 166-167 / 26-28, Erzurum, 2007.

41. Restuccio, A., Martenson, M.E., Kelley, M.T., "Fatal Ingestion of Boric Acid In On Adult." *Am J Emergency Med.*, 10 (6), 45-47, 1992.
42. Özkurt, G., "Çat Ören ve Kunduzlar Baraj Göletlerindeki Sazan Cinsi Balıkların Dokularında Bor Birikimi", *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, 24, 663-676, 2000.
43. Alan, S., "Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği; Alüminyum Raporu", *AR-GE Şubesi*, s. 2-30, 2008.
44. Tayfur, M., Ünlüoğlu, İ., Bener, Ö., "Alüminyum ve Sağlık" *Gıda Dergisi*, 27 (4), 305-9, 2002.
45. Türker, N.P., "Kanser Gelişiminde Ağır Metallerin Rolü", *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 6 (1), 101-118, 2023.
46. Bharathi, B., Vasudevaraju, P., Govindaraju, M., "Molecular Toxicity of Aluminium in Relation to Neurodegeneration", *Indian J Med Res*, 128, 545-556, 2008.
47. İnternet: Nova Scotia Environment Kurumu "2008 Iron and Manganese" http://www.gov.ns.ca/nse/water/docs/droponwaterFAQ_IronManganese.pdf
48. İnternet: Karaca Paslanmaz Şirket Kuruluşu "Nikel Nedir" <https://www.karacapaslanmaz.com/nikel-nedir>
49. Erkmen, O., "Gıda Kaynaklı Tehlikeler ve Güvenli Gıda Tüketimi", *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 53, 220-235, 2010.
50. Oruç, N., "Emet-Kütahya İçme Sularında Arsenik Düzeyi, Önemi ve Bor Yatakları ile İlişkisi" *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, s. 20-80, Eskişehir, 2004.
51. Mandal, B.K., Suzuki, K.T., "Arsenic Round The World", *A Review. Talanta*, 58 (1), 201-235, 2002.
52. Bissen, M., Frimmel, F.H., "Arsenic—A review Part I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility", *Acta Hydrochim et Hydrobiol.*, 31(1), 9-18, 2003.
53. Wang, S., Mulligan, C.N., "Arsenic In Canada", *Proceedings Of The 57th Canadian Geotechnical Conference*, s. 1-18, Canada, 2004.

54. İnternet: Enviromental Protection Agency ‘‘ 2006 Ground water & Drinking water’’
<http://www.epa.gov/safewater/dwh/c-ioc/selenium.html>
55. Stadtman, T.C., ‘‘Seleniumdependent Enzymes’’, *Ann. Rev. Biochem.*, 49, 93-110
1980.
56. Wilber, C.G., ‘‘Toxicology of Selenium’’; *A Review. Clin. Toxicol.*, 17, 171-230
1980.
57. Zhang, S., Yang, Y., Storozum, M.J., Li, H., Cui, Y., Dong, G., ‘‘Copper Smelting
and Sediment Pollution İn Bronze Age China: A Case Study İn The Hexi Corridor,
Northwest China’’, *Catena*, 156, 92-101, 2017.
58. Başaran, G., ‘‘Kapulukaya Baraj Gölü (Kırıkkale) ve Aşağı Havzası Su, Sediment
ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırılmalı
Olarak İncelemesi’’, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*,
s. 30-110, 2010.
59. Şeker, M., ‘‘Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Promethee Yöntemiyle
Ölçülmesi: TÜPRAŞ ÖRNEĞİ’’, *Bartın Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,
Yüksek Lisans Tezi*, s. 20-40, 2018.
60. Tanyer, T., ‘‘Tophane-i Amire’den, Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu’na’’, *MKE
Dergisi*, 1, 1-90, 1995.
61. İnternet: Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ‘‘İndüktif olarak
Eşleştirilmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi’’
[https://btuam.nevsehir.edu.tr/tr/induktif-olarak-eslestirilmis-plazma-
kutlespektrometresi](https://btuam.nevsehir.edu.tr/tr/induktif-olarak-eslestirilmis-plazma-kutlespektrometresi)
62. Kaymak Abay, Ç., ‘‘Dicle Nehri’nin Belirli Lokalitelerinde Su, Sediment ve Bazı
Bivalvia Türlerinde Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi’’, *Dicle Üniversitesi Fen
Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.30-100, Diyarbakır, 2017.
63. Özsoy- D., ‘‘Nilüfer Çayı ile Sulanan Alanların Bazı Önemli Toprak Özellikleri ve
Ağır Metal İçeriklerinin Konumsal Analizi ile Güncel Arazi Kullanım Türlerinin

Belirlenmesi’’, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 20-55, Bursa, 2019.

64. Mason, B., ‘‘Seimentation and Sedimentary Rocks’’, Principals Of Geochemistry, 2nd ed., Wiley, New York, s. 145-180, 1996.
65. Malvandi, H., ‘‘Preliminary Evaluation Of Heavy Metal Contamination İn The Zarrin-Gol River Sediments, Iran’’, *Marine Pollution Bulletin*, 117 (1-2), 547-553, 2017.
66. Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N., Dell’Atti, A., Di Leo, A., Maci, A., ‘‘Heavy Metals İn Marine Sediments Of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy)’’, *Mar. Chem.*, 99, 227-235, 2006.
67. Chabukdhara, M., Nema, A.K., ‘‘Assessment Of Heavy Metal Contamination İn Hindon River Sediments: A chemometric And Geochemical Approach’’, *Chemosphere*, 87, 945-953, 2012.
68. Diaz-de Alba, M., Galindo-Riano, M.D., Casanueva-Marengo, M.J., Garcia-Vargas, M., Kosore, C.M., ‘‘Assessment Of The Metal Pollution, Potential Toxicity And Speciation Of Sediment From Algeciras Bay (South Of Spain) Using Chemometric Tools’’, *J. Hazard Mater*, 190, 177-187, 2011.
69. Harikumar, P.S., Jisha T.S., ‘‘Distribution Pattern Of Trace Metal Pollutants İn The Sediments Of An Urban Wetland İn The Southwest Coast Of India’’, *Int. J. Eng. Sci. Technol*, 2, 840-850, 2010.
70. Rzetala, M.A., ‘‘Cadmium Contamination Of Sediments İn The Water Reservoirs İn Silesian Upland (Southern Poland)’’, *J. Soils Sediments*, 16, 2458-2470, 2016.
71. Quevauviller, P., Lavigne, R., Cortez, L., ‘‘Impact of Industrial and Mine Drainage Wastes on the Heavy Metal Distribution in the Drainage Basin and Estuary of the Sado River (Portugal)’’, *Environ Pollut*, 59, 267–86, 1989.
72. Sutherland, R.A., ‘‘Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream-Hawaii’’, *Environ Geol*, 39, 611-27, 2000.

73. Hakanson, L., ‘‘An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control’’ *A Sedimentological Approach Water Res.*, 14, 975-1001, 1980.
74. Şener, Ş., Şener, E., ‘‘Kovada Gölü (Isparta) Dip Sedimanlarında Ağır Metal Dağılımı ve Kirliliğinin Değerlendirilmesi’’, *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 19 (2), 86-96, 2015.
75. Caeiro, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., Painho, M., ‘‘Assessing Heavy Metal Contamination In Sado Estuary Sediment: An Index Analysis Approach’’, *Ecological Indicators*, 5(2), 151-169, 2005.
76. Korkmaz, H.U., ‘‘Kop Bölgesi Coğrafi İşaretlerinin İncelenmesi ve Öneriler’’, *Journal of Sivas Interdisciplinary Tourism Research*, 3 (2), 36-53, 2021.
77. Şimşek, A., Türkten, H., Bakan, G., ‘‘Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi’’, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (2), 645-662, 2022.
78. Ünal, M., Katkat Vahap, A., ‘‘Bisküvi ve Şekerleme Sanayii Arıtma Çamurunun Toprak Özellerine ve Mısır Bitkisinin Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri’’, *Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 17 (1), 107-118, 2003.
79. Özgül, H.Y., ‘‘Kızılırmak Deltası Kıyı Bölgesi Yeraltı Sularında Kalite ve Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi’’, *On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 30-90, Samsun, 2018.
80. Aktan, Y., ‘‘Kırıkkale-Kızılırmak’tan İzole Edilen Kurşuna Dirençli Çevre İzolatı Olan *Enterococcus faecalis*’ın Biyokimyasal ve Moleküler Karakterizasyonu’’, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 40-66, Kırıkkale, 2012.
81. Aras, S., Fındık, Ö., ‘‘Nevşehir İli İçin Kızılırmak Nehri’nin İçme Suyu Potansiyelinin Araştırılması’’, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (2), 214-222, 2018.

82. Wang, S., Mulligan C.N., ‘‘Occurrence Of Arsenic Contamination In Canada: Sources Behaviour and Distribution’’, *Sci. Tot. Env.*, 366, 701-721, 2006.
83. Yapıcıoğlu, P., Derin, P., Yeşilnacar, M.İ., ‘‘Assessment of Harran Plain Groundwater in Terms of Arsenic Contamination’’, *Geological Bulletin of Turkey*, 63, 137-144, 2020.
84. Bilhan, Ö., İlanan, F., ‘‘Bozulmamış Sediment Örnekleyci Kullanılarak Kızılırmak (Nevşehir-Türkiye) Nehri Sedimentlerinde Arsenik Ağır Metalinin Değerlendirilmesi’’, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı 24, 302-308, 2021.
85. Kankılıç, G.B., Tüzün, İ., Kadioğlu, Y.K., ‘‘Assessment Of Heavy Metal Levels İn Sediment Samples Of Kapulukaya Dam Lake (Kırıkkale) and Lower Catchment Area’’, *Environ Mental Monitoring and Assessment*, 185 (8), 6739-6750, 2013.
86. İnternet: İhlas Haber Ajansı ‘‘2013 Kırıkkale’de Patlama’’
<https://www.ih.com.tr/aksaray-haberleri/kirikale-de-akaryakit-tankerinde-patlama-1-yarali-513414/>
87. Canpolat, Ö., Uzun, S., ‘‘Kahramanmaraş organize Sanayi Bölgesi Atık Sularının Sır Baraj Gölü’nde Meydana Getirdiği Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi’’, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (3), 816-825, 2019.
88. Çavuşoğlu, K., Çakır, ř., Kırındı, T., ‘‘Investigation Of Lead (Pb) Pollution In P. Nigra (J.F. Arnold) Subsp. Nigra Var. Caraminica (Loudon) Rehder Collected Road Sides In Some Regions Of Kırıkkale City’’, *D. P. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11, 45-67, 2006.
89. Bakan, G., Özkoç, H.B., Tülek, S., Cüce, H., ‘‘Kızılırmak Nehri ve Çevresinin Entegre Çevresel Kalite Değerlendirilmesi’’, *Türk Balıkçılık ve Su Bilimleri Dergisi*, 10, 435-462, 2010.
90. Kalaycı, ř., ‘‘Determination Of Some Trace Elements With ICP-OES İn Hirfanlı Dam Lake’’, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 451-457, 2020.

91. Gündoğan, Y., ‘‘Kızılırmak Nehri’ndeki (Kırıkkale) Cladophora’da Ağır Metal Birikimi Üzerine Bir Çalışma’’, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 25-87, Ankara, 2005.
92. Szefer, P., Ikuta, K., Kushiyama, S., Frelek, K., Geldon, J., ‘‘Distributon Of Trace Metals İn The Pasific Oyster, Crassostrea Gigas And Crabs From The East Cost Of Kyusha Island, Japan’’ *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 58, 108-114, 1997.
93. Gül, G., ‘‘Delice Irmağı (Kızılırmak) İhtiyofaunası ve Bazı Su Kalite Parametrelerinin Araştırılması’’, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s. 34-117, Ankara, 2021.
94. Aras, S., İpek, G.G., ‘‘Kızılırmak Nehri (Nevşehir) Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi’’, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (2), 8-10, 2019.
95. Erdoğan Topçuoğlu, M., Karagüzel, R., ‘‘İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü Arasındaki Taneli Akiferin Hidrojeokimyasal Özellikleri’’, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24 (71), 529-540, 2022.
96. Baldantoni, D., Maisto, G., Bartoli, G., ‘‘Analyses Of Three Native Aquatic Plant Species To Assess Spatial Gradients Of Lake Trace Element Contamination’’, *Aquatic Botany*, 83 (1), 48-60, 2005.
97. Chapman, D., "Water Quality Assessments- A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, 2nd. ed.", *UNESCO/WHO/UNEP*, s. 230-500, Cambridge, 1996.
98. Yardım, Ö., Bat, L., "Kızılırmak'tan *Cyprinus carpio* L., 1758'in Organ ve Dokularındaki Ağır Metallerin Dağılımı", *Anadolu Çevre ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 5 (3), 290-294, 2020.
99. Üyümez, M., "Aksaray İli İçme Suyu Kaynaklarının Hidrokimyasal Özellikleri ve Ağır Metal Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi", *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 100-112, Aksaray, 2016.

100. Basmacı, A., Bostan, Z., Sönmez, V.Z., Sivri, N., "Türkiye'nin Sucul Ortamlarında Ağır Metal Üzerine Yapılan Araştırmaların Tarihsel İncelemesi ve Bibliyometrik Analizi (2000-2020)", *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6 (4), 567-577, 2021.

