

ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

SAPANCA GÖLÜ'NÜN YÜZEY SU VE SEDİMENTİNDE AĞIR METAL  
BİRİKİMİ VE POTANSİYEL SEDİMENT TOKSİSİTESİ

Gamze KAMIŞLI TÜRKEL

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA  
2023

Her hakkı saklıdır

## ÖZET

Doktora Tezi

### SAPANCA GÖLÜ'NÜN YÜZEY SU VE SEDİMENTİNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ VE POTANSİYEL SEDİMENT TOKSİSİTESİ

Gamze KAMIŞLI TÜRKEL

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ALTINDAĞ

Türkiye'nin en önemli göllerinden biri olan ve içme suyu kaynağı olarak da kullanılan, Sapanca Gölü'nün korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasını amaçlayan bu tez çalışmasında, yüzey suyu ve sedimentte, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Co, Cr, Al, Cd ağır metalleri ile bir metalloid olan As konsantrasyonları araştırılmıştır. Gölden 2020-2022 yılları arasında sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde, 11 istasyondan alınan örneklerdeki ağır metal konsantrasyonları, ICP-MS cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Su örneklerinde herhangi bir ağır metal birikimi bulunmadığı, çok az miktarda As birikiminin bulunduğu, ancak bu birikim miktarının anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Sediment örnekleri analiz sonuçlarına göre ise, her mevsim en az birikim yapan metalin Cd olduğu, en fazla birikim yapan metallerin ise Fe ve Al olduğu görülmüştür. Sediment kalite araştırma yöntemleriyle sediment kalitesi incelendiğinde, diğer dönemlere göre 2021 sonbahar döneminin görece daha kontamine olduğu ve toplam toksik birikime her dönem (2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemi için %48,5, 2021 sonbahar için %70,51 ve 2022 ilkbahar için %57,86) en fazla katkının Ni tarafından sağlandığı tespit edilmiştir. Sapanca Gölü'nün su kalitesi hakkında bilgi sağlamak ve göl ekosisteminin korunmasına katkıda bulunmak amacıyla yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlara göre, ağır metal kirliliğinin sınır değerlerin altında olduğu, ekosistem ve insan sağlığı açısından tehlikeli bir seviyede olmadığı değerlendirilmektedir.

**Eylül 2023, 108 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Sapanca Gölü, ağır metal, sediment kalite yönergesi, kümeleme analizi

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

HEAVY METAL ACCUMULATION IN THE SURFICIAL WATER AND  
SEDIMENT OF LAKE SAPANCA AND POTENTIAL SEDIMENT TOXICITY

Gamze KAMIŞLI TÜRKEK

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet ALTINDAĞ

This study aims to preserve and ensure the sustainability of Sapanca Lake, which is considered one of the most important lakes in Türkiye and is also used as a potable water source. Heavy metal concentrations of Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Co, Cr, Al, Cd and metalloid Arsenic (As) were analyzed using an ICP-MS device, in the lake surface water and sediment samples, which were taken from 11 different locations between autumn 2020 and spring 2022. In the water samples, no heavy metal concentration was determined and the amount of As found is ignorable. In the sediment samples, the least concentrated metal is Cd, while the most concentrated metals are Fe and Al. When the sediment quality was examined by sediment quality research methods, it was determined that the 2021 autumn period is relatively more contaminated than the other periods, and the highest contribution to total toxic accumulation in all seasons (48.5% for the 2020 autumn and 2021 spring season, 70.51% for the 2021 autumn and 57% for the 2022 spring season) is by Ni. According to the results obtained from the study, it is evaluated that the heavy metal concentration in the lake is below the limit values and is not at a threatening level in terms of ecosystem and public health.

**September 2023, 107 pages**

**Key Words:** Sapanca Lake, heavy metal, sediment quality guidelines, cluster analysis

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, varlığından dolayı her zaman çok şanslı hissettiğim, öğrencisi olmaktan daima gurur duyacağım kıymetli danışmanım Prof. Dr. Ahmet ALTINDAĞ (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı)'a tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan, bana yol gösteren, deneyimlerini benimle paylaşan, o olmadan olmazdı dediğim canım hocam ve değerli arkadaşım Doç.Dr. Şeyda FİKİRDEŞİCİ ERGEN (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı)'e, lisans eğitimimden bugüne kadar her zaman desteğini hissettirip, çalışmalarına yön veren Prof.Dr. Sedat YERLİ (Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı)' ye, her koşulda yanımda olan, desteğini ve güler yüzünü esirgemeyen, sadece akademik olarak değil hayata dair her alanda yanımda hissettiğim sevgi dolu birtanecik hocam Prof.Dr. Seyhan AKISKA (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı)'ya, tez savunmama katılarak kritik noktalarda yapıcı eleştirilerle tezimin son şeklini almasını sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Ali GÜL (Gazi Üniversitesi Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı)'e, çalışmamın özellikle saha aşamasında beni hiç yalnız bırakmayan, bana güç veren canım arkadaşım Arş.Gör. Duygu BERDİ (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı)'ye, hayattaki en büyük şansım canım aileme ve bu süreçte tüm stresimi göğüsleyen sevgili eşime sonsuz teşekkür ediyorum.

Gamze KAMIŞLI TÜRKEL  
Ankara, Eylül 2023

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Ağır Metaller .....	2
1.1.2 Ağır metal kaynakları.....	9
1.2 Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler.....	10
1.2.1 Bölgenin iklimi.....	12
1.2.2 Bölgenin flora ve faunası .....	13
1.2.3 Sapanca gölünü besleyen dereler .....	13
1.2.4 Sapanca gölünün kirlenmesine etki eden unsurlar .....	14
1.2.4.1 Karayolları ve demiryollarından kaynaklanan kirlilik .....	15
1.2.4.2 Endüstriyel kirlilik .....	15
1.2.4.3 Tarımsal kirlilik .....	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 İstasyonlardaki Su ve Sediment Ağır Metal Karakterizasyonu .....	27
3.2 Su ve Sediment Örneklerinin Alınması ve Saklanması .....	30
3.3 Örneklerin Ağır Metal Analizi.....	31
3.4 Sediment Kalite Araştırma Yöntemleri (SQG) .....	32
3.4.1 Kirlilik yükü indeksi (PIN).....	36
3.5 İstatistiksel Analiz .....	37
3.5.1 Korelasyon analizi.....	37
3.5.2 Kümeleme (Cluster) analizi.....	38
4. BULGULAR VE YORUMLAR .....	40
4.1 Sapanca Gölü Su Örneklerinin Ağır Metal Karakterizasyonu .....	40
4.2 Sapanca Gölü Sediment Örneklerinin Ağır metal Karakterizasyonu .....	43
4.3 Sedimentte Birikim Yapan Ağır Metallerin İncelenmesi.....	48
4.3.1 Alüminyum .....	48
4.3.2 Arsenik .....	48
4.3.3 Bakır .....	49
4.3.4 Çinko .....	50
4.3.5 Demir .....	51
4.3.6 Kadmiyum .....	52
4.3.7 Kobalt.....	53
4.3.8 Krom .....	53
4.3.9 Kurşun.....	54
4.3.10 Mangan .....	55
4.3.11 Nikel.....	56
4.4 Sapanca Gölünde Birikim Farklılığı Gösteren Metal(loid)ler .....	57

4.5 Su ve Sedimentte Birikim Gösteren Metaller Arası Korelasyon Testi .....	66
4.6 Sediment Kalite Araştırma Yöntemleri (SQG) ile Sediment Kalitesinin Belirlenmesi .....	70
4.6.1 Kontaminasyon faktörü ( $Cfi$ ).....	70
4.6.2 Kontaminasyon derecesi ( $C_d$ ).....	71
4.6.3 Modifiye kontaminasyon derecesi (mCd) .....	72
4.6.4 Zenginleştirme faktörü (EF) .....	72
4.6.5 Jeokümülyasyon indeksi ( $I_{geo}$ ).....	73
4.6.6 Kirlilik yükleme indeksi (PLI) .....	73
4.6.7 Toplam toksik birim .....	74
4.6.8 Oransal toksik birim .....	74
4.6.9 Ortalama etki aralığı medyanı oranı (m-ERM-Q).....	75
4.6.10 Ortalama muhtemel etki seviyesi oranı (m-PEL-Q).....	75
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	80
5.1 Sonuçlar .....	80
5.2 Öneriler .....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	108

## SİMGELER DİZİNİ

µg	Mikrogram
kg	Kilogram
mg	Miligram
L	Litre
Al	Alüminyum
As	Arsenik
CA	Kümeleme analizi
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
ICP-MS	indüktif olarak eşleştirilmiş plazma kütle spektrometresi
Mn	Mangan
Ni	Nikel
PEL	Muhtemel etki sınırı
PIN	Kirlilik yükü indeksi
Pb	Kurşun
SAV	Yerkabuğu ortalama değeri
SQG	Sediment Kalite Araştırma Yöntemleri
TE	Tespit edilemedi
TEL	Eşik etki sınırı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
Zn	Çinko

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Sapanca Gölü genel görünümü .....	12
Şekil 3.1 Sapanca Gölü lokasyonu.....	27
Şekil 3.2 Sapanca Gölü uydu görüntüsü .....	29
Şekil 3.3 Çalışma alanı örneklem bölgesi .....	29
Şekil 3.4 Çalışma alanı istasyonları uydu görüntüsü .....	30
Şekil 3.5 Sediment kepçesi genel görünüm .....	31
Şekil 4.1 Alüminyum metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi .....	48
Şekil 4.2 Arsenik metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi .....	49
Şekil 4.3 Bakır metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi.....	50
Şekil 4.4 Çinko metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi.....	51
Şekil 4.5 Demir metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi .....	52
Şekil 4.6 Kadmiyum metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi .....	52
Şekil 4.7 Kobalt metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi.....	53
Şekil 4.8 Krom metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi .....	54
Şekil 4.9 Kurşun metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi.....	55
Şekil 4.10 Mangan metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi .....	56
Şekil 4.11 Nikel metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi.....	57

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Numune alma istasyonlarının koordinatları.....	27
Çizelge 3.2 Dr 1995'e göre kıyısal zona dağılmış materyalin sınıflandırılması .....	36
Çizelge 4.1 2020 Sonbahar 1. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları.....	41
Çizelge 4.2 2021 İlkbahar 2. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları.....	41
Çizelge 4.3 2021 Sonbahar 3. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları.....	42
Çizelge 4.4 2022 İlkbahar 4. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları.....	42
Çizelge 4.5 2020 Sonbahar 1. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları .....	44
Çizelge 4.6 2021 ilkbahar 2. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları .....	45
Çizelge 4.7 2021 sonbahar bahar 3. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları.....	46
Çizelge 4.8 2022 İlkbahar 4. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları .....	47
Çizelge 4.9 Al birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar .....	58
Çizelge 4.10 Cr birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar .....	59
Çizelge 4.11 Mn birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar.....	61
Çizelge 4.12 Fe birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar .....	62
Çizelge 4.13 Co birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar.....	63
Çizelge 4.14 Ni birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar .....	64
Çizelge 4.15 Cu birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar.....	65
Çizelge 4.16 Zn birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar.....	65
Çizelge 4.17 As birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar.....	66
Çizelge 4.18 2020 sonbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon .....	67
Çizelge 4.19 2021 ilkbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon.....	68
Çizelge 4.20 2021 sonbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon .....	69
Çizelge 4.21 2022 ilkbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon.....	70
Çizelge 4.22 2022 Sonbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun karakterizasyonu .....	76
Çizelge 4.23 2022 İkbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun karakterizasyonu .....	77
Çizelge 4.24 2021 Sonbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun karakterizasyonu .....	78
Çizelge 4.25 2022 İlkbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun karakterizasyonu .....	79
Çizelge 5.1 Kıta içi yerüstü su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri .....	80
Çizelge 5.2 İçme suyu kalite standartları kategorileri.....	81

## 1. GİRİŞ

İnsan, içinde bulunduğu doğayla sürekli etkileşim halinde olan, yaşamsal faaliyetlerini devam ettirmek için doğayı değiştiren bir varlıktır. Bu etkileşim, tek yönlü sadece insan çıkarları gözetilerek gerçekleştirildiğinde ortaya çözümü imkânsız sorunlar çıkabilmektedir (Kılçık 2021). Bugüne kadar sınırsız bir kaynak olarak düşünülen doğa, insanlar tarafından hızla tahrip edilerek, kaynakları kirletilmiştir. Bu kirlenme özellikle 20. Yüzyılın ikinci yarısından sonra sanayileşmenin artması, kentleşmede artış, nüfusun hızla çoğalması ve endüstrileşme ile artış göstermiştir (Aras 2022).

Yeryüzü her biri kendi içinde denge ve işleyişe sahip olan birçok ekosistemden oluşmaktadır. Tuzlu sular ve tatlı sulardan oluşan ekosisteme sucul ekosistem denilmektedir. Tuzlu su ekosistemini denizler, tatlı su ekosistemini ise akarsular, göller, sulak alanlar (bataklıklar, sazlık alanlar ve göletler) ve yeraltı suları oluşturmaktadır. Dünyadaki toplam suyun %97,5'dan fazlasını tuzlu su kaynakları oluştururken, %3'den daha azını tatlı su kaynakları oluşturmaktadır. Bu tatlı suyun büyük kısmı buzullar içinde donmuş olarak bulunmaktadır. Tatlı su kaynaklarının %30'luk kısmını yer altı suları oluştururken, nehirler ve göller gibi yüzeysel su kaynakları dünyadaki toplam su kaynaklarının %1'inden bile daha az bir oran içermektedir. Oranlar incelendiğinde kullanıma uygun tatlı su yüzdesinin azlığı dikkat çekmektedir (Yıldız vd. 2005).

İç sularımızdan olan göller; buldukları bölgeye ve çevresine içme suyu temini sağlamaları, sahip olduğu canlı çeşitliliği ile yöre halkının beslenmesine katkı sağlayabilmeleri, sulama için kaynak oluşturarak tarımsal üretime katkı sağlamaları, sazçılık ve kamışçılık gibi bitkisel kaynaklara sahip olmaları ve görsel zenginlikleri ile turizme katkı sağlamaları gibi çeşitli alanlarda bölge ekonomisine büyük katkı sağlayan ve biyolojik açıdan son derece verimli sistemlerdir. Fakat son yıllarda göller kirlenme, su miktarlarında azalma ve ötrofikasyon gibi olumsuz etkilere maruz kalmaktadırlar (Muşmal 2021).

Çevresel kirlenmenin etkilediği ekosistemlerin başında sucul ekosistemler bulunmaktadır. Ekosistemin kendi doğal yapısından kaynaklanan ya da çevre etkisiyle

ortama giriş yapan birçok zararlı madde bulunabilir. Bu maddelerin bir kısmı ekosistemin kendi işleyişi ile ortadan kaldırılabilirken belli bir seviyenin üzerine çıkan değerler tüm canlıları olumsuz etkileyebilecek durumlara sebep olabilir. Bu olay kirlenme olarak adlandırılırken bu olaya sebep olan maddeler de kirletici olarak adlandırılmaktadır (Kılçık 2021). Bu kirleticiler çeşitli şekillerde sucül ekosistemlere geçerek canlılığı tehdit etmektedirler.

Yüzey ve yeraltı sularındaki inorganik kirleticilerin ise en önemli kısmını ağır metaller oluşturmaktadır (Fikirdeşici Ergen vd. 2019).

### **1.1 Ağır Metaller**

Ağır metallerle ilgili birçok farklı tanım bulunmaktadır. Bu tanımlarda bazen yoğunluk, bazen atomik ağırlık bazen de kimyasal özellikler ve metalin toksisitesi temel alınmaktadır. Bu tanımlamalar içinde en kabul göreni ise; “ağır metaller özgül ağırlıkları  $5 \text{ g/cm}^3$ ’ten büyük olan metaller olarak adlandırılmaktadır”dır. Aslında metaller ve ağır metallerin pek çoğu canlı yaşamı için karbon, azot ya da fosfor kadar gereklidir ve iz elementler olarak adlandırılmaktadır. Fakat ağır metallerin canlı yaşamına olan olumsuz etkileri düşünüldüğünde ağır metaller de en önemli kirleticiler arasında değerlendirilmektedir. Ağır metaller yerkabuğunda ve doğal sularda eser miktarlarda bulunabilmektedir, fakat büyük kısmı düşük miktarlarda bile oldukça toksik etkilere sahiptir (Masindi ve Muedi 2018).

İçme veya sulama suyu olarak kullanılan kaynaklarda yüksek konsantrasyonlarda ağır metal bulunması ciddi tehlikelere yol açmaktadır. Ağır metallerin düşük konsantrasyonları bile zamanla canlı bünyesinde toksik etki gösterebilmektedir (Sönmez vd. 2016). Bu durumda sadece sucül ortamda yaşayan canlı hayatını tehdit etmekle kalmayıp, ekosistemdeki tüm bireylerin biyolojik faaliyetlerini etkileyerek, besin zincirinde yer alan organizmalar arasındaki dengenin de bozulmasına neden olmaktadır (Uzunoğlu 1999).

### 1.1.1 Tez kapsamında araştırılan metal(loid)ler

Alüminyum; dünya üzerinde en yaygın bulunan elementtir. Oksijen ve silikondan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. (Authman, 2011). Reaktif bir element olan alüminyum doğada serbest halde bulunmamaktadır. Genellikle oksijen, silikon ve flor ile birlikte bulunmaktadır. Bu bileşikler çoğunlukla toprakta, minerallerde, kayalarda ve killerde. Toprakta, havada ve suda doğal olarak bulunan alüminyum, çevrede yok edilemez sadece form değiştirebilmektedir bulunmaktadır (ATSDR, 2008). Diğer birçok metal gibi iyonik formda toksik etki göstermektedir (Walton vd., 2009, Authman, 2011).

Günümüzde bütün dünyada önemli bir ticari değeri olan ve büyük miktarlarda üretimi sağlanan alüminyum ve alaşımları, uçak ve otomotiv sanayinde önemli bir role sahip olması nedeniyle stratejik bir metal olarak değerlendirilmektedir. İmalat sanayinin neredeyse her dalında kullanılan alüminyum, inşaat, kimya, gıda, ulaştırma elektrik ve elektronik sektörlerinin tamamında kullanılmaktadır (Yurtseven, 2009).

Yapılan çalışmalarda alüminyum maruziyetinin sinir sistemi üzerine etkisi olduğu bildirilmiştir. Yüksek dozajda alüminyumun kavrama güçlükleri ve hareket kabiliyetleri üzerine olumsuz etkileri olduğu gözlemlenmiştir (ATSDR, 2008).

Arsenik; canlıların yaşamsal faaliyetleri için elzem olmayan bir elementtir. Doğada birçok mineralin kristal yapısında bulunduğu bilinmektedir. Doğada, doğal olarak oluşan bir element olan arsenik, hem metal hem de ametal özelliklerini göstermesi nedeniyle metalloid olarak adlandırılmaktadır. Genellikle oksijen, klor ve kükürt ile bileşik oluşturmaktadır. Belirtilen elementlerle bileşik oluşturan arsenik, inorganik arsenik, karbon ve hidrojenle bileşik oluşturan arsenik ise organik arsenik olarak adlandırılmaktadır. Madencilik faaliyetleri, tarımda kullanılan pestisit ve insektisit, fosil yakıt kullanımı gibi antropojenik etkiler ile suya ve toprağa karışım sağlayabilmektedir (Biçgel, 2021). Doğadaki arseniğin bir kaynağı da volkanik püskürmelerdir. Arseniğin birçok bileşiği suda çözünebilmektedir. Bu nedenle yağmur, kar veya endüstriyel atıkların göllere deşarjı ile göllere ulaşarak suda çözülüp, sedimentte birikim yapabilmektedir (ATSDR 2007). İnsan vücuduna yiyecek ve içecek vasıtasıyla girebilen

As, Agency for Toxic Substances and Disease Registry tarafından çevredeki en zehirli bileşik olarak sınıflandırılmıştır (Atsdr 2007). İnsan vücuduna girdiğinde; karaciğer, akciğer, böbrek ve kardiyovasküler hastalık riski oluşturan As, deri lezyonları, beyin kanseri, sindirim sistemi zehirlenmeleri, diyabet gibi kronik rahatsızlıkların da oluşumuna neden olabilmektedir (Irshad vd. 2020, Twaddle vd. 2019).

Yapılan çalışmalarda organik arsenik bileşiklerin, inorganik formlara göre daha az toksik etki gösterdiği belirtilmiştir (ATSDR 2007). Saçta, deride ve tırnaklarda birikim yapabilen arsenik, sarılık, siroz, anemi, deri, akciğer ve böbrek kanseri ya da çeşitli nörolojik hastalıklara neden olabilmektedir (Türküzü ve Şanlıer 2012). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC)'a göre arsenik birinci sınıf kanserojen madde olarak değerlendirilmektedir (Gray vd. 2015).

Arsenik toprağın doğal yapısında ve bazı kaya türlerinin yapısında doğal olarak bulunmaktadır. Rüzgar aracılığı ile taşınımı, yüzeysel akışla ya da yeraltına sızma şeklinde suya karışabilmektedir (Chou ve Rosa 2003). Bununla birlikte volkanik hareketler, kayalarda meydana gelen erozyon ve ormanlarda meydana gelen yangınlar sonrasında da doğal arsenik oluşumu gözlenmektedir (Bilici Başkan vd. 2009).

Bakır doğada çok yaygın bir elementtir. Oksit, karbonat ya da sülfür gibi mineraller halinde bulunabilmektedir. Tüm sularda eser miktarda bulunan bakır, endüstriyel gelişim sonucunda yaygın olarak kullanılmaya başlamış ve su ortamının kirlenmesine neden olmuştur. (Çoğun vd. 2020). Bakır ekosisteme ev aletlerinin yapım sanayisi vasıtasıyla, ağaç ve metal işletmeciliği ile, pestisit kullanımı ile, hayvansal gübrelerin kullanılması ile ve foseptik atıkları ile karışabilmektedir.

Sucul sistemlerde bakır konsantrasyonundaki artış özellikle balıklar, bakteriler, deniz yosunları ve mantarlar için toksik etki yaratmaktadır. Balıklar da solungaçlar ve besinler vasıtasıyla alınan bakır letal düzeyin altındaki konsantrasyonlarda organ ve dokularda birikim yapmaktadır. Balıklarda özellikle karaciğerde birikim gerçekleşmektedir (Özden 2008).

Bakır; insan vücudunda katalizör olarak faaliyet gösteren, demirin hemoglobine bağlamasında görev yapan, kalp fonksiyonlarının ve bağışıklık sisteminin düzenlenmesi, omuriliğin miyelinleşmesi ve oksidaz enzimlerinin meydana gelmesi gibi yaşamsal faaliyetlerde görev alan bir elementtir (Akbaş 2015).

Her organ ve dokuda bulunan bakırın yüksek konsantrasyonlarda alınması; başta karaciğer ve böbrek olmak üzere diğer birçok dokuda ciddi hasarlara yol açmaktadır (Alkış 2011).

Çinko insan aktiviteleri ve şehirleşmeye bağlı olan, elementinin sucul sistemlerdeki konsantrasyonunda artış meydana gelebilmektedir. Kullanım alanları, metal-alaşım, boya sanayi, kozmetik sanayi, plastik sanayi, otomobil sanayisi, kozmetik sanayi, kuru pil üretimi ve maden sanayi olarak sıralanabilen çinko, bu endüstrilerin atıksuları, kanalizasyon suları ve asit yağmurları ile toprağa taşınabilmektedir (Vaillant 2005). Suda çözünebilir formları kloratlar, klorürler, sülfat ve nitratlar şeklindedir (Seven 2018). Hayvanların yaşam alanlarındaki toprak ve suyun çinko kontaminasyonu diyetindeki çinkonun ana kaynağını oluşturmaktadır (Vella vd. 2017).

Canlılarda gelişim için esansiyel olan çinko yaklaşık olarak 300 enzimin yapısına girmektedir. Enzim aktivasyonunda, bağ doku gelişiminde, kemik oluşumunda ve metabolik olaylarda etkili bir elementtir (Cicik 2003). Yüksek konsantrasyonlarına ya da düşük konsantrasyonlarına uzun süre maruz kalınması durumunda zararlı etkiler oluşturmaktadır (Özden 2008).

Demir yeryüzünde oldukça fazla bulunan elementler arasında dördüncü sırada yer almaktadır (Ergene 1987). Yer kabuğunun %5'lik bölümünü oluşturmaktadır (Andersson vd. 2002). Doğada çoğunlukla toprak ve kayaların yapısında bulunmaktadır. Oksijenin az olduğu ortamlarda aşınarak, ya da çeşitli mekanizmalarla çözünerek su içine sızmaktadır (Cornell 2003). Bazaltik ya da volkanik bölgelerde bulunan sucul sistemlerdeki yeraltı sularında bulunan demirin suya geçişi ile de suda demir konsantrasyonu artış göstermektedir.

Demir insanlarda oksijen taşınması, hücre gelişimi, bağışıklık güçlenmesi gibi faaliyetlerde görev alan önemli bir elementtir. Vücutta bulunan demirin yaklaşık üçte ikisi oksijen taşınmasını sağlayan kırmızı kan hücrelerindeki hemoglobinde bulunmaktadır (Özkan 2009).

Demirin dokularda birikimi; infeksiyon, neoplazi, kardiyomyopati, artropati gibi birçok endokrinolojik ve nörolojik bozukluklara yol açarken, özellikle karaciğer, pankreas ve kalp gibi hedef organlarda doku hasarı meydana getirerek hayati tehlikeler oluşturmaktadır (Özbolat ve Tuli 2019).

Kadmiyum endüstriyel olarak geniş kullanım alanına sahip olan bir elementtir. Doğada siyanür, nitrit, halojenür ve klorür tuzları olarak bulunabilmektedir (Ognjanovic vd. 2008). Gemi sanayinde, nikel/kadmiyum pillerde, rafine petrol türevlerinde ve fosfatlı gübrelerde, çimento üretiminde, metal işlemede, bazı elektronik cihazların üretiminde kullanıldığı bilinmektedir (Kunene 2020). Bu faaliyetler sırasında kadmiyum parçacıkları ortaya çıkarak duman, atık su ve toz şeklinde sucul ekosisteme karışabilmektedir. Ayrıca bazı minerallerin parçalanması ya da jeotermal aktiviteler aracılığı ile doğal yollardan sucul sisteme karışarak sedimentte birikim gösterebilmektedir.

İnsanların solunum yolu ile günde 0,02-2 mg kadmiyum aldıkları ve kadmiyum oksidin duman şeklinde yüksek oranda solunmasının akut pnömönitis, akciğer ödemi ve bazı durumlarda ölümle sonuçlanabilen ağır sorunlara sebep olduğu bilinmektedir. Uzun süreli maruziyette en fazla etkilenen organ ise böbrektir (Özkan 2009).

Kobalt yer kabuğunda bulunma oranı %0,001 olan bir ağır metaldir (Seven 2008). Dünyadaki en gerekli elementlerden biri olan kobaltın saf halde uygulama alanı kısıtlıyken, alaşım elementi ve kimyasalların kaynağı olarak stratejik bir öneme sahiptir. Petrol sanayisinde, seramik sanayisinde, boya sanayisinde, roket endüstrisinde kullanılan özel çeliklerde, telefon ve bilgisayarların bataryalarında ve askeri alanlarda kullanılmaktadır (Okudan 2009). Endüstriyel olarak kullanımı ile de insan etkisi

aracılığıyla sucul sisteme giriş yapabilen kobalt, kobalt mineralleri içeren kayaların parçalanması ile de sucul sisteme girerek sedimentte birikim gösterebilmektedir.

Suda znebilir kobalt bileşiklerinin kansere yol açtığı kanıtlanmıştır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> varlığında direk DNA hasarına neden olabilmektedir (IARC 1993). Kobalt vücutta karaciğer, böbrek, dalak ve pankreasta depo edilmektedir (Akbaş 2015).

Krom dünyada en fazla bulunan yedinci elementtir (Cervantes 2001). Doğada kromit formunda bulunan krom; erozyon, aşınma ve volkanik faaliyetler sonucunda parçalanarak sucul sisteme katılabilmektedir. Krom ayrıca deri sanayi, boya sanayi, cam sanayi, seramik sanayi, elik sanayi ve kimyanın çeşitli dallarında kullanılan bir elementtir (Shanker vd. 2005). Bu endüstri alanlarından salındıktan sonra, havaya, toprağa ve suya karışmaktadır (ATSDR 2012a). Gl çevresinde bulunan endüstriyel kuruluşların atık sularını göle deşarj etmesiyle de gölde bulunan krom metali konsantrasyonunda artış olabilmektedir. Krom, sedimentte organik maddelere bağlı olarak bulunmaktadır (zden 2008). Suda krom 3 ve 6 değerlikli formlarda bulunmaktadır. 3 değerlikli formu daha nadir görülmekle birlikte 6 değerlikli olan formu karsinojenik özellikler göstermektedir. Özellikle içme sularında bu olumsuz etkinin bertaraf edilebilmesi için krom kirliliğinin kontrol altına alınması oldukça önemlidir (Güler vd. 1997).

Toksisitesi yüksek bir metal olan krom, membranda hasarlara, organellerin yapısında değerlişimlere, metabolik faaliyetlerin bozulmasına ve büyümenin baskılanmasına neden olabilmektedir (Kimbrough 1999).

Kurşun antropojenik etkilerle ekosisteme ciddi zararlar veren ilk metaldir. Atmosfere hem metal hem de bileşik olarak yayılabilen ve her durumda toksik özellik taşıyan önemli bir ağır metaldir (zkan 2009).

Kurşuna maruziyet hem çevresel hem de endüstriyel yollarla gerçekleşebilmektedir. Yapılan çalışmalarda kurşunun otomobil kullanımı ve sanayileşmenin yoğun olduğu

bölgelerde daha fazla yayılım gösterdiği tespit edilmiştir. Egzoz dumanları, kurşun kullanılan tesislerin bacalarından çıkan duman, madencilik faaliyetleri, gübreleme, kullanılan pestisitler, metal kaplama vb. faaliyetler kurşun kirliliğinin kaynakları olarak sıralanabilmektedir (Akıncı 2010).

Kurşun ekosisteme herhangi bir sebeple giriş yaptıktan sonra doğada diğer metallere göre daha uzun süre kalmaktadır. Bütün sucul organizmalar için toksik olan kurşun sedimentte depolandığında dip canlıları tarafından bünyelerine alınarak birikime sebep olabilmektedir (Özden 2008). Kurşunun vücuttaki primer depo kaynağı ise kemik dokudur (Campbell 2007). Vücutta kurşun birikimi ile anemi, iştme bozukluğu, öğrenme bozuklukları, sinir sistemi bozuklukları, böbrek ve karaciğer hasarı, Alzheimer hastalığı, meme kanseri ve gastrointestinal hasarlar ortaya çıkabilmektedir (Ebrahimi vd. 2020).

Mangan (Mn), doğada toprak, su ve kayalarda doğal olarak bulunan, yer kabuğunun %0,1'ini oluşturan kırılğan yapıda sert bir elementtir (ATSDR 2012). Ağır metaller içinde toksisitesi en az olan elementtir (Uzunoğlu 1999).

Madencilik faaliyetleri, endüstriyel atıklar, atık depolama alanlarından kaynaklanan sızıntılar gibi insan etkisi sonucu ya da kaya ve topraklarda meydana gelen aşınma ile yeraltı sularına geçen mangan genelde elementler halinde değil de okside olmuş formda bulunmaktadır (Anonim 2016). Sucul ortamda bulunan mangan oksijen ile temasta bulunduğu Mn(II) ve Mn(IV)'e dönüşmektedir. Manganın bu formları suyun tadında ve renginde değişiklikler meydana getirmektedir. Bu nedenle sucul ortamdaki mangan yoğunluğunun artması tercih edilmeyen bir durumdur (Oğuz 2015).

Yüksek konsantrasyonda mangana maruz kalan bireylerde hareket kabiliyetinde bozulmalar, zihinsel ve duygusal rahatsızlıklar ile solunum problemleri ortaya çıkabilmektedir (Başaran 2010).

Nikel yer kabuğunda en fazla bulunan elementler arasında 24. sırada yer almaktadır. Yaygın olarak sülfat ve oksitler halinde bulunmaktadır (Habashi 1997). Tüm toprak çeşitlerinde bir miktar bulunmakta olan nikelin asıl kaynağını fosforlu gübreler ve volkanik kökenli kayalar oluşturmaktadır (Brohi 1995).

Temel olarak paslanmaz çelik sanayinde, alkali pillerin üretiminde, madeni para basımında, elektrolit kaplamada, miknatıs üretiminde, elektrik fişleri üretiminde, bakır-nikel alaşımlarında, tıbbi protezlerde ve korozyona dayanıklı alaşımların üretiminde kullanılmaktadır (Kahvecioğlu vd. 2004, Habashi 1997).

Orta seviyede zehirleyici özelliği olan nikelin organik formunun alerjik ve kanserojenik etki gösterdiği ve daha zehirleyici olan inorganik formunun ise kansere neden olan maddeler sınıflandırmasında A1 kategorisinde değerlendirildiği bilinmektedir (Emre 2000).

Bu özellikleri sebebiyle sucul ekosistemlerden uzaklaştırılması gereken nikel iyonları, geri kazanımla sucul ortamdan uzaklaştırılarak, teknolojik kullanım amaçlarına uygun olarak kullanılmalıdır (Çokadar 2003).

### **1.1.2 Ağır metal kaynakları**

Ağır metaller doğal sulardaki derişimleri çok az miktarda dahi olsa toksik etki yaratan maddelerdir (Masindi ve Muedi 2018). Su ortamlarına noktasal ve noktasal olmayan kaynaklar vasıtasıyla ulaşım sağlarlar. Noktasal kaynaklar; sanayi atıkları, kanalizasyon sistemleri ve tarım alanları gibi boşalım yeri belli olan kaynaklardır. Noktasal olmayan kaynaklar ise yüzeysel akış, erozyon ve atmosferik taşınım gibi yaygın ve dağınık kaynakları ifade eder.

Ağır metaller, sucul ortamlara insan aktiviteleri (antropojenik) ve doğal kaynaklar vasıtasıyla olmak üzere iki farklı şekilde ulaşabilirler (Arora vd. 2008). Antropojenik yayılıma; evsel ve endüstriyel atıklar, jeotermal tesisler kaynaklı atıklar ve madencilik

faaliyeti sonucu oluşan atıklar örnek verilebilirken, bölgenin jeolojik yapısı ve volkanik aktivitelerden kaynaklanan yayılım, doğal kaynaklar aracılığı ile yayılıma örnektir (Şavran ve Küçük 2022).

Sucul ekosisteme farklı yollarla ulaşan maddelerden bazıları suda çözünürken, bazıları da sedimentte birikerek kil mineralleri ya da organik maddeler gibi sedimentin yapısında bulunan bileşenlere bağlanmaktadır. Sedimentler suda bulunan elementler için depo görevini üstlenmektedir. Zamanla sedimentteki ağır metal yoğunluğu doygunluk seviyesine ulaştığında bu metaller tekrar suya bırakılarak yeniden kirletici konumuna gelmektedir ve bu durum ikincil kirlenme ile sonuçlanmaktadır (Şener 2015).

Tatlı su ekosistemlerinde besin zincirinin en alt basamağı olan fitoplanktonların güneş enerjisini kullanmalarıyla başlayan besin ağı diğer canlılar ile devam etmektedir. Sucul sistemde bulunan ağır metaller ortamdaki canlılarda (fitoplankton, zooplankton, makrofit vb.) birikerek toksik özellik göstermekte ve besin ağı yoluyla bu canlılarda biriken ağır metaller diğer canlıların bünyelerine geçmektedir (Oberholster vd. 2010). Besin zincirinin ilk basamağı ile başlayıp son basamağına kadar ulaşabilen ve canlılar için ciddi sağlık sorunlarına yol açan metallerin sucul sistemlerdeki konsantrasyonu ile ilgili güncel önlemlerin alınması oldukça önemli bir konudur.

Sucul ekosistemin önemli bir bileşeni olan göllerin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında sedimentteki ağır metal birikimine yönelik çalışmalar önem teşkil etmektedir.

## **1.2 Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler**

Ülkemizde içme suyu kalitesine yakın değerler taşıyan göllerden biri olan Sapanca Gölü, Marmara bölgesinin kuzeydoğusunda Çatalca-Kocaeli bölümü içinde, 40° 41' ile 40° 44' kuzey paralelleri ve 30° 09' ile 30° 20' doğu meridyenlerinde bulunan tektonik bir çukurda yer almaktadır (Şekil1.1). 6 km'si Sakarya ve 13 km'si Kocaeli il sınırları içinde bulunan gölün çevresi toplamda 39 km'dir (Uzun 2016). Gölün havza alanı 252

km<sup>2</sup> ve yüzey alanı 47 km<sup>2</sup>'dir. Doğu-batı doğrultusundaki uzunluğu 17 km olan gölün kuzey-güney doğrultusundaki genişliği 5 km olup, deniz seviyesinden yüksekliği 31 m'dir. Havzanın en derin noktası ise 61 m olarak ölçülmüştür. Havza Sakarya ve Kocaeli il sınırları içinde bulunmaktadır. Göl havzasının %58,7'si Sakarya il sınırları içindedir. Bununla birlikte yerleşim alanlarının %62,5'i, ormanlık alanların %61,7'si, tarım alanlarının da %36,7'lik bölümü ve toplam su kütlesinin %79'u Sakarya il sınırlarında bulunmaktadır (Kaçmaz ve Döker 2021).

Sapanca Göl Havzası'nın genel olarak topografyası incelendiğinde; havzanın güney bölümünün kuzey bölümünden daha yüksek olduğu, batı bölgesinde ve doğu bölgesinde ise geniş düzlüklerin yer aldığı görülmektedir. Yükseltisi ve ormanlık alanları fazla olan güney bölümünde Samanlı, Keremali dağları ve Karadağ bulunmaktadır. Yerleşim alanları daha çok gölün güney bölgesinde yoğunlaşırken, ormanlık alanlar ve tarım alanları kuzey tarafta, sanayi bölgeleri ise batı ucunda yer almaktadır (Kaçmaz 2010).

Üst Kretase sonu ve eosen boyunca aktif tektonik ve volkanik faaliyetlerin olduğu bölgede daha sonra şu an ki Kuzey Anadolu Fay Zonunun oluştuğu görülmektedir. Eskiden Adapazarı ve Sapanca Gölü boyunca akarak İzmit körfezine boşalan Sakarya Nehri ve çoğu diğer akarsular beraberlerinde getirdikleri alüvyon malzemeleri Adapazarı çukurluğuna bırakarak buranın zamanla dolmasına ve bölgenin Sapanca Gölü'nden ayrılmasına neden olmuşlardır. Önceleri bataklık olan Adapazarı ovası zaman içinde bugünkü halini almıştır (Tünay 2015).

Kabaca elips şeklinde iki dağ arasında uzanan gölün su kaynağını, kuzeyinde ve güneyindeki dağlardan gelen küçük dereler ve göl dibinde bulunan kaynaklar oluşturmaktadır. Göl sedimentinin büyük kısmını doğu-batı yönelimli uzun eksene dik olarak uzanan dereler oluşturmaktadır. Kuzey bölgede bulunan derelerin sediment üzerinde etkisinin daha az olduğu görülmektedir (Yıldırım 2002). Gölün Çark Deresi çıkışı ve Sakarya Nehrine boşalması nedeniyle suyunun yenilendiği belirtilmektedir (Tünay 2015).



Şekil 1.1 Sapanca Gölü genel görünümü

### 1.2.1 Bölgenin iklimi

Sapanca Havzasının içinde yer aldığı bölge olan Marmara, geçiş kuşağında olduğundan hem karasal, hem de Akdeniz iklimi özellikleri taşımaktadır. Yaz aylarında Karadeniz bölgesi kadar yağış almaz ama kurak da değildir. Bölgede kışlar ise Akdeniz bölgesi kadar ılık geçmemektedir. En yüksek yağış aldığı dönem Aralık- Ocak (113mm) ve en az yağış aldığı dönem ise Temmuz-Ağustos (45mm) dönemidir. Bu nedenle gölün kirlilik açısından en riskli dönemleri Temmuz-Ağustos aylarıdır. Yıllık ortalama yağış 782,5 mm olup İlkbaharda Marmara bölgesine göre daha fazla yağış alırken kış mevsiminde Marmara bölgesi yağışlarına benzer özellik göstermekte, yaz ve sonbahar döneminde ise Karadeniz bölgesine benzer özellikler göstermektedir (SASKİ 2013). Havzada ortalama rüzgar hızı genellikle 5 ila 15 kilometre/saat arasında değişiklik göstermektedir. Yaz mevsiminde bölgenin kuzeyi ve kuzeydoğusundan esen rüzgarlar, kış aylarında ise güneyi ve kuzeybatısından esen rüzgarlar egemendir (Ateş 2017).

### 1.2.2 Bölgenin flora ve faunası

Sapanca Gölü, çevresindeki doğal güzellikleri ve çeşitlilikleriyle dikkat çeken bir ekosistemdir. Göl zengin bir flora ve faunaya ev sahipliği yapan Türkiye'nin en yeşil yörelerindedir. Dağlık alanları gür ormanlar ile kaplıdır. Bu ormanlarda karaçam, meşe, gürgen, çınar ve kavak gibi ağaç türleri yaygın olarak bulunmaktadır. Ormanlık bölge Yanık Deresi, Sakarya Nehri ve Mühlpınar Deresi arasında kalan bölgede bulunmaktadır. Gölün kenar bölgelerinde sazlık ve bataklıklara rastlanmaktadır. Bu alanlarda sazlar, kamışlar ve gelincikler dikkat çekmektedir. Gölün doğu ve batı kısmı kısmen bataklıktır. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında göl çevresinde papatya, sümbül, gelincik, yaban gülü ve zambak gibi çiçekleri görmek mümkündür (Uzun 2016).

Zengin bitki örtüsü ve iklim koşullarına bağlı olarak Sapanca Gölü birçok farklı hayvan türünün yaşam alanını oluşturmaktadır. Sapanca Gölü, birçok kuş türünün geçiş rotası veya yaşam alanıdır. Gölde, 1990 ve 2000'li yıllarda yapılan sayımlarda 50 bin civarında su kuşunun varlığı tespit edilmiştir. Gölde değişik zamanlarda yapılan sayımlarda farklı türlerle karşılaşılmaktadır. Havzada; ördekler, kazlar, martılar, balıkçıllar, leylekler ve yırtıcı kuşlar gibi farklı kuş türlerini gözlemlemek mümkündür. Ormanların yoğun olduğu alanlarda ise yaban domuzu, tavşan, tilki, sansar ve gelincik gibi memelilere ev sahipliği yapmaktadır. Göl çevresinde yılan, kaplumbağa ve kertenkele gibi sürüngenler bulunurken gölde sazan, turna, yayın, alabalık ve levrek gibi balık çeşitlerine rastlamak mümkündür (Tünay 2015).

### 1.2.3 Sapanca gölünü besleyen dereler

Sapanca göl havzası içinde farklı büyüklüklerde birçok dere bulunmaktadır. Bu dereler; İstanbul Deresi, Kurtköy Deresi, Mahmudiye Deresi, Yanık Deresi, Keçi Deresi, Karaçay Deresi, Balıkthane Deresi, Çiftepınar Deresi, Kanlıtarla Deresi, Eşme Deresi, Kuru Deresi, Maden Deresi, Maşukiye Deresi, Sarp Deresi, Aşağıdereköy Deresi, Altıkuruş Deresi, Harmanlar Deresi, Aygır Deresi ve Cehennem Deresidir. Bu derelerden bazılarının suları sıcaklığın yüksek değerlere ulaştığı dönemlerde kurumaktadır. Sularının en kabarık olduğu dönem ise Kasım-Nisan ayları arasındadır.

Sapanca Gölü'nün fazla suları Adapazarı'nın da içinden geçen Çark suyu ile Ferizli Seyifler köyü civarında Sakarya Nehri'ne boşalmaktadır (DSİ 1983).

Göl havzası tüm koşullar açısından (jeolojik, coğrafik ve meteorolojik koşullar) ortalama 1.12 km<sup>3</sup> su rezervuar kapasitesine sahiptir. 2019 yılı verilerine göre Sapanca Gölü'nden elde edilen su miktarı 73.648.541 m<sup>3</sup>'tür. Göl doğu-batı doğrultusunda uzanan muhtemelen bir fay hattı olan hat boyunca kıyıda 40-50 m açıkta kaynaklara sahiptir. Bu kaynaklar vasıtasıyla yeraltından göle doğru miktarı kesin olarak tespit edilemeyen bir akış olmaktadır (Yıldırım 2002).

#### **1.2.4 Sapanca gölünün kirlenmesine etki eden unsurlar**

Sapanca Gölü; içme suyu, evsel su kaynağı, tarımsal sulama kaynağı, balıkçılık ve rekreasyon bölgesi olarak değişik birçok amaç için kullanılan önemli ve doğal bir kaynaktır. Bölge nüfusunun artmasına bağlı olarak evsel atık miktarındaki artış, endüstriyel atıklar, tarımsal kirlilik ve erozyon materyalinin yarattığı baskılar gölün ekolojik dengesinin ve su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır (Okgerman 2008).

Gölün kuzeyinde bulunan Eşme ve Yenieşme, güneyinde bulunan Yeniköy, Kurtköy, Kırkpınar, Mahmudiye, Sapanca, Yüzevler, Uzunkum ve Arifiye bölgeleri başlıca yerleşim bölgelerini oluşturmaktadır. Sapanca bu yerleşim bölgelerinden en büyüğü ve tarımsal faaliyetlerin pazarıdır. Sapanca'dan sonra ikinci büyük yerleşim bölgesi olan Kırkpınar da kırsal bir yerleşim söz konusudur (Ateş 2017).

Gölü çevreleyen yerleşim bölgelerinden kaynaklanan evsel atık sular, göle doğrudan veya dereler ya da nehirler aracılığıyla ulaşabilmekte ve su kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

#### **1.2.4.1 Karayolları ve demiryollarından kaynaklanan kirlilik**

Gölün güneyinden İstanbul-Ankara otoyolu (E5) geçerken, kuzeyinden TEM otoyolu (E80) ve D100 karayolu geçmektedir. Ayrıca, çevredeki ilçeleri ve köyleri birbirine bağlayan çok sayıda daha küçük yollar da bulunmaktadır. Bununla birlikte gölün doğusundan Ankara-İstanbul yüksek hızlı tren hattı geçmektedir. Karayolu ulaşımı, göl çevresindeki turizm faaliyetlerini ve bölgenin ekonomik gelişimini desteklerken, artan trafik akışı ve egzoz emisyonları gibi çevresel etkileri de beraberinde getirmektedir. Karayolları, yolun yapısına, trafikteki yoğunluğa ve bölgenin iklim ve yağış özelliklerine göre çeşitli ağır metallerin birikim yaptığı yerlerdir. Bu kirleticilerin kaynakları atmosferik taşınım, motorlu taşıtlar vasıtasıyla, yol yapımında veya bakımında kullanılan çeşitli kimyasallar ya da tarımda kullanılan herbisitlerden oluşmaktadır. Motorlu araçların lastiklerinde meydana gelen yıpranma sonucunda yola bulaşan kurşun içerikli bileşikler ile balatalarda meydana gelen aşınma sonucu yola bulaşan asbest de göl suyu için ciddi tehlike unsurudur. Karayolları ve demiryollarında yağmur suyunun toplanarak kontrollü bir şekilde tahliye edilmesini sağlayan drenaj sistemleri bulunmaktadır. Yola bulaşan kirleticiler bu kanallar vasıtasıyla direk olarak göle verilmektedir ve göl üzerinde 300-400 m aralıklarla yapılan tahliye ile göl suyunda gözle görünür bir kirlenme meydana getirmektedir. Bu bölgelerdeki yüzeysel akış içeriğinin biyolojik parçalanabilirliğin düşük ve ağır metal konsantrasyonunun da yoğun olduğu tespit edilmiştir (Uzun 2014).

#### **1.2.4.2 Endüstriyel kirlilik**

Sapanca Gölü çevresindeki endüstriyel faaliyetler arasında tarım, hayvancılık, gıda işleme, otelcilik ve turizm gibi sektörler ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda, bölgede küçük ölçekli sanayi tesisleri, atölyeler veya depolama tesisleri gibi endüstriyel kuruluşlar da bulunmaktadır. Sanayi gruplarını özellikle metal sanayi, selüloz sanayi, gıda sanayi, kimya sanayi ve tekstil sanayi oluşturmaktadır. Bu fabrikalarda oluşan atıksular, arıtma tesislerinde artırılarak veya foseptiklerde toplanarak vidanjör aracılığı ile alıcı ortama deşarj edilmektedir. Her ne kadar bu faaliyetlerin göle olan etkileri atık yönetimi, emisyon kontrolleri ve çevre dostu uygulamalar kullanılarak en aza

indirilmeye çalışılsa da son dönemlerde su kalitesinde oluşan bozulmada sanayi tesislerinden kaynaklı olumsuz çevresel etkiler olduğu düşünülmektedir. Bu sanayi tesislerinin yanında göl çevresinde çeşitli restoran, çay ocağı, benzin istasyonu ve otel gibi tesisler de bulunmaktadır. Bu tesislerde oluşan endüstriyel ve evsel atıksular da yine göl ekosistemi açısından risk oluşturmaktadır. Tesislerin göl ekosisteminde meydana getirdikleri zararın sıvı atıklar dışında atmosfere salınan emisyonlar ile de gerçekleştiği bilinmektedir (TÜBİTAK 2010).

Atık suların gölden uzaklaştırılması süreci, çevresel sürdürülebilirlik ve su kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, atık su yönetimi ve arıtma süreçleri doğru şekilde tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Yerel otoriteler, çevre kuruluşları ve ilgili tesislerin iş birliğiyle atık su yönetimi konusunda sürekli iyileştirmeler ve denetimler yapılmalıdır.

#### **1.2.4.3 Tarımsal kirlilik**

Sapanca Gölü çevresinde tarımsal faaliyetlerin olduğu bir bölgedir. Tarımsal kirlilik, tarım uygulamaları sırasında kullanılan gübreler, tarım ilaçları ve sulama suları gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin son yıllarda azalmış olmasına rağmen doğru uygulama yapılmadığında göl ekosistemi üzerinde ciddi sonuçları olabilmektedir. İlde 2021 yılı verilerine göre, kullanılan azotlu, fosforlu ve potasyumlu gübre miktarı 105.244 tondur (Sakarya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Çevre Yönetimi ve Denetimi Şube Müdürlüğü 2021).

Tarımsal kirliliğe neden olan faktörleri ve bu kirliliği önlemek için alınabilecek önlemleri şu şekilde sıralamak mümkündür;

Yanlış ve aşırı gübreleme göle zararlı besin maddelerinin (örneğin azot ve fosfor) sızmasına neden olabilmektedir. Bu durum sucul ortamda aşırı alg büyümesine ve suyun oksijen içeriğinin azalmasına yol açabilmektedir. Tarımsal kirliliği önlemek için, gübrelerin doğru miktarlarda ve zamanlamada kullanılması, toprak analizlerine dayalı

gübreleme programlarının uygulanması ve erozyon kontrolü önlemlerinin alınması önem arz etmektedir.

Tarım ilaçlarının aşırı kullanımı veya yanlış kullanımı da su kaynaklarına ve göle sızabilmekte ve sucul yaşamı olumsuz etkileyebilmektedir. Tarımsal kirliliği önlemek için, tarım ilaçlarının doğru şekilde depolanması, kullanılması ve atılması önemlidir. Organik tarım yöntemleri ve entegre zararlı yönetimi gibi çevre dostu tarım uygulamalarının teşvik edilmesi de gerekmektedir.

Sulama suyu yönetimi de tarımsal kirlilikle mücadelede önem teşkil etmektedir. Yanlış sulama yöntemleri veya aşırı sulama, göle zararlı tarımsal atıkların sızmasına neden olabilmektedir. Bu durumu engellemek için sulama suyu verimli ve kontrollü bir şekilde kullanılmalı, su tasarrufu sağlayan tekniklerin kullanılması teşvik edilmelidir.

Tarım alanlarında erozyon, toprak kaybına ve sedimentasyona neden olabilmektedir. Erozyonla taşınan sedimentler, göle ulaşarak su kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Erozyon kontrolü için, teraslama, sürdürülebilir tarım uygulamaları, toprak koruyucu örtülerin kullanımı ve erozyon bariyerlerinin oluşturulması gibi erozyon önleyici önlemlerin alınması gerekmektedir.

İçilebilir ve kullanılabilir nitelikte olan su kaynakları hem Türkiye hem de dünya genelinde gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Marmara bölgesi için önemli bir tatlı su kaynağı olan Sapanca Gölü için su kirliliğinin önlenmesi ve iyileştirme çalışmalarının yapılarak su ekosisteminin sürdürülebilirliğinin sağlanması önem arz etmektedir.

Çalışmamızda Sapanca Gölü'nde su ve sedimentte birikim yapan metallerin farklı mevsimlerde istatistiki olarak fark gösterip göstermediği, çalışılan metaller içinde en çok birikim yapanın hangi metal olduğu, birikimde metaller arasında korelasyon olup olmadığı ve biriken metallerin birbirleri ile ilişkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

Araştırmamızın gölün geçmişten bugüne ekolojik durumunun değerlendirilebilmesi, alınacak tedbirler ve yapılacak düzenlemelere katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Su kaynaklarındaki kirlenmeye neden olan parametrelerin belirlenerek bu konularda önlemler alınması, su kirliliğinin kontrolü için önemlidir. Son 20 yılda dünya genelinde sucul ekosistemin kalitesinin ve sürdürülebilirliğinin korunması için sediment çalışmaları sıklıkla kullanılmaktadır (Fikirdeşici Ergen 2020). Bu çalışmalardan bazıları;

Manav (2023), tarafından gerçekleştirilen araştırmada Bafa Gölü sedimentindeki Pb, Cd, Fe, Mn, Zn, Ni ve Cr ağır metalleri birikiminin 210Pb sediment yaş tayini yöntemiyle belirlenmesi üzerine çalışılmış ve gölün kirlilik düzeyinin kritik seviyelerde olduğu saptanmıştır. Çalışmada ayrıca tarım, tekstil ve sanayi endüstrisine bağlı olarak havzada ağır metal konsantrasyonunda artış görüldüğü düzenli yapılacak çalışmalar ile daha anlamlı sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir.

Osmanoğlu ve Özalp (2023), tarafından yakın çevresinde hidroelektrik santralleri, maden işletmeleri, yerleşim yerleri ve yol yapım çalışmalarının olduğu Murgul Deresinin su kalitesi değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada alınan su örneklerinde; arsenik (As), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) ağır metallerinin konsantrasyonları ile su sıcaklığı, pH'sı, elektriksel iletkenliği (Eİ), tuzluluğu, toplam çözünmüş maddesi (TÇM), çözünmüş oksijeni (ÇO), askıda katı madde miktarı (AKM), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N) ve amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N) parametreleri bir yıl süre ile her ay ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında madencilik faaliyetlerine yakın olan istasyondaki örneklerde suyun; tuzluluk oranının (0,30 mg/L), iletkenliğinin (438,82 µS/cm), TÇM (400,25 mg/L), NH<sub>4</sub>-N (0,19 mg/L), NO<sub>3</sub>-N (5,20 mg/L) ve AKM (143,69 mg/L) ölçüm sonuçlarının doğal alanlara ve yerleşim bölgelerinde ölçülen sonuçlara göre daha yüksek olduğu aynı zamanda maden sahası çıkışında bulunan istasyondaki ağır metal analizlerinin de istatistiksel olarak en yüksek değerde olduğu rapor edilmiştir.

Davraz ve Yıldız (2023) çalışmalarında Bafa Gölü ve göle ulaşan kanallardan aldıkları su örneklerinin hidrojeokimyasal ve kalite özelliklerini incelemişlerdir. Göle akan

kanallardan alınan örneklerin NaCl su sınıfından olduğunu ve sulardaki Na ve Cl artışının antropojenik etkilerden kaynaklandığını, kuyu ve derelerden alınan su örneklerinin karışım sular olduğunu belirtmişlerdir. Civardaki köy kuyularından alınan yeraltı su örnekleri NH<sub>4</sub>, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al açısından, sıcaklık ve çözünen toplam katı madde açısından I. su kalite sınıfında olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma neticesinde; Bafa Gölü ve kanal sularının sulama için kullanımlarının elverişli olmadığı, dere ve yeraltı sularının ise sulama için elverişli oldukları belirtilmiştir.

Binici ve Pulatsü (2022) tarafından Mogan sediment üstü su örneklerinde Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn metallerinin sediment gözenek suyu örneklerinde ise Cu, Ni, Pb, Zn ağır metallerinin konsantrasyonları ve toksisiteleri araştırılmıştır. İstasyonlardan biri maden atıkları ile evsel atıkların ulaştığı bölgeden, diğeri ise evsel, endüstriyel atıklar ile tarımsal atık sularının göle karıştığı bölgeden seçilmiştir. Çalışma neticesinde Zn'nin en yüksek, Pb'nin ise en düşük değerlerde bulunduğu ve çalışılan dört metal (Cu, Ni, Pb, Zn) açısından gölde ciddi bir kirlenme olmadığı belirtilmiştir. İncelenen metaller arasında toksik etki ihtimali en yüksek olabilecek metalin ise Zn olduğu bildirilmiştir.

Aksoy vd. (2022) tarafından yapılan bir araştırmada, Beyşehir Gölü'ndeki ağır metal kirliliği araştırılmıştır. Çalışma sonuçları, göl suyunda arsenik, kurşun, nikel ve civa gibi ağır metallerin yüksek seviyelerde olduğunu göstermişlerdir.

Gül G. (2021) tarafından yılında yapılan çalışmada, Kızılırmak Nehri'nin önemli kollarından biri olan Delice Irmağı'nda yaşayan balık türleri ve su kalite parametreleri değerlendirilmiş ve araştırma kapsamında gözlem yapılan bazı istasyonlarda evsel ve endüstriyel atıklarla su sistemlerinin önemli düzeyde kirletildiği, bazı alanlarda ötrofikasyon oluşumu olduğu gözlemlenmiştir. Bu kirlenmenin biyolojik çeşitliliği tehdit ettiği belirtilmiştir.

Kuo vd. (2021) tarafından yapılan bir araştırmada, Tayvan'daki Sun Moon Gölü'ndeki su kalitesi ve ağır metal seviyeleri analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları, göl suyunda

arsenik, civa ve kadmiyum gibi ağır metallerin yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir.

Sun vd. (2021) tarafından yapılan bir araştırmada, Çin'deki Fuxian Gölü'ndeki su kalitesi ve ağır metal kirliliği araştırılmıştır. Çalışma sonuçları, göl suyunda civa, arsenik ve kadmiyum gibi ağır metallerin yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir.

Wang vd. (2021) tarafından yapılan bir araştırmada, Çin'de bulunan Poyang Gölü'ndeki ağır metal kirliliği analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları, göl suyunda arsenik, civa, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir.

Almeida vd. (2021), Portekiz'deki göllerde yaptıkları ağır metal kirliliğini analizi için göl sularının ve sedimentlerinin farklı bölgelerindeki ağır metal konsantrasyonlarını ölçmüşler ve bazı göllerde ciddi ağır metal kirliliği olduğunu göstermişlerdir.

Bilhan ve İlalan (2021), Kızılırmak Nehri'nde 7 istasyondan aldıkları örneklerde Cr, Zn, Pb, Cu ve As gibi ağır metallerin seviyelerini araştırmışlardır. Çalışmalarında elementlerin toksik etkisini belirlemek için TRI (Toksik Risk İndeksi) kullanılmışlardır. Sonuç olarak tüm örneklem noktalarında Cr'un toksik etki risk yüzdesinin en yüksek, As'nin de ikinci olduğunu belirtmişlerdir.

Asadi vd. (2021) ve arkadaşları, İran'daki Urmia Gölü'nün kirlilik seviyesini değerlendirmek amacıyla göl sedimentindeki çeşitli ağır metallerin konsantrasyonlarını ölçmüşler ve gölün bazı bölgelerinde ciddi seviyede ağır metal kirliliği olduğunu bildirmişlerdir.

Deng vd. (2021), Çin'in güneybatısındaki bir plato gölü olan Dianchi Gölü'nün yüzey sedimentlerinde yaptıkları ağır metal kirliliği çalışmasında; gölün farklı bölgelerindeki ağır metal konsantrasyonlarını ölçerek gölün kirlilik seviyesini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, gölün bazı bölgelerinde ciddi ağır metal kirliliği olduğunu rapor etmişlerdir.

Li vd. (2021), yaptıkları çalışmada Çin'in Jiangsu eyaletindeki Taihu Gölü'nün ağır metal kirliliğini araştırmışlar ve göl suyu ve sedimentinden aldıkları örneklerde yaptıkları analizler neticesinde gölün bazı bölgelerinde ağır metal açısından ciddi bir kirlenme olduğunu bildirmişlerdir.

Fadare vd. (2020) Nijerya'nın Lagos şehrindeki bazı şehrsel sulak alanlardan aldıkları sediment örneklerinde ağır metal birikimini incelemişler ve inceleme yaptıkları sulak alanların bazılarında ciddi ağır metal kirliliği olduğunu bildirmişlerdir.

Zhan vd. (2021), Çin'in Wuhan kentinde bulunan East Gölü'nün sedimentlerinde ağır metal kirlilik düzeyini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonuçlarında gölden aldıkları sediment örneklerinin bazılarında ciddi boyutta ağır metal kirliliği olduğunu bildirmişlerdir. Hatta kirlilik seviyesinin insan sağlığı için risk oluşturduğuna da değinmişlerdir.

Kumar vd. (2020) tarafından yapılan bir araştırmada, Hindistan'da bulunan Dal Gölü'ndeki su kalitesi ve ağır metal seviyeleri analiz edilmiştir. Araştırmacıların çalışma sonuçları, göl suyunda arsenik, civa, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir.

Gür vd. (2019) tarafından Sapanca Gölünde gerçekleştirilen çalışmada göldeki su kirliliği ve çevre sorunları incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, göl suyunda kirlilik ve çevre sorunlarının olduğunu, bunlara en büyük etkiyi de bölgede gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetlerin oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Oruçoğlu vd. (2019) tarafından yapılan göller bölgesi göllerinden alınan örneklerdeki ağır metal analizi sonucunda Burdur Havzası göllerinde ağır metal birikiminin en fazla olduğu ve Antalya Havzası göllerinde ise en düşük birikimin olduğu belirtilmiştir. Antropojenik etkilerden dolayı en yoğun ağır metal birikiminin Akçay Havzasında yer alan Eber Gölü'nde olduğu belirtilirken, bu metallerin Cr ve As olduğu rapor edilmiştir. Göllerde doğal nedenlerle birikim yapan ağır metallerin ise en çok Burdur Havzasında

yer alan göllerde bulunduğu ve bu metallerin de Zn, Cr, Cu, Ni, ve As olduğu belirtilmiştir.

Minarec ve Çakır (2018) tarafından yapılan araştırmada Büyük Menderes Nehri üzerinde bulunan Adıgüzel Baraj Gölü'nde ağır metal konsantrasyonları değerlendirilmiş ve çalışma sonucunda gölün bulunduğu bölgenin endüstri bölgelerine ve termal su kaynaklarına uzak olmasından kaynaklanabileceğini düşündükleri bor, bakır, nikel, krom ve kurşun konsantrasyonlarında kritik değerlerin altında sonuçlar tespit etmişlerdir.

Şener ve Doğru (2018) tarafından yapılan çalışmada Sapanca Gölü'nün su kalitesi ve çevre sorunları araştırılmış ve çalışma sonucunda gölde organik madde, azot ve fosfor kirliliği olduğu tespit edilmiştir.

Uçkun vd. (2017) Fırat Nehri üzerine kurulmuş olan Atatürk Baraj Gölü suyundan ve sedimentinden aldıkları örneklerde ağır metal birikimini analiz etmişler ve çalışma neticesinde su örneklerinde elde edilen ağır metal yoğunluklarının Fe>Zn>Cu>Mn>Ni>Pb>Co>As>Cr>Cd>Hg şeklinde olduğunu, bu sıralamanın sedimentte Mn>Ni>Fe>Cr>Zn>Cu>Co>Hg>As>Pb>Cd şeklinde değiştiği belirtilmiştir. Araştırmacılar ayrıca yaz aylarında bu yoğunluğun arttığını bunun sebebinin de yaz aylarında artan termal aktiviteler olabileceğini belirtmişlerdir.

Diez vd. (2017) tarafından İsviçre de bulunan Geneva Gölü'ndeki atıksu arıtma tesisi yakınlarından alınan sediment örnekleri ile yapılan çalışmada, özellikle kurşun, kadmiyum, bakır, çinko, civa, nikel, krom, gümüş ve bizmut gibi ağır metallerin konsantrasyonunun arttığı ve tesisin metalleri arıtmada yetersiz kaldığı belirtilmiştir. Araştırmacılar ayrıca 2001 yılında tesisin yerinde yapılan değişiklik ve evlerde kullanılan malzemelerde ağır metal oranlarının düşürülmesi şeklinde alınan önlemlerin ağır metal konsantrasyonlarının azaltılmasında etkili olduğunu rapor etmişlerdir.

Abouhend vd. (2015), 2012 yılı süresince Kızıldeniz, kuzey kıyılarından aldıkları su ve sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarını araştırmışlar ve Co hariç diğer metallerin derişimlerinin (Cd, Cu, Ni, Zn, Pb, Co, Mn, Fe) mevsimlere göre farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca metal birikimlerinin sedimentte suya oranla daha fazla olduğunu ortaya koymuşlardır.

Balakrishnan vd. (2015) 2011-2012 yılları arasında Hindistan'da bulunan bir lagün olan Muthupet Lagünü sedimentinden aldıkları örneklerde ağır metallerin mevsime bağıli değişimlerini değerlendirmişlerdir. Çalışmaya göre muson sonrası ve yazın metal yoğunluğunun düşük, muson öncesinde ve muson döneminde ise konsantrasyonda artış olduğu bildirilmiştir. Metal yoğunluğundaki artışın nedeninin arazi drenajı, sulamanın kanallarla yapılması, tarımsal faaliyetlerin yoğun olması ve belediye kaynaklı atıkların o dönemlerdeki artışlarından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Guo vd. (2015), Çin'de bulunan Baiyangdian Gölü'nde yaptıkları bir çalışmada sedimentteki ağır metallerin 1859 ile 2011 yılları arasındaki değişimini incelemişlerdir. Yapılan çalışma neticesinde As düzeyinin 1900-1910 ve 1960-1970 yılları arasında artış gösterdiği saptanmıştır. Bu artışın sebebinin bölgede açılan demir-çelik sanayi olabileceği düşünülmektedir. Sedimentteki Cd, Pb ve Hg düzeylerindeki artışın ise bölgede açılan makine sanayi, kömür kullanılan santraller ve kurşunlu benzin kullanımına bağıli olarak artış göstermiş olabileceği bildirilmiştir.

Sarasiab vd. (2014) Basra Körfezi sedimentindeki metal birikiminin mevsimsel değişimini incelemişler ve sedimentte biriken metal konsantrasyonunun Ni >Cu> Co> Pb> Cd> Hg şeklinde olduğunu, bu metallere Ni, Cu, Cd, Pb ve Hg'nin temmuz ayında daha çok birikim yaptığını bildirmişlerdir.

Kıvanç vd. (2014) Sapanca Gölünde yaptıkları bir araştırmada kurşun, bakır, nikel, kadmiyum, çinko ve krom gibi bazı ağır metallerin konsantrasyonlarını araştırmışlar ve çalışmalarının neticesinde kurşun, nikel ve kadmiyumun konsantrasyonlarının eşik değerinin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Macit (2010) Sapanca Gölünde gerçekleştirdiği bakteriyolojik kirlilik seviyelerinin araştırdığı çalışmada Cd gibi bazı metallerin konsantrasyonunun sınır değerlerin üzerinde olduğunu bildirmiştir.

Alpat (2009), Nisan 2008 ve Şubat 2009 tarihleri arasında Sapanca Gölü'nün su ve sedimenti ile bölgedeki balık ve su kuşları üzerinde Hg, Pb, Ni, Cd ve Cr konsantrasyonlarının etkisini araştırmış ve göl suyunun kirlilik düzeyinin zamanla arttığını bildirmiştir.

Duman vd. (2007) Sapanca Gölü'nde ağır metal konsantrasyonları üzerine yaptıkları çalışmada Ni>Cr>Pb>Cd şeklinde bir sıralama olduğunu ve yazın Cr ve Ni metallerin birikiminde yükseliş olurken, sonbaharda Cd konsantrasyonunda bir yükseliş olduğunu bulmuşlardır.

Duman (2005) Sapanca ve Abant göllerindeki ağır metal konsantrasyonlarının su, sediment ve bazı makrofitlerde mevsimsel olarak nasıl değişiklik gösterdiğini incelemiştir. Sapanca Gölü için ağır metal birikimlerinin trafikten, fosseptik atıklardan, kullanılan tarım ilaçları ve gübrelerden kaynaklandığını belirtmiştir.

Dündar vd. (2003) Sapanca Gölü derelerinin 17 Ağustos 1999 tarihine Marmara da gerçekleşen deprem öncesi ve sonrası ağır metal yoğunluklarının nasıl değişim gösterdiği üzerine yaptıkları araştırmada, İstanbul, Mahmudiye, Kuruçay ve Çark derelerinden aldıkları numunelerde Pb, Cd, Cu, Zn ve Fe konsantrasyonlarını incelemiştir. İstanbul, Mahmudiye ve Kuruçay derelerinde ölçülen kurşun ve kadmiyum miktarının 17 Ağustos 1999 tarihi sonrasında artış gösterdiği, çinko ve demirin birikim miktarının ise azaldığını tespit etmişlerdir. Çark deresinde de Cd dışındaki tüm metallerin konsantrasyonlarının kirlilik standartlarının altında olduğu belirtilmiştir.

Yalçın vd. (2001) Sapanca Gölü'ndeki ağır metal kirliliği üzerine yaptığı çalışmada, çevresel faktörlerden (evsel ve endüstriyel atık, egzoz gazları, tarım ilaçları ve kimyasal

atık) kaynaklı göldeki kurşun konsantrasyonunda geçmişe oranla artış olduğunu tespit etmişlerdir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 İstasyonlardaki Su ve Sediment Ağır Metal Karakterizasyonu

Bu çalışmada belirlenen 11 istasyonda; Sapanca Gölü'nün yüzey su ve sedimentindeki Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Co, Cr, Al, Cd ağır metalleri ile bir metalloid olan As konsantrasyonları araştırılmıştır.

Çalışma materyalini, mevsimsel ve olası değişimleri tanımlayacak şekilde ekim ve nisan aylarında Sapanca Gölü'nden akan su ve sediment örnekleri oluşturmaktadır.

Örnek alma noktalarının koordinatları Küresel Konum Belirleme Cihazı (GPS) ile belirlenerek, haritalandırılmıştır (Çizelge 3.1, Şekil 3.1-3.4).

Ekim 2020- Ekim 2021 ve Nisan 2021-Nisan 2022 dönemi içerisinde arazi çalışması yapılmış, her dönem için ayrı ayrı 11 su örneği ve 11 sediment örneği olmak üzere toplam 22 numune için ağır metal analizi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1 Numune alma istasyonlarının koordinatları

İstasyon Numarası	İstasyon Koordinatı
1	N 40° 41, 642 E 30° 16, 487
2	N 40°41, 641 E 30° 16, 950
3	N 40°41, 639 E 30° 16, 774
4	N 40°41, 647 E 30° 16, 637

Çizelge 3.1 Numune alma istasyonlarının koordinatları (devam)

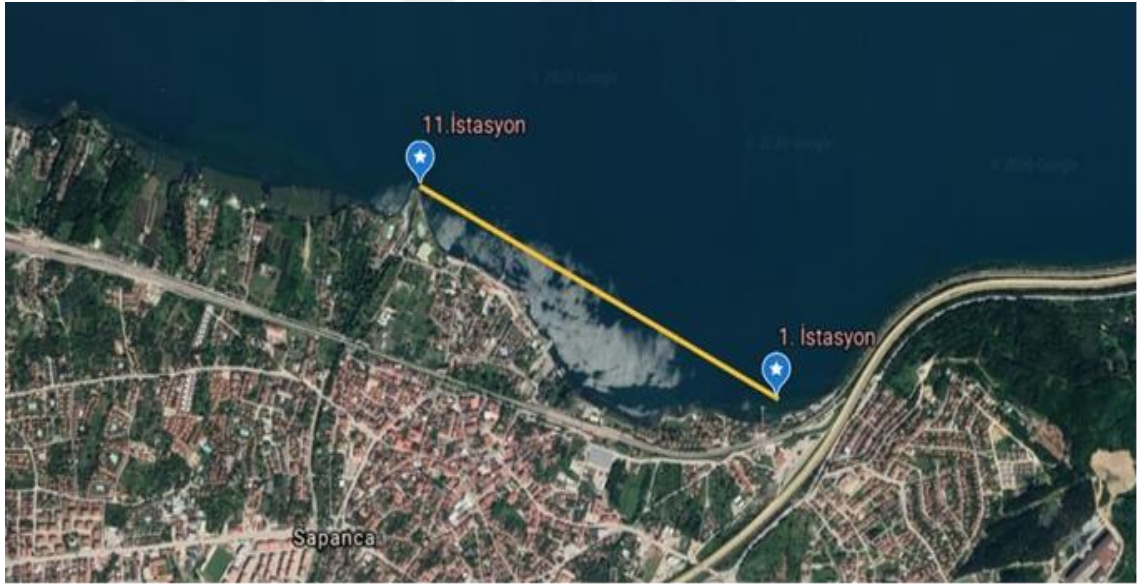
5	N 40°41, 667 E 30° 16, 441
6	N 40°41, 757 E 30° 16, 213
7	N 40°41, 836 E 30° 16, 230
8	N 40°41, 849 E 30° 16, 217
9	N 40°41, 924 E 30° 16, 058
10	N 40°41, 983 E 30° 16, 058
11	N 40°42, 039 E 30° 15, 926



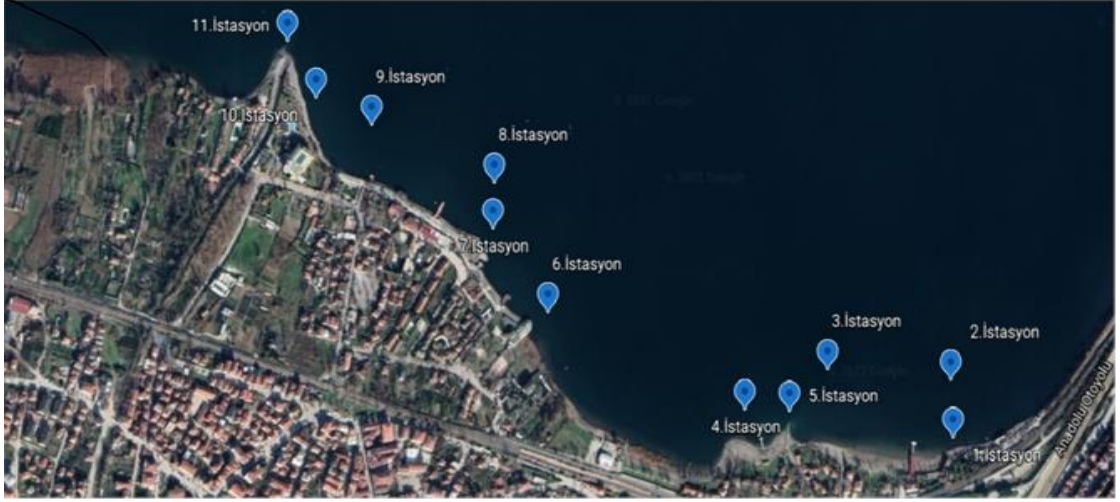
Şekil 3.1 Sapanca Gölü lokasyonu



Şekil 3.2 Sapanca Gölü uydu görüntüsü



Şekil 3.3 Çalışma alanı örneklem bölgesi



Şekil 3.4 Çalışma alanı istasyonları uydu görüntüsü

### 3.2 Su ve Sediment Örneklerinin Alınması ve Saklanması

Sediment örnekleri belirlenen koordinatlardan tekne ile açılarak sediment kepçesi kullanılarak alınmıştır (Şekil 3.5). Sediment kepçesi, göl veya deniz tabanından çamur, kum, toprak gibi sedimentleri almak için kullanılan bir araçtır. Kepçe şeklindeki ucu ile tabandan sediment alınır ve örnekleme amacıyla kullanılır. Farklı boyutlarda ve yapıda olabilirler. Genellikle paslanmaz çelikten veya alüminyumdan yapılmıştır ve uzun sapları, düz veya kıvrımlı kepçe uçları ile birleşir. Kepçe uçları, sediment örneklerini almak için farklı şekillerde tasarlanabilir. Örneğin, yuvarlak veya oval şekilli, kaba veya ince dişli olabilir. Bentik kepçeler, sualtı araştırmalarında kullanılan önemli bir örnek alma aracıdır ve jeoloji, çevre ve biyolojik araştırmalar için kullanılabilir.

Su örnekleri ise 100ml, kapaklı, sızdırmayan ve steril bir örnekleme kabı ile göl yüzeyinden alınarak, uygun koşullar altında analiz laboratuvarına gönderilmiştir.



Şekil 3.5 Sediment kepçesi genel görünüm (150x22x25)

### 3.3 Örneklerin Ağır Metal Analizi

Ağır metal analizleri akredite olmuş bir laboratuvarında, katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde ölçülmesine olanak sağlayan Agilent 7700 serisi ICP-MS cihazında yapılmıştır.

ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) cihazı, metal analizleri yapmak için kullanılan bir cihazdır. Özellikle ağır metal analizlerinde sıkça kullanılır. Bu cihazın çalışma prensibi, numunelerin atomize edilerek gaz fazına getirilmesi, ardından iyonize edilerek kütle spektrometresinde ayrıştırılmasıdır (Khan vd. 2014).

ICP-MS cihazı, numuneleri çok hassas bir şekilde analiz edebilir ve çok düşük seviyelerdeki metal konsantrasyonlarını tespit edebilir. Bu nedenle, ağır metal kirliliğinin tespiti ve takibi için oldukça kullanışlı bir araçtır (Bulska ve Wagner 2016).

Cihazın çalışması için öncelikle numuneler özel bir hazırlık işlemine tabi tutulur. Daha sonra numuneler, cihazda bulunan indüktif eşleşmeli plazma (ICP) kaynağına beslenir. ICP, bir gazın yüksek frekanslı elektromanyetik alan etkisi altında iyonize olmasıdır. Numune, ICP'deki yüksek sıcaklıkta atomize olur ve daha sonra iyonize olur. Oluşan iyonlar, kütle spektrometresinde ayrıştırılır ve belirli bir kütleye sahip olanlar dedekte

edilir. Bu sayede, numunelerdeki metal iyonlarının miktarı ve türü belirlenebilir (Ammann 2007).

ICP-MS cihazı, çevre analizi, gıda güvenliği, ilaç kalite kontrolü, mineraloji ve malzeme bilimi gibi birçok alanda kullanılır (Bulska ve Wagner 2016) .

### **3.4 Sediment Kalite Araştırma Yöntemleri (SQG)**

SQG (Sediment Quality Guidelines) yani Sediment Kalite Kılavuzları, çevresel analizlerde kullanılan bir yöntemdir. Sedimentler, su kaynaklarında ağır metal, pestisit ve diğer toksik maddelerin biriktiği bir yerdir. Bu nedenle, sediment kalitesi, su kaynaklarının sağlığı için önemlidir. Sediment kalite araştırması, sediment numunelerindeki ağır metal, pestisit ve diğer toksik maddelerin miktarını ve türünü belirlemek için yapılan bir araştırmadır (Parween vd. 2021, Huang 2006).

SQG, sediment kalitesi araştırmaları için belirli bir standardı temsil eder. Bu standardın amacı, sedimentlerin kalitesini belirlemek için kullanılacak bir dizi referans noktası sağlamaktır. Sediment numunelerindeki ağır metal ve diğer toksik maddelerin konsantrasyonlarını belirleyen laboratuvar testleri yapıldıktan sonra elde edilen veriler, SQG kılavuzlarına uygun olarak yorumlanır. Bu yorumlama işlemi, sediment numunelerinin çevresel riskini belirlemeye yardımcı olur (Long vd. 2000).

SQG kılavuzları, çevresel risk değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Bu kılavuzlar, çevresel normlara uygunluğu değerlendirmek için kullanılır. SQG, sedimentlerin kalitesini belirlemek için kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha duyarlı bir yöntemdir (Islam vd. 2018). Ayrıca ekonomik ve zamandan tasarruf sağlayan bir yöntem olması nedeniyle sediment kalitesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar (Fikirdeşici Ergen vd. 2021).

Çalışmamızda sediment örneklerinden tespit edilen ağır metal konsantrasyonları endüstri dönemi öncesinde yer yüzeyinde bulunan ağır metal değerleri baz alınarak bir

dizi matematiksel formülasyona tabi tutulmuş ve Sapanca Gölü sedimentinin şu anki mevcut durumu değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirmeleri yapmak için yaygın yöntemlerden biri Turekian ve Wedepohl'a (1961) aittir. Bu yönteme alternatif olarak ortama ait geçmiş zaman verileri de kullanılabilir. Sedimentteki ağır metal çalışmalarında kontaminasyon faktörü ( $C_f^i$ ) en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Son derece basit olan bu yöntem ile ortama ait mevcut güncel verilere ulaşmak mümkündür. Yöntem, Hakanson (1980) tarafından ortaya konmuştur.

$$C_f^i = C^i / C_n^i \quad (1)$$

Şeklinde hesaplanır.  $C^i$  sedimentte ölçülen metalin değeri,  $C_n^i$  ise o metale ait endüstri dönemi öncesi referans değeri göstermektedir. Hakanson tarafından ortaya konan bir diğer önemli yöntem ise kontaminasyon derecesidir ( $C_d$ ) ve şu şekilde hesaplanır (Hakanson 1980).

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad (2)$$

$C_f^i$  kontaminasyon faktörüdür. Formülden de anlaşılacağı gibi tüm ( $C_f^i$ ) değerlerinin toplamıdır. Çalışılan metal sayısının artmasıyla kontaminasyon faktörünün artması ve farklı çalışmaların birbiriyle karşılaştırılamaması gibi sorunları ortadan kaldırmak amacıyla Abraham ve Parker aynı formülü çalışılan metal sayısına oranlayarak düzenlemişlerdir (Abraham ve Parker 2008).

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n} \quad (3)$$

$C_f^i$  kontaminasyon faktörünü ve n ise çalışılan toplam metal sayısını vermektedir. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir diğeri zenginleştirme faktörüdür (EF). Şu şekilde formüle edilmiştir.

$$EF = \frac{C_n/C_{ref}}{B_n/B_{ref}} \quad (4)$$

Formüldeki  $C_n$  çalışmada ölçülen metal değerini,  $C_{ref}$  çalışılan metalin referans ortamdaki değeri (örn. yer kabuğu),  $B_n$  referans elementin çalışmada ölçülen değeri (örn. Fe or Al) ve  $B_{ref}$  ise referans elementin referans ortamdaki değerini göstermektedir. Çalışmalarda farklı referans elementler kullanılabilir. Örneğin Fe kullanılan çalışmalar (Almasoud vd. 2014), Mn ve Li kullanılan çalışmalar (Jamshidi-Zanjani ve Saeesi 2013) ya da Al kullanılan çalışmalar (Pastorinho vd. 2012) mevcuttur. Seçilen yöntemlerden biri de 1969 yılında Müller tarafından geliştirilmiş olan jeoakümülyasyon indeksidir ( $I_{geo}$ ).

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n} \quad (5)$$

Formüldeki  $C_n$  ölçülen metal miktarını,  $B_n$  değeri ölçülen metalin referans değerini, 1,5 ise doğal dalgalanma katsayısını ifade etmektedir. Tomlinson vd. (1980)'nin ortaya koyduğu kirlilik yüklemeye indeksi (PLI) de çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

$$PLI = (C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \dots \times C_{fn})^{1/n} \quad (6)$$

$C_f$  kontaminasyon faktörünü, n ise çalışılan toplam metal sayısını göstermektedir. Hakanson tarafından ilk kez kullanılan ve kontaminasyonun ortamdaki canlılara olan etkisini gösteren Potansiyel ekolojik risk faktörü ( $E_r^i$ ) de belirtilen formülle hesaplanmaktadır (Hakanson 1980).

$$Er^i = T_r^i \times \frac{C_i}{C_o} \quad (7)$$

Formüldeki  $T_r^i$  toksik cevap faktörünü  $C_i$  örneklerdeki metal miktarını ve  $C_o$  ise referans değeri belirtmektedir. Potansiyel ekolojik risk faktörü belirlendikten sonra devamında bu değer kullanılarak potansiyel ekolojik risk indeksi hesaplanabilir (Hakanson 1980).

$$RI = \sum_{i=1}^8 Er^i \quad (8)$$

$Er^i$  potansiyel ekolojik risk faktörünü, 8 ise toksik cevap faktörü belirlenen 8 metali (Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr, Zn) göstermektedir. Fakat Mn ve Ni gibi bazı metallere toksik cevap faktörleri belirlenerek denkleme eklenmiştir (Xu vd. 2008). Sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri ortalama etki aralığı medyanı oranı (m-ERM-Q) ve bir diğeri de ortalama muhtemel etki seviyesi oranı (m-PEL-Q)'dır (Carr vd. 1996, Long vd. 1998).

$$m - ERM - Q = \frac{\sum_{i=1}^n C_i/ERM_i}{n} \quad (9)$$

$$m - PEL - Q = \frac{\sum_{i=1}^n C_i/PEL_i}{n} \quad (10)$$

$C_i$  çalışılan metalin ortamdaki değeri, ERM çalışılan metalin etki aralığı medyanını, PEL çalışılan metalin ortalama muhtemel etki seviyesini, n ise çalışılan metal sayısını göstermektedir. Çalışma kapsamımızdaki metallerin canlılara etkisini araştırmak için de toksik üniteler toplamı ( $\Sigma$  TUs) ve oransal toksik unite değerleri hesaplanmıştır. Toksik üniteler toplamı metal miktarlarının, belirtilen metallere ait PEL (Probable effect level: muhtemel etki seviyesi) değerine oranlanması ile elde edilirken, oransal toksik unite de her elemente ait toksik unite değerinin toplam toksik unite de ki oranının yüzde cinsinden ifadesini göstermektedir.

$$\Sigma TUs = \sum_{i=1}^n C_i/PEL_{C_i} \quad (11)$$

$$OransalTU = \frac{C_i/PEL_{C_i}}{\Sigma TUs} \times 100 \quad (12)$$

$C_i$  çalışılan metalin ortamdaki konsantrasyonunu,  $PEL_{C_i}$  çalışılan metalin PEL değerini, n ise çalışılan toplam metal sayısını vermektedir (Long ve Morgan 1991, Smith vd. 1996, Hahladakis vd. 2013).

### 3.4.1 Kirlilik yükü indeksi (PIN)

$$PIN = \sum_{i=1}^n \frac{W_i^2 C_i}{B_{1i}} \quad (13)$$

$W_i$ : kirlenme derecesini içeren kirletici sınıfıdır ( $n = 1$ 'den $5$ 'e);

$C_i$ :  $i$  kontaminantının konsantrasyonu;

$B_{1i}$ :  $i$  kontaminantının sınıfı

Yukarıda belirtilen mevzuat uyarınca sediment kalitesi, temiz sedimentten çok kirli sedimente kadar beş kategoride sınıflandırılabilir (Dr 1995, Caeiro vd. (2005) (Çizelge 3.1). PIN (kirlilik yükü indeksi) değerleri 1 ile 5 arasında nominal ölçekte normalleştirilip eşik değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Her indeks eşik sınıfı için  $W_i$  ve  $C_i$  değerleri kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar; 1. Sınıf (temiz): [0–7], 2. Sınıf (eser kirli): [7–95,1], 3. Sınıf (az kirli): [95,1– 518,1], 4. Sınıf (kirli): [518,1–2548,6] ve 5. Sınıf (çok kirli): [2548,6–∞] bu değerlere göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.2 Dr 1995'e göre kıyısız zona dağılmış materyalin sınıflandırılması

Sınıflandırma/ Kirleticiler (mg/kg)	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Cr	Hg
1. Sınıf: temiz materyal	<1	<50	<100	<35	<20	<50	<0,5
2. Sınıf: eser kirlenmiş materyal	1-3	50-150	100-600	35-150	20-50	50-100	0,5-1,5
3. Sınıf: az kirlenmiş materyal	3-5	150-500	600-1500	150-300	50-100	100-400	1,5-3,0
4. Sınıf: kirlenmiş materyal	5-10	500-1000	1500-5000	300-500	100-500	400-1000	3,0-10
5. Sınıf: çok kirlenmiş materyal	>10	>1000	>5000	>500	>500	>1000	>10

### **3.5 İstatistiksel Analiz**

Su ve sediment örneklerindeki ağır metal konsantrasyonu SPSS (22.0) programı kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler Kolmogorov-Smirnov testine tabi tutularak normal dağılıma uygunlukları incelenmiştir. Dağılımları normalleştirmek için uygun olmayan verilere Log-transform uygulanmıştır. Levene Testi ile uygunluğu değerlendirilen verilere çoklu karşılaştırma testi uygulanması için homojen dağılım gösterenlere Tukey, heterojen dağılım gösterenlere ise Tamhane Testi uygulanmıştır. Logaritmik transformasyon sonrasında da normal dağılıma uymayan verilere; parametrik olmayan Kruskal-Wallis ve Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. Testler %95'lik anlam düzeyindedir. Ayrıca sonbahar ve ilkbahar dönemleri için 11 istasyonun metal ilişkisi Korelasyon ve Cluster analizleri ile değerlendirilmiştir.

#### **3.5.1 Korelasyon analizi**

Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin varlığını ve bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu belirlemek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir.

Korelasyon analizi, iki tür değişken arasındaki ilişkileri değerlendirmek için kullanılır. Bağımsız değişken, bağımlı değişkenin tahmin edilmesinde kullanılan değerdir.

Korelasyon analizi sonuçları, korelasyon katsayısı olarak ifade edilir. Korelasyon katsayısı, değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü gösteren ve -1 ile +1 arasında değişen bir sayıdır. Korelasyon değerinde; 1, tam ters yönlü mükemmel negatif korelasyonu, +1, tam ters yönlü mükemmel pozitif korelasyonu ve 0, herhangi bir korelasyon olmadığını gösterir.

Analiz, bu çalışmada; su ve sediment örnekleri ile metal birikimleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için kullanılmıştır.

Öncelikle tüm sonuçlar, veri dağılım normalliğini gözlemlemek için Kolmogorov-Smirnov testine tabi tutulmuştur. Verilerin parametrik olması durumunda Pearson, nonparametrik olması durumunda Spearman testleri uygulanmıştır.  $p < 0,05$  ve  $p < 0,01$  anlamlılık kriterleri kullanılmıştır. İncelenen örnekler, -1'den ve 1'den 0'a gittikçe korelasyonda azalma esasına dayanarak değerlendirilmiştir. Korelasyon dereceleri; 0,50- 0,70 arası orta, 0,70-0,90 yüksek, 0,91 ve üstü değerler çok yüksek olarak değerlendirilmiştir.

### 3.5.2 Kümeleme (Cluster) analizi

Faktör analizi, kümeleme analizi, temel bileşenler analizi ve ayırım analizi gibi çok değişkenli istatistiksel ve tarafsız metotlar su kalitesi veri analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kümeleme (Cluster) analizi, bir veri setindeki benzer özelliklere sahip gözlemleri birbirine yakın gruplar (kümeler) halinde birleştirerek veri setinin daha anlamlı bir şekilde incelenmesini sağlayan istatistiksel bir yöntemdir.

Kümeleme analizi, genellikle veri setindeki gözlemlerin sayısı çok olduğunda, benzer gözlemleri bir araya getirerek daha küçük ve anlamlı alt gruplar oluşturmak için kullanılır. Analiz sonunda elde edilen kümelerin kendi içlerinde homojen, kendi aralarında ise heterojen bir yapıda olmaları beklenir (Aydın ve Tunca 2022).

Kümeleme analizinde, benzer özelliklere sahip gözlemleri belirlemek için birçok farklı yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler arasında aglomere (birleştirici) ve bölücü olmak üzere iki ana kategori bulunmaktadır. Aglomere yöntemleri, her gözlemi ayrı bir küme olarak başlatır ve benzer gözlemleri bir araya getirerek büyük kümeler oluştururken, bölücü yöntemler tam tersine, tüm gözlemleri bir kümede başlatır ve daha sonra benzer gözlemleri ayrı kümeler olarak ayırır.

Bu çalışmada kümeleme analizi metal birikim sonuçlarını karakterize etmek için kullanılmıştır. Hiyerarşik kümeleme, klid mesafesi (Euclidean distances) ve Ward yöntemine (Ward's method) göre gerçekleştirilmiş, veriler Z skorları (Z-scores) kullanılarak standardize edilmiştir.



## 4. BULGULAR VE YORUMLAR

### 4.1 Sapanca Gölü Su Örneklerinin Ağır Metal Karakterizasyonu

Bu çalışmada Sapanca Gölü su ve sediment örneklerinin ihtiva ettiği 'Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Co, Cr, Cd ve Al' ağır metallerinin ve bir metalloid olan 'As' düzeylerinin konsantrasyonları araştırılmıştır (Çizelge 1-4). Bu örneklerdeki mevsimsel birikim incelendiğinde Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Co, Cr, Cd ve Al ağır metallerinin birikiminin tespit edilemediği sadece As metalloidin birikim gösterdiği bulunmuştur. Mevsimlere göre As birikimi incelendiğinde sonbahar döneminde birikimin ilkbahar dönemine göre daha yüksek olduğu söylenebilir. 7. İstasyondaki As birikiminin her mevsimde diğer istasyonlara göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Bilici Başkan ve Pala tarafından (2009) çalışmalarında Türkiye'de özellikle batı bölgelerdeki içme sularının arsenik içeriğinin yasal limitlerin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Su örnekleri istasyon bazında değerlendirildiğinde, bazı istasyonlarda Al, Mn, Fe ve Cu konsantrasyonlarında anlık, stabil olmayan artışlar olduğu dikkat çekmektedir. Bunun sebebinin sedimentte yaşayan bir canlının anlık olarak sedimentte bir hareketlilik oluşturmuş olabileceği ve sedimentte bulunan metallerin suya karışmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sürekliliği olmayan bu ani artışların miktarı da su kalitesi standartlarına göre düşük konsantrasyonlarda olduğu için, anlamlı bir birikim olarak değerlendirilmemektedir.

Çizelge 4.1 2020 Sonbahar 1. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları

	<b>Metaller</b>										
	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>1. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,6	T.E.	T.E.
<b>2. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,4	T.E.	T.E.
<b>3. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,8	T.E.	T.E.
<b>4. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,6	T.E.	T.E.
<b>5. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	1,1	T.E.	3,3	T.E.	T.E.
<b>6. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,7	T.E.	T.E.
<b>7. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	1,9	T.E.	T.E.	T.E.	2,4	T.E.	4,0	T.E.	T.E.
<b>8. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,1	T.E.	3,4	T.E.	T.E.
<b>9. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,6	T.E.	T.E.
<b>10. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,7	T.E.	T.E.
<b>11. İstasyon</b>	26,6	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,7	T.E.	T.E.
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>3,6</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>

TE: Tespit Edilemedi

Çizelge 4.2 2021 İlkbahar 2. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları

	<b>Metaller</b>										
	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>1. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,6	T.E.	T.E.
<b>2. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,4	T.E.	T.E.
<b>3. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,8	T.E.	T.E.
<b>4. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,6	T.E.	T.E.
<b>5. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,3	T.E.	T.E.
<b>6. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,7	T.E.	T.E.
<b>7. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	4,0	T.E.	T.E.
<b>8. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,2	T.E.	3,4	T.E.	T.E.
<b>9. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,6	T.E.	T.E.
<b>10. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,7	T.E.	T.E.
<b>11. İstasyon</b>	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,7	T.E.	T.E.
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>3,6</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>

TE: Tespit Edilemedi

Çizelge 4.3 2021 Sonbahar 3. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları

	Metaller										
	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cd
1. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,4	T.E.	T.E.
2. İstasyon	T.E.	T.E.	2,3	T.E.	T.E.	T.E.	2,8	T.E.	3,1	T.E.	T.E.
3. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,2	T.E.	T.E.
4. İstasyon	T.E.	T.E.	0,7	T.E.	T.E.	T.E.	2,0	T.E.	3,3	T.E.	T.E.
5. İstasyon	T.E.	T.E.	1,8	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,4	T.E.	T.E.
6. İstasyon	T.E.	T.E.	1,6	T.E.	T.E.	T.E.	1,4	T.E.	3,1	T.E.	T.E.
7. İstasyon	T.E.	T.E.	2,0	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,4	T.E.	T.E.
8. İstasyon	31,4	T.E.	2,1	27,2	T.E.	T.E.	1,8	T.E.	3,1	T.E.	T.E.
9. İstasyon	T.E.	T.E.	1,1	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,2	T.E.	T.E.
10. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	1,2	T.E.	3,2	T.E.	T.E.
11. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,3	T.E.	T.E.
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>3,2</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>

TE: Tespit Edilemedi

Çizelge 4.4 2022 İlkbahar 4. arazi su örnekleri ölçüm sonuçları

	Metaller										
	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cd
1. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	1,9	T.E.	T.E.
2. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,9	T.E.	T.E.
3. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,8	T.E.	T.E.
4. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,7	T.E.	T.E.
5. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,3	T.E.	T.E.
6. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,6	T.E.	T.E.
7. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	1,4	T.E.	2,8	T.E.	T.E.
8. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,7	T.E.	T.E.
9. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	2,6	T.E.	T.E.
10. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	1,9	T.E.	2,6	T.E.	T.E.
11. İstasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	3,0	T.E.	2,6	T.E.	T.E.
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>	<b>2,6</b>	<b>T.E.</b>	<b>T.E.</b>

TE: Tespit Edilemedi

## 4.2 Sapanca Gölü Sediment Örneklerinin Ağır metal Karakterizasyonu

Sedimentte ağır metal birikim miktarları tespiti sonucunda 2020 sonbahar ağır metal birikim sıralamasının Fe>Al>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Pb>As>Co>Cd şeklinde olduğu, 2021 ilkbahar sıralamasının da 2020 sonbahar dönemi verileri ile benzerlik gösterdiği Fe>Al>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Pb>As>Co>Cd şeklinde olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.5-4.8). 2021 sonbahar dönemi verilerine baktığımızda Fe>Al>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Co>Pb>As>Cd şeklinde olduğu bulunmuştur. 2022 ilkbahar dönemi için ise Fe>Al>Mn>Ni>Cr>Cu>Zn>Co>Pb>As>Cd şeklinde bir sıralama tespit edilmiştir. Her mevsim en az birikim yapan ağır metalin Cd, en fazla birikim yapanın ise Fe olduğu bulunmuştur. İlkbahar döneminde; Al, Fe, Cu, As ve Cd metalleri daha fazla birikim gösterirken, sonbahar döneminde; Cr, Mn, Co, Ni ve Zn metallerinin daha fazla birikim yaptığı gözlenmiştir. Pb metali ise hem ilkbahar hem de sonbaharda aynı birikimi göstermiştir.

Çizelge 4.5 2020 Sonbahar 1. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları

	<b>Metaller</b>										
	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>1. İstasyon</b>	5.237,0	29,1	255,0	10.924,0	6,3	35,8	12,8	29,6	6,6	9,4	<0,0515
<b>2. İstasyon</b>	2.578,0	19,1	184,0	4.208,0	3,5	24,6	7,3	14,2	6,2	4,1	<0,05
<b>3. İstasyon</b>	5.370,0	48,9	287,0	7.299,0	7,1	58,2	11,0	18,1	3,2	4,9	<0,05
<b>4. İstasyon</b>	5.783,0	79,4	402,0	10.045,0	11,0	97,7	20,7	26,3	4,1	7,8	0,1
<b>5. İstasyon</b>	9.872,0	76,4	560,0	19.042,0	12,9	88,1	33,4	79,5	16,8	29,3	0,3
<b>6. İstasyon</b>	7.080,0	39,2	391,0	16.087,0	7,8	45,5	24,3	48,7	19,7	17,6	0,2
<b>7. İstasyon</b>	11.518,0	67,4	878,0	19.546,0	11,9	74,8	26,7	61,7	13,2	23,3	0,2
<b>8. İstasyon</b>	6.237,0	28,5	397,0	11.318,0	6,6	33,2	15,2	34,6	9,5	13,6	0,1
<b>9. İstasyon</b>	7.391,0	27,1	359,0	15.278,0	8,9	36,8	19,6	45,9	18,2	20,6	0,1
<b>10. İstasyon</b>	6.979,0	31,8	356,0	14.106,0	8,4	40,1	18,0	40,7	12,3	18,3	0,1
<b>11. İstasyon</b>	4.915,0	23,0	220,0	12.569,0	6,5	31,9	14,3	35,8	10,4	10,5	0,1
<b>Toplam</b>	<b>72.960,0</b>	<b>470,0</b>	<b>4.289,0</b>	<b>140.421,0</b>	<b>91,0</b>	<b>567,0</b>	<b>203,0</b>	<b>435,0</b>	<b>120,0</b>	<b>159,0</b>	<b>1,0</b>
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>6.632,8</b>	<b>42,7</b>	<b>389,9</b>	<b>12.765,5</b>	<b>8,3</b>	<b>51,5</b>	<b>18,5</b>	<b>39,5</b>	<b>10,9</b>	<b>14,5</b>	<b>0,1</b>

Çizelge 4.6 2021 ilkbahar 2. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları

	<b>Metaller</b>										
	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>1. İstasyon</b>	5238,0	29,3	257,0	11002,0	6,3	36,1	12,9	29,6	6,6	9,4	<0,05
<b>2. İstasyon</b>	2678,0	19,2	186,0	4301,0	3,5	24,8	7,4	14,3	6,2	4,1	<0,05
<b>3. İstasyon</b>	5371,0	49,0	289,0	7301,0	7,1	58,3	11,4	18,2	3,2	4,9	<0,05
<b>4. İstasyon</b>	5783,0	79,5	404,0	10047,0	11,2	98,0	20,8	26,3	4,1	7,9	0,1
<b>5. İstasyon</b>	9910,0	76,7	568,0	19110,0	13,0	88,2	33,7	79,6	16,9	29,7	0,3
<b>6. İstasyon</b>	7102,0	40,2	392,0	16197,0	7,9	45,7	24,7	48,8	19,9	17,8	0,2
<b>7. İstasyon</b>	11519,0	68,4	881,0	19547,0	11,9	75,1	27,1	61,6	13,5	23,7	0,2
<b>8. İstasyon</b>	6237,0	28,8	398,0	11321,0	6,6	33,9	15,5	34,8	10,0	13,6	0,1
<b>9. İstasyon</b>	7395,0	27,2	359,0	15279,0	8,9	37,1	19,8	46,0	18,8	21,5	0,2
<b>10. İstasyon</b>	6979,0	32,0	357,0	14110,0	8,5	40,3	18,0	40,8	12,7	18,7	0,1
<b>11. İstasyon</b>	4927,0	23,1	221,0	12571,0	6,6	32,0	14,7	36,2	10,6	10,9	0,1
<b>Toplam</b>	<b>73139,0</b>	<b>473,4</b>	<b>4312,0</b>	<b>14078,0</b>	<b>91,3</b>	<b>569,5</b>	<b>206,0</b>	<b>436,2</b>	<b>122,5</b>	<b>162,1</b>	<b>1,2</b>
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>6649,0</b>	<b>43,0</b>	<b>392,0</b>	<b>1279,8</b>	<b>8,3</b>	<b>51,8</b>	<b>18,7</b>	<b>39,7</b>	<b>11,1</b>	<b>14,7</b>	<b>0,1</b>

Çizelge 4.7 2021 sonbahar 3. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları

	<b>Metaller</b>										
	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>1. İstasyon</b>	1890,0	126,5	899,0	2750,0	20,2	160,7	38,2	60,7	13,1	13,0	0,1
<b>2. İstasyon</b>	1740,0	93,7	947,0	2350,0	13,5	117,2	29,1	54,2	11,9	13,5	0,1
<b>3. İstasyon</b>	2610,0	179,4	1272,0	3270,0	25,9	230,5	45,4	65,0	15,5	14,9	0,2
<b>4. İstasyon</b>	1500,0	105,7	919,0	2140,0	17,0	133,2	26,2	43,4	9,4	10,5	0,1
<b>5. İstasyon</b>	2250,0	184,4	1067,0	3060,0	26,6	238,4	43,5	58,7	9,5	12,6	0,1
<b>6. İstasyon</b>	2470,0	466,3	1490,0	4490,0	62,6	756,9	60,1	53,8	7,2	9,1	0,1
<b>7. İstasyon</b>	2400,0	420,0	1239,0	4190,0	53,2	656,2	55,3	57,0	7,7	9,1	0,1
<b>8. İstasyon</b>	2480,0	412,8	1143,0	4060,0	52,3	608,7	59,4	65,4	7,4	11,0	0,1
<b>9. İstasyon</b>	2350,0	312,3	1340,0	3800,0	34,3	322,6	60,5	64,0	4,9	11,5	0,1
<b>10. İstasyon</b>	2520,0	216,9	1319,0	3730,0	35,0	276,5	70,2	74,9	7,7	14,9	0,1
<b>11. İstasyon</b>	2130,0	146,4	1058,0	2810,0	21,3	161,9	45,0	67,5	12,2	16,1	0,2
<b>Toplam</b>	<b>24340,0</b>	<b>2664,4</b>	<b>12,7</b>	<b>36650,0</b>	<b>361,9</b>	<b>3662,8</b>	<b>533,1</b>	<b>664,6</b>	<b>106,5</b>	<b>136,3</b>	<b>1,3</b>
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>2212,7</b>	<b>242,2</b>	<b>1153,9</b>	<b>3331,8</b>	<b>32,9</b>	<b>333,0</b>	<b>48,5</b>	<b>60,4</b>	<b>9,7</b>	<b>12,4</b>	<b>0,1</b>

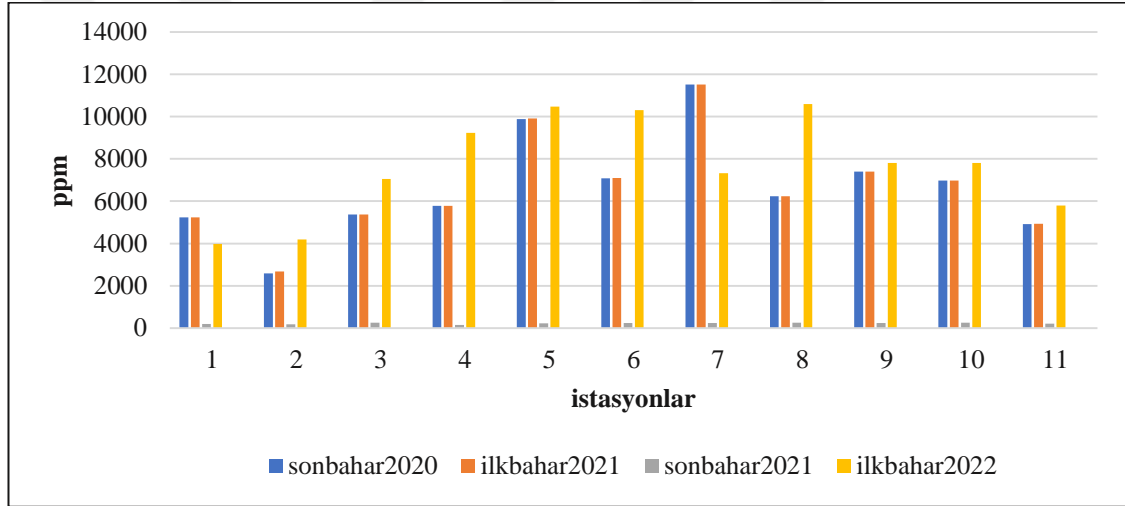
Çizelge 4.8 2022 İlkbahar 4. arazi sediment örnekleri ölçüm sonuçları

	<b>Metaller</b>										
	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>1. İstasyon</b>	3.975,0	31,0	242,0	15.118,0	6,8	42,3	13,5	38,9	6,5	6,9	0,4
<b>2. İstasyon</b>	4.190,0	36,0	293,0	13.636,0	6,0	56,0	12,7	25,1	7,6	6,2	0,3
<b>3. İstasyon</b>	7.046,0	42,9	493,0	18.203,0	9,9	69,0	17,0	32,0	10,6	9,8	0,5
<b>4. İstasyon</b>	9.234,0	58,0	772,0	27.121,0	13,0	104,0	25,2	47,9	11,0	13,3	0,7
<b>5. İstasyon</b>	10.469,0	110,0	754,0	36.206,0	29,0	277,0	344,6	43,3	7,5	11,4	0,7
<b>6. İstasyon</b>	10.303,0	99,0	825,0	35.081,0	22,0	185,0	45,3	58,0	8,6	14,0	0,6
<b>7. İstasyon</b>	7.315,0	40,5	302,0	21.604,0	8,8	60,3	22,3	60,8	11,5	15,9	0,8
<b>8. İstasyon</b>	10584,0	55,0	675,0	29835,0	12,0	90,0	26,7	61,7	11,2	18,9	<0.500
<b>9. İstasyon</b>	7811,0	38,0	728,0	19974,0	8,0	53,0	16,8	39,5	10,0	11,6	<0.500
<b>10. İstasyon</b>	7805,0	24,0	182,0	20665,0	7,2	33,7	16,4	36,6	13,0	13,5	<0.500
<b>11. İstasyon</b>	5790,0	28,0	735,0	20684,0	7,9	39,0	16,1	39,8	13,4	12,5	<0.500
<b>Toplam</b>	<b>84522,0</b>	<b>562,4</b>	<b>6001,0</b>	<b>258127,0</b>	<b>130,6</b>	<b>1009,3</b>	<b>556,6</b>	<b>483,6</b>	<b>110,9</b>	<b>134,0</b>	<b>4,1</b>
<b>Ortalama mg/g</b>	<b>7683,8</b>	<b>51,1</b>	<b>545,5</b>	<b>23466,1</b>	<b>18,9</b>	<b>91,8</b>	<b>50,6</b>	<b>44,0</b>	<b>10,1</b>	<b>12,2</b>	<b>0,6</b>

### 4.3 Sedimentte Birikim Yapan Ağır Metallerin İncelenmesi

#### 4.3.1 Alüminyum

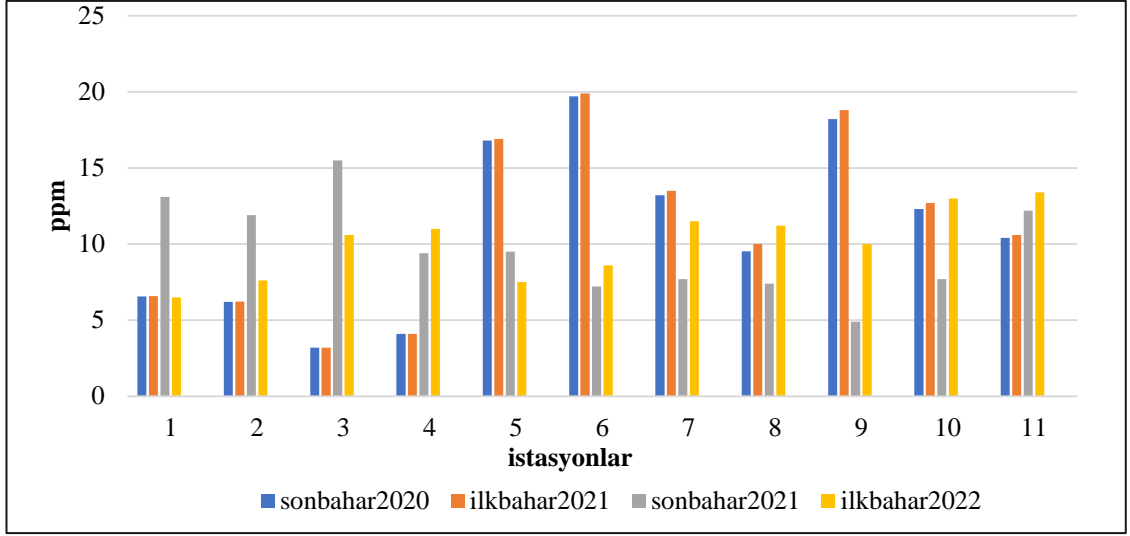
Alüminyum birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.1) en fazla birikimin 7. İstasyonda ve en az birikim de 2. İstasyonda olduğu gözlemlenmiştir. Birikim miktarı her istasyon için en az 2021 sonbahar döneminde gözlemlenirken, 1. ve 7. İstasyonlar dışında en yüksek birikimin 2022 ilkbahar döneminde olduğu gözlemlenmektedir. 1. ve 7. İstasyonlarda ise 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde en yüksek birikim gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1 Alüminyum metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.2 Arsenik

Arsenik birikim grafiği incelendiğinde (Çizelge 4.2); birikimin istasyonlarda, dönemler arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmektedir. 1., 2., ve 3. İstasyonlarda en yüksek birikimin 2021 sonbahar döneminde, 4., 8., 10. ve 11. İstasyonlarda 2022 ilkbahar döneminde ve 5., 6., 7. ve 9. İstasyonlarda ise 2020 sonbahar ile 2021 ilkbahar dönemlerinde olduğu tespit edilmiştir. En az birikim ise 3. İstasyonda 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde gözlemlenirken, en yüksek birikim yine aynı dönemlerde 6. İstasyonda gözlemlenmektedir.

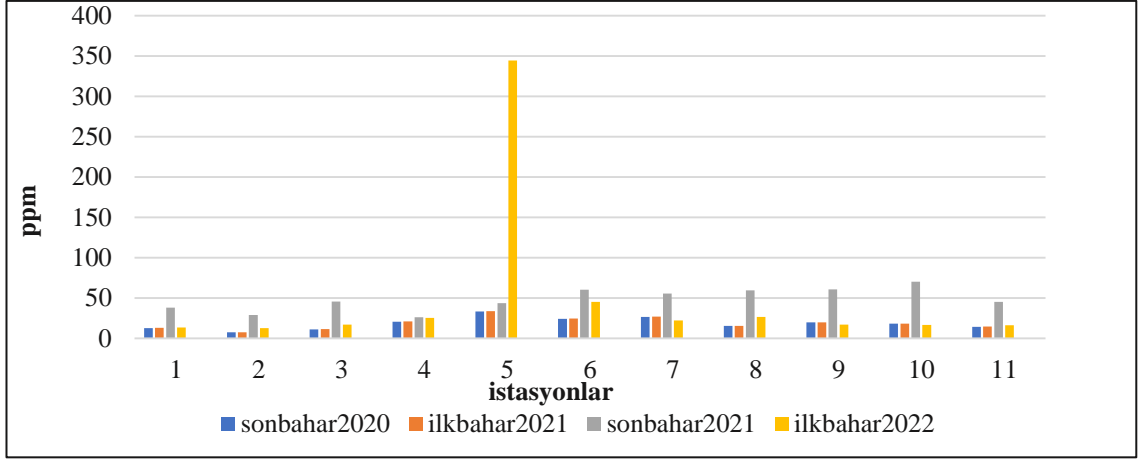


Şekil 4.2 Arsenik metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.3 Bakır

Bakır birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.3); 5. istasyonda 2022 ilkbahar döneminde ciddi bir birikim olduğu, bu istasyon dışında diğer tüm istasyonlarda en yüksek birikimin 2021 sonbahar döneminde olduğu gözlemlenmektedir. En düşük birikim ise 7., 9. ve 10. İstasyonlar dışında 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar döneminde gözlenmektedir. Bahsi geçen istasyonlarda ise en düşük birikim 2022 ilkbahar döneminde tespit edilmiştir.

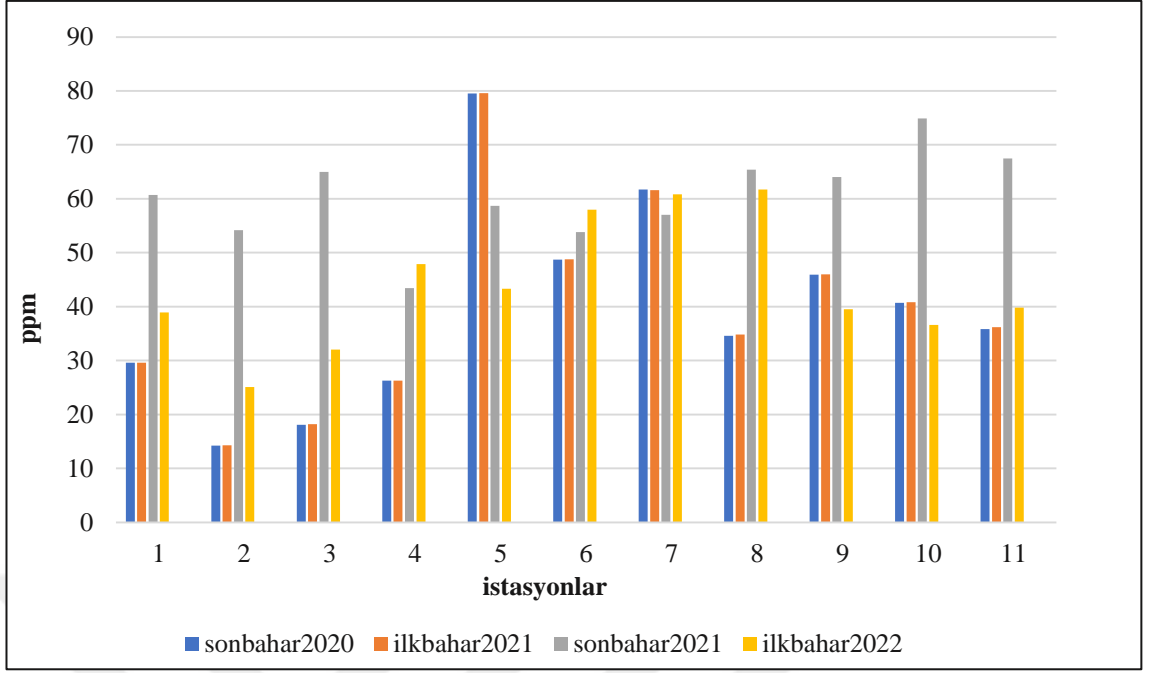
5. istasyondaki bakır konsantrasyonu artışının bölgeye yakın bir alanda faaliyet gösteren otomotiv şirketinin oluşturduğu evsel ve endüstriyel atıksuların istasyon yakınlarında bulunan sarp deresi vasıtasıyla göle giriş yapmış olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Oldukça geniş bir faaliyet alanı olan otomotiv üretimi, metallerin şekillendirilmesi, çözücüler kullanılarak parçaların temizlenmesi, asitleme ve kaplama gibi işlemlerin uygulandığı bir sektördür. Bu işlemler sonrası ortaya yoğun miktarda katı, sıvı ve gaz atıklar çıkmaktadır. Bu atıkların bir kısmı arıtılabilirken bir kısmı da doğal ortama verilerek toprağa ve havaya buralardan da sucul sisteme karışmaktadır (Katip vd. 2014).



Şekil 4.3 Bakır metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.4 Çinko

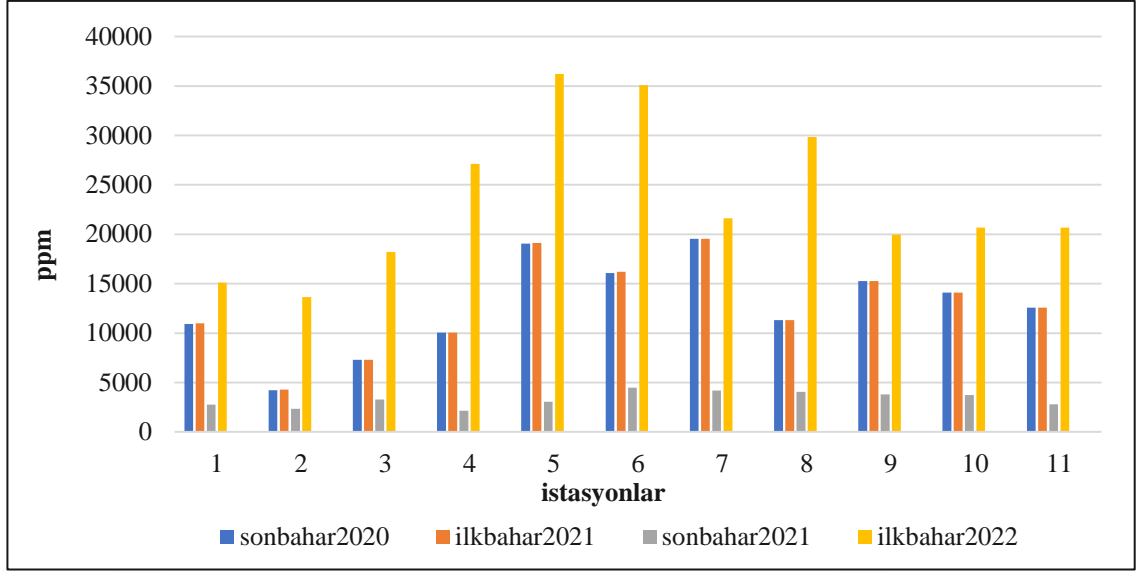
Çinko birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.4); 4., 5., 6. ve 7. İstasyonlar dışında en yüksek birikimin 2021 sonbahar döneminde gerçekleştiği, 5.ve 7. İstasyonlarda en yüksek birikimin 2020 sonbahar ile 2021 ilkbahar dönemlerinde gerçekleştiği görülmektedir. 4. ve 6. İstasyonda ise 2022 ilkbahar dönemi için en yüksek çinko birikiminin olduğu gözlemlenmektedir. En yüksek birikim 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde 5. İstasyonda gözlemlenirken, en düşük birikim yine aynı dönemde 2. İstasyonda tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 Çinko metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.5 Demir

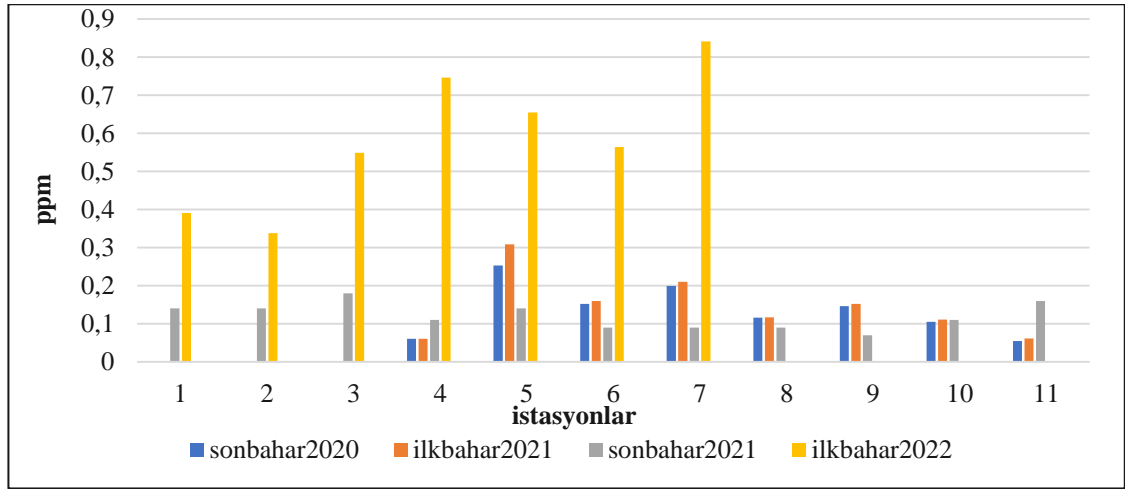
Demir birikim grafiğine göre (Şekil 4.5) tüm istasyonlarda en çok birikimin 2022 ilkbahar döneminde, en az birikimin ise 2021 sonbahar döneminde gerçekleştiği görülmektedir. Genel olarak en az birikim 2. İstasyonda gözlenmektedir. Diğer metaller ile benzer şekilde 2020 sonbahar dönemi ve 2021 ilkbahar dönemi benzer birikim göstermektedir. Bu dönemlere ait en yüksek birikim 7. İstasyonda gözlenirken, en düşük birikim ise 2. İstasyonda gözlenmektedir.



Şekil 4.5 Demir metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.6 Kadmiyum

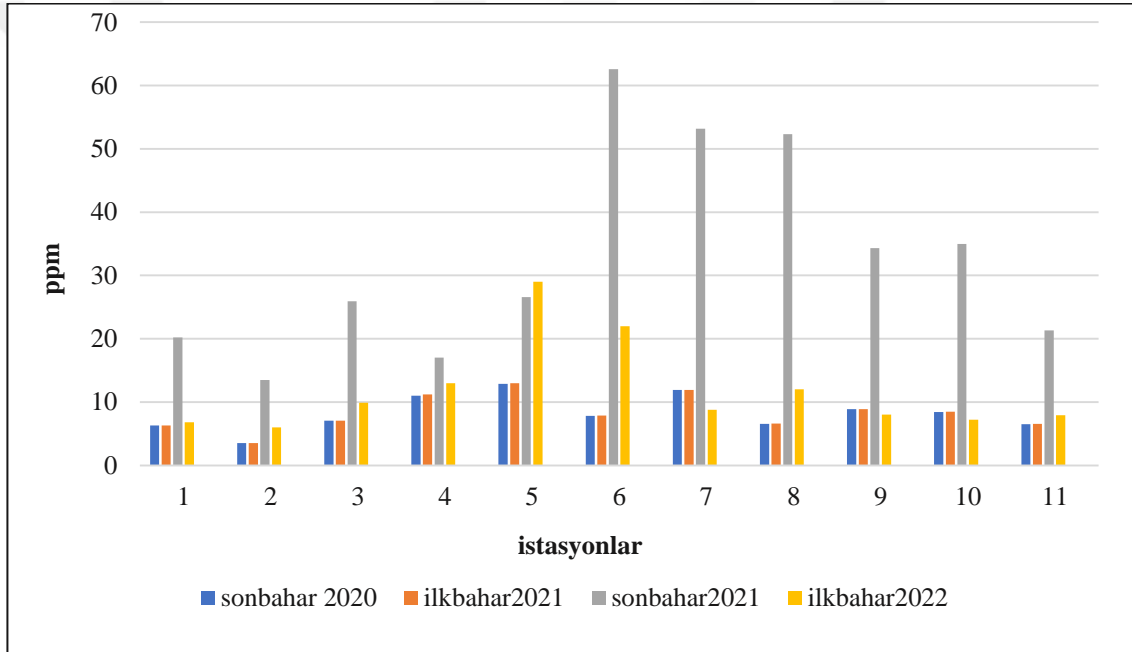
Kadmiyum birikim grafiğine bakıldığında (Şekil 4.6); en yüksek birikimin 7. İstasyonda 2022 ilkbahar döneminde olduğu gözlemlenmektedir. 1., 2., ve 3. İstasyonlarda 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde birikim gözlenmezken, 8., 9., 10. ve 11. İstasyonlarda da 2022 ilkbahar döneminde birikim olmadığı gözlenmektedir.



Şekil 4.6 Kadmiyum metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.7 Kobalt

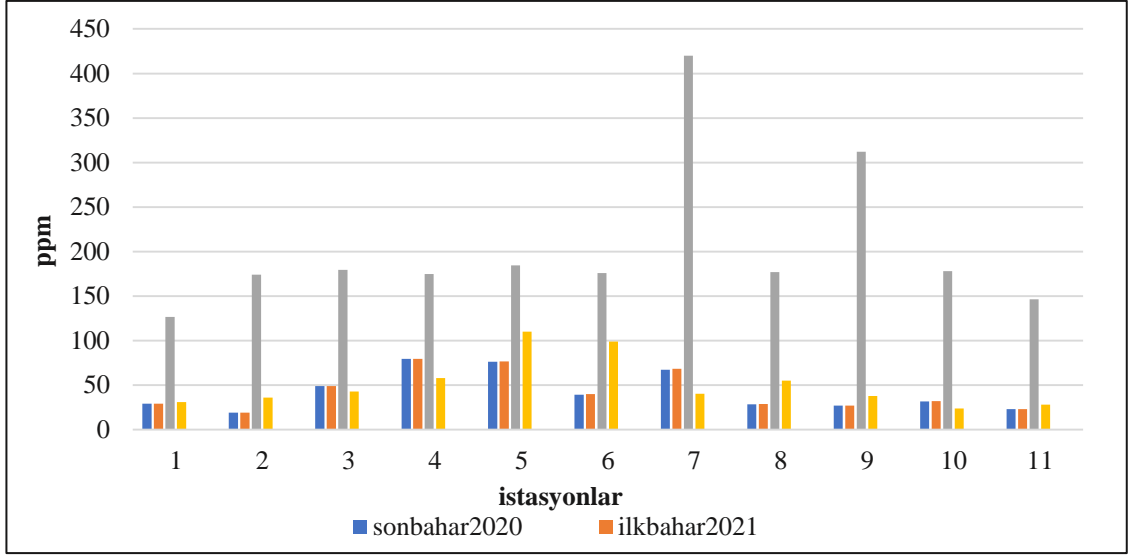
Kobalt birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.7); Mangan ve krom metallerine benzer şekilde kobalt da 2021 sonbahar döneminde en yüksek birikimini gösterdiği görölmektedir. En yüksek birikim 6. İstasyonda 2021 sonbahar döneminde gerçekteşmiştir. 7., 9. ve 10. İstasyonlarda en düşük birikim 2022 ilkbahar dönemindeyken, 1., 2., 3., 4., 5., 6., 8. ve 11. İstasyonlarda en düşük birikimler 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde gözlenmektedir.



Şekil 4.7 Kobalt metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.8 Krom

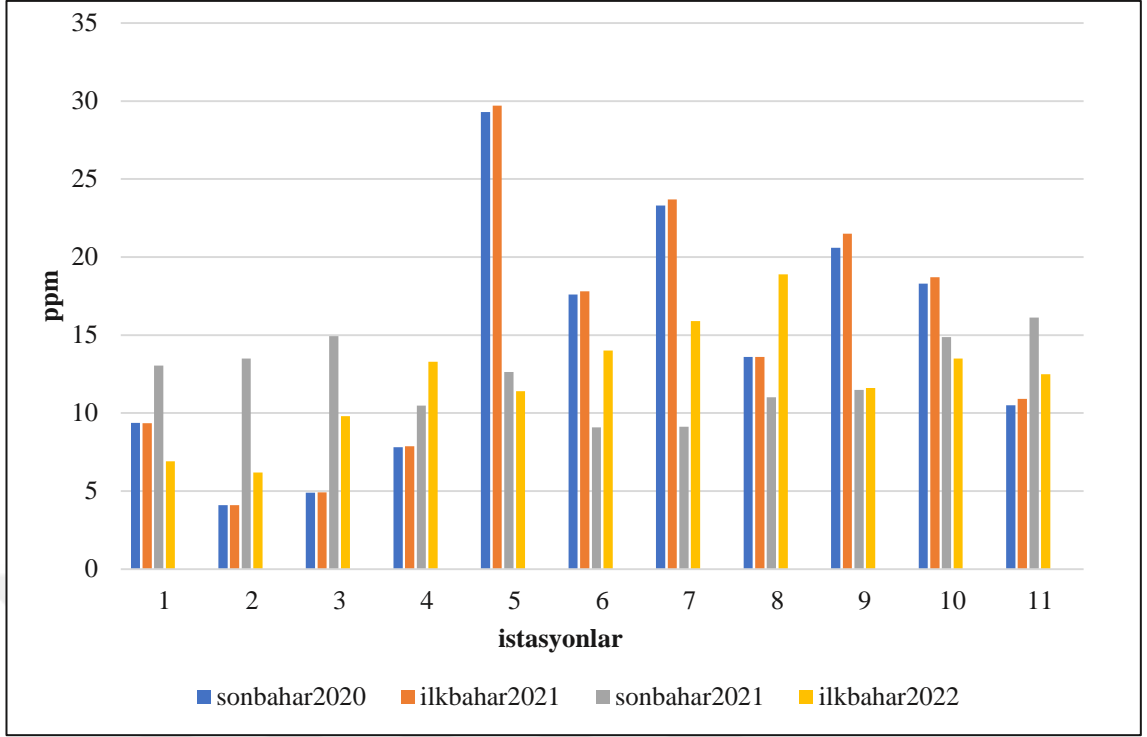
Krom birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.8); en yüksek birikimin bütün istasyonlarda 2021 sonbahar döneminde, en düşük birikimin ise 1., 2., 5., 6., 8., 9., ve 11. istasyonlarda 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde 3., 4., 7., ve 10. İstasyonlarda ise 2022 ilkbahar döneminde olduğu gözlenmektedir. Krom metali açısından en düşük birikim ise 1. İstasyonda tespit edilmiştir.



Şekil 4.8 Krom metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.9 Kurşun

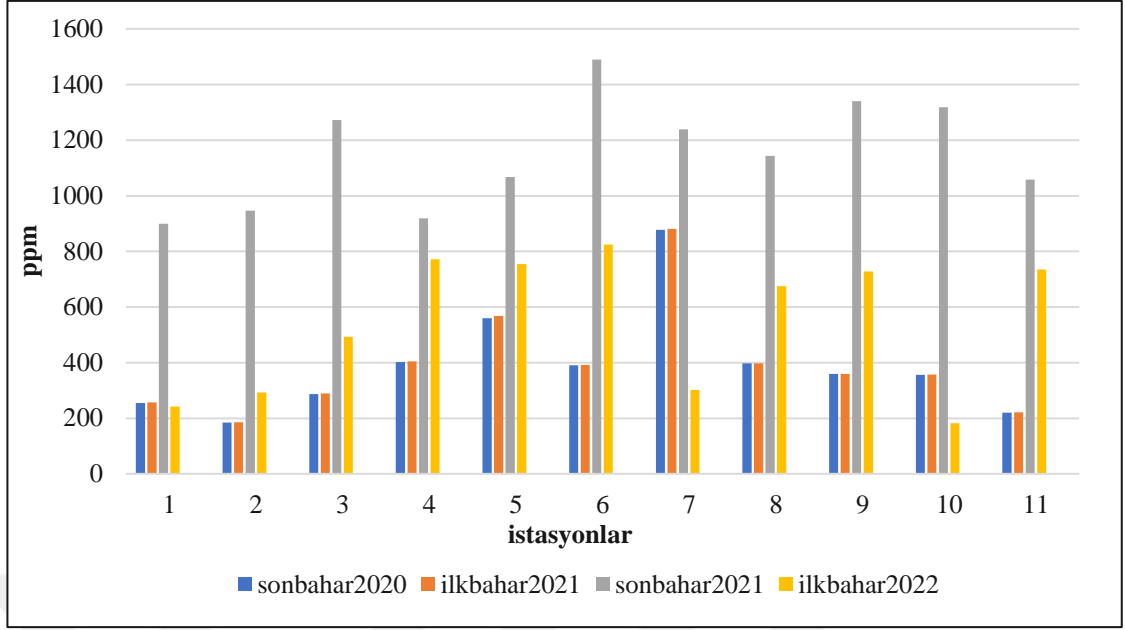
Kurşun birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.9); En yüksek birikimin 5. İstasyonda 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde gerçekleştiği, en az birikimin ise yine aynı dönemlerde 2. İstasyonda gerçekleştiği gözlemlenmektedir. 1., 2., 3. ve 11. İstasyonlarda en yüksek birikim 2021 sonbahar döneminde, 5., 6., 7., 9. ve 10. İstasyonlarda ise 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde gerçekleştiği bulunmuştur. 4. ve 8. İstasyonlarda ise en yüksek birikim 2022 ilkbahar döneminde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.9 Kurşun metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.10 Mangan

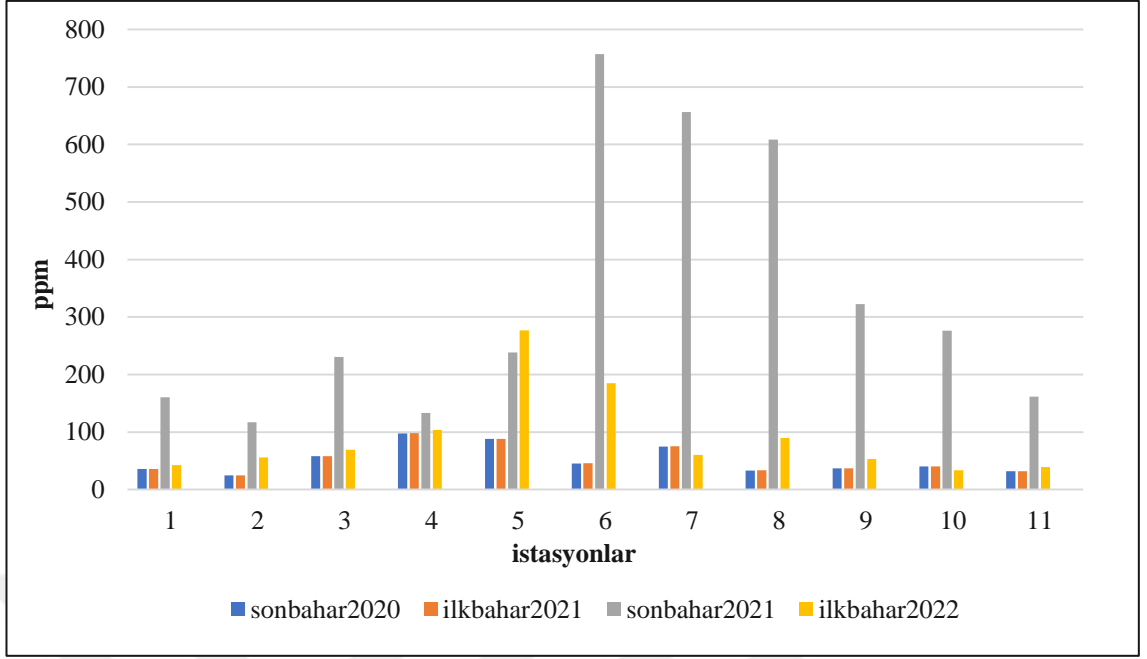
Mangan birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.10); krom metalinde olduğu gibi en yüksek birikimlerin her istasyon için en yoğun olarak 2021 sonbahar döneminde olduğu gözlemlenmektedir. 7. ve 10. İstasyonlarda en düşük birikim 2022 ilkbaharda gözlemlenirken diğer bütün istasyonlarda 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde gözlenmektedir.



Şekil 4.10 Manganez metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.3.11 Nikel

Nikel birikim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.11); 5. İstasyon dışında manganez, krom ve kobalt metallerinin birikimi ile benzerlik göstererek 2021 sonbahar döneminde birikimde artış olduğu gözlemlenebilmektedir. Bu dönem için en yüksek birikimin ise 6. İstasyonda olduğu tespit edilmiştir. 5. İstasyonda ise en yüksek birikim 2022 ilkbahar döneminde görülmektedir. 7. ve 10. İstasyonlar dışında en düşük birikim 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde gözlemlenirken bu iki istasyonda en düşük birikim 2022 ilkbahar döneminde tespit edilmiştir.



Şekil 4.11 Nikel metalinin mevsimlere göre istasyonlardaki birikimi

#### 4.4 Sapanca Gölünde Birikim Farklılığı Gösteren Metal(loid)ler

Su örnekleri için yapılan ağır metal analizlerinde anlamlı bir birikim tespit edilmemesinden dolayı birikim farklılığı gösteren metaller sediment örneklerinde incelenmiştir. Sedimentteki Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, As, Cd, Cr ve Al metallerinin, arasında birikim açısından farklılık olup olmadığı Mann Whitney U testi ile incelenmiştir. İnceleme neticesinde Cr-Ni, Cr-Zn, Co-As ve Co-Pb metallerinin birikim miktarının birbirlerinden farklı olmadığı bulunmuştur ( $p>0.05$ ). Bu metaller dışındaki metallerin birikim miktarı ise birbirlerinden farklı olduğu gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Çalışmada tespit edilen metal düzeylerinin karşılaştırmalarına ilişkin istatistiksel değerler Çizelge 4.9-4.17’de verilmiştir.

Al metali Fe metaline göre daha az birikim gösterirken diğer tüm metallerden (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb) daha fazla birikim göstermiştir. Cr metali Mn, Fe ve Ni metallerinden daha az birikim göstermiş Co, Cu, Zn, As ve Pb metallerinden ise daha fazla birikim göstermiştir. Mn metali ise Fe metaline göre daha az birikmiş fakat Co, Ni, Cu, Zn, As ve Pb metallerine göre daha fazla birikmiştir. Co metali ise As den çok, Ni,

Cu, Zn ve Pb metallere göre daha az birikim göstermiştir. Ni metalinin birikimi de Cu, Zn, As ve Pb metallerine göre daha fazla tespit edilmiştir. Cu metalinin Zn metaline göre daha az As ve Pb metallerine göre ise daha fazla birikim göstermiştir. Zn metalinin As ve Pb metallerine göre daha fazla birikim gösterirken, As metalinin de Pb metalinden daha az birikim göstermiştir.

Çizelge 4.9 Al birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

					İstatistiksel Testler	
Değerler						
			Ortalama Değer	Toplam Değer		
Miktarlar	Metal	N			Mann-Whitney U	0
	Al	44	66,5	2926	Wilcoxon W	990
	Cr	44	22,5	990	Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Metal	N			Mann-Whitney U	0
	Al	44	66,5	2926	Wilcoxon W	990
	Mn	44	22,5	990	Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Metal	N			Mann-Whitney U	401,5
	Al	44	31,63	1391,5	Wilcoxon W	1391,5
	Fe	44	57,38	2524,5	Z	-4,728
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Metal	N			Mann-Whitney U	0
	Al	44	66,5	2926	Wilcoxon W	990
	Co	44	22,5	990	Z	-8,079
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Metal	N			Mann-Whitney U	0
	Al	44	66,5	2926	Wilcoxon W	990
	Ni	44	22,5	990	Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0

Çizelge 4.9 Al birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar (devam)

Değerler					İstatiksel Testler	
	Metal	N	Ortalama Değer	Toplam Değer		
Miktarlar	Al	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Cu	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
					Asymp. Sig. (2-tailed)	0
	Total	88				
Miktarlar	Al	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	As	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
					Asymp. Sig. (2-tailed)	0
	Total	88				
Miktarlar	Al	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Pb	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
					Asymp. Sig. (2-tailed)	0
	Total	88				

Çizelge 4.10 Cr birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

Değerler					İstatiksel Testler	
	Metal	N	Ortalama Değer	Toplam Değer		
Miktarlar	Cr	44	24,39	1073	Mann-Whitney U	83
	Mn	44	64,61	2843	Wilcoxon W	1073
					Z	-7,386
					Asymp. Sig. (2-tailed)	0
	Total	88				
Miktarlar	Cr	44	22,5	990	Mann-Whitney U	0
	Fe	44	66,5	2926	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
					Asymp. Sig. (2-tailed)	0
	Total	88				

Çizelge 4.10 Cr birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar (devam)

Değerler					İstatiksel	
					Testler	
			Ortalama	Toplam		
	Metal	N	Değer	Değer		
Miktarlar	Cr	44	63,61	2799	Mann-Whitney U	127
	Co	44	25,39	1117	Wilcoxon W	1117
					Z	-7,019
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Cr	44	39,85	1753,5	Mann-Whitney U	763,5
	Ni	44	49,15	2162,5	Wilcoxon W	1753,5
					Z	-1,707
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0,088
Miktarlar	Cr	44	58,47	2572,5	Mann-Whitney U	353,5
	Cu	44	30,53	1343,5	Wilcoxon W	1343,5
					Z	-5,128
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Cr	44	48,22	2121,5	Mann-Whitney U	804,5
	Zn	44	40,78	1794,5	Wilcoxon W	1794,5
					Z	-1,364
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0,172
Miktarlar	Cr	44	66,41	2922	Mann-Whitney U	4
	As	44	22,59	994	Wilcoxon W	994
					Z	-8,045
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Cr	44	65,69	2890,5	Mann-Whitney U	35,5
	Pb	44	23,31	1025,5	Wilcoxon W	1025,5
					Z	-7,782
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0

Çizelge 4.11 Mn birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

					<b>İstatiksel Testler</b>	
<b>Değerler</b>						
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
	Mn	44	22,5	990	Mann-Whitney U	0
	Fe	44	66,5	2926	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
	Mn	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Co	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
	Mn	44	63,8	2807	Mann-Whitney U	119
	Ni	44	25,2	1109	Wilcoxon W	1109
					Z	-7,085
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
	Mn	44	66,23	2914	Mann-Whitney U	12
	Cu	44	22,77	1002	Wilcoxon W	1002
					Z	-7,978
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
	Mn	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Zn	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
	Mn	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	As	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
	Mn	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Pb	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0

Çizelge 4.12 Fe birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

		Değerler				İstatiksel
			Ortalama	Toplam	Testler	
	Metal	N	Değer	Değer		
Miktarlar	Fe	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Co	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Fe	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Ni	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Fe	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Cu	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Fe	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Zn	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Fe	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	As	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
Miktarlar	Fe	44	66,5	2926	Mann-Whitney U	0
	Pb	44	22,5	990	Wilcoxon W	990
					Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0

Çizelge 4.13 Co birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

					<b>İstatiksel Testler</b>	
					<b>Değerler</b>	
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	77
	Co	44	24,25	1067	Wilcoxon W	1067
	Ni	44	64,75	2849	Z	-7,436
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	412
	Co	44	31,86	1402	Wilcoxon W	1402
	Cu	44	57,14	2514	Z	-4,64
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	146
	Co	44	25,82	1136	Wilcoxon W	1136
	Zn	44	63,18	2780	Z	-6,86
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	873,5
	Co	44	46,65	2052,5	Wilcoxon W	1863,5
	As	44	42,35	1863,5	Z	-0,789
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0,43
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	820,5
	Co	44	41,15	1810,5	Wilcoxon W	1810,5
	Pb	44	47,85	2105,5	Z	-1,231
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0,218

Çizelge 4.14 Ni birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

					<b>İstatiksel Testler</b>	
					<b>Değerler</b>	
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	240,5
	Ni	44	61,03	2685,5	Wilcoxon W	1230,5
	Cu	44	27,97	1230,5	Z	-6,071
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	598
	Ni	44	52,91	2328	Wilcoxon W	1588
	Zn	44	36,09	1588	Z	-3,088
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0,002
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	0
	Ni	44	66,5	2926	Wilcoxon W	990
	As	44	22,5	990	Z	-8,078
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer		
					Mann-Whitney U	4
	Ni	44	66,41	2922	Wilcoxon W	994
	Pb	44	22,59	994	Z	-8,045
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0

Çizelge 4.15 Cu birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

					<b>İstatiksel Testler</b>	
					<b>Değerler</b>	
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer	Mann-Whitney U	
	Cu	44	32,01	1408,5	Wilcoxon W	418,5
	Zn	44	56,99	2507,5	Z	1408,5
					Asymp. Sig. (2-tailed)	-4,586
	Total	88				0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer	Mann-Whitney U	
	Cu	44	61,85	2721,5	Wilcoxon W	204,5
	As	44	27,15	1194,5	Z	1194,5
					Asymp. Sig. (2-tailed)	-6,372
	Total	88				0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer	Mann-Whitney U	
	Cu	44	57,95	2550	Wilcoxon W	376
	Pb	44	31,05	1366	Z	1366
					Asymp. Sig. (2-tailed)	-4,941
	Total	88				0

Çizelge 4.16 Zn birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

					<b>İstatiksel Testler</b>	
					<b>Değerler</b>	
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer	Mann-Whitney U	
	Zn	44	66,01	2904,5	Wilcoxon W	21,5
	As	44	22,99	1011,5	Z	1011,5
					Asymp. Sig. (2-tailed)	-7,899
	Total	88				0
		Ortalama	Toplam			
Miktarlar	Metal	N	Değer	Değer	Mann-Whitney U	
	Zn	44	65,23	2870	Wilcoxon W	56
	Pb	44	23,77	1046	Z	1046
					Asymp. Sig. (2-tailed)	-7,611
	Total	88				0

Çizelge 4.17 As birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklar

					<b>İstatistiksel Testler</b>	
					<b>Değerler</b>	
		Ortalama	Toplam			
		Değer	Değer	Mann-Whitney U	675	
Miktarlar	As	44	37,84	1665	Wilcoxon W	1665
	Pb	44	51,16	2251	Z	-2,445
	Total	88			Asymp. Sig. (2-tailed)	0,014

#### 4.5 Su ve Sedimentte Birikim Gösteren Metaller Arası Korelasyon Testi

Sapanca Gölünde 4 mevsim boyunca 11 istasyonun su ve sedimentinde tespit edilen ağır metaller arasındaki birikim korelasyon testi ile araştırılmıştır.

Çalışmamızda su örneklerinde herhangi bir metal birikimi olmamıştır. Dolayısıyla su örnekleri için metaller arasında bir korelasyon söz konusu olmamaktadır.

2020 sonbahar sediment örneklerinden analiz edilen metaller arası korelasyon incelendiğinde (Çizelge 4.18); Cr-Al (0,613), Mn-Cr (0,671), Ni-Al (0,563), Ni-Mn (0,613), Cu-Ni (0,905), As-Al (0,597) ve As-Cu (0,681) metalleri arasında orta derece pozitif korelasyon; Fe-Mn (0,756), Co-Al (0,862), Co-Cr (0,865), Co-Mn (0,794), Co-Fe (0,772), Ni-Co (0,858), Cu-Al (0,876), Cu-Cr (0,708), Cu-Mn (0,763), Cu-Fe (0,894), Cu-Co (0,905), Zn-Al (0,886), Zn-Mn (0,726), Zn-Co (0,779), As-Fe (0,8), As-Zn (0,779), Pb-Al (0,884), Pb-Mn (0,706), Pb-Co (0,742), Pb-Cu (0,886) ve Pb-As (0,831) metalleri arasında yüksek korelasyon; Mn-Al (0,927), Fe-Al (0,917), Ni-Cr (0,994), Zn-Fe (0,945), Zn-Cu (0,931), Pb-Fe (0,939), Pb-Zn (0,971) metalleri arasında çok yüksek korelasyon gözlenmiştir.

Çizelge 4.18 2020 sonbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon

	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>
<b>Al</b>	1									
<b>Cr</b>	0,613	1								
<b>Mn</b>	0,927	0,671	1							
<b>Fe</b>	0,917	0,418	0,756	1						
<b>Co</b>	0,862	0,865	0,794	0,772	1					
<b>Ni</b>	0,563	0,994	0,613	0,381	0,858	1				
<b>Cu</b>	0,876	0,708	0,763	0,894	0,905	0,681	1			
<b>Zn</b>	0,886	0,479	0,726	0,945	0,779	0,437	0,931	1		
<b>As</b>	0,597	-0,002	0,386	0,8	0,391	-0,031	0,681	0,779	1	
<b>Pb</b>	0,884	0,379	0,706	0,939	0,742	0,34	0,886	0,971	0,831	1

2021 ilkbahar dönemi sediment örneklerinde (Çizelge 4.19); Cr-Al (0,621), Mn-Cr (0,683), Ni-Al (0,564), Ni-Mn (0,618), Cu-Ni (0,68), As-Al (0,6) ve As-Cu (0,674) metalleri arasında orta derece korelasyon; Fe-Mn (0,754), Co-Al (0,853), Co-Cr (0,871), Co-Mn (0,79), Co-Fe (0,762), Ni-Co (0,865), Cu-Al (0,88), Cu-Cr (0,713), Cu-Mn (0,768), Cu-Fe (0,896), Cu-Co (0,901), Zn-Al (0,887), Zn-Mn (0,727), Zn-Co (0,77), As-Fe (0,801), As-Zn (0,775), Pb-Al (0,882), Pb-Mn (0,702), Pb-Co (0,731), Pb-Cu (0,88) ve Pb-As (0,837) metalleri arası korelasyon derecesi yüksekken; Mn-Al (0,929), Fe-Al (0,916), Ni-Cr (0,993), Zn-Fe (0,946), Zn-Cu (0,931), Pb-Fe (0,94) ve Pb-Zn (0,68) metalleri arası korelasyon derecesi çok yüksektir. En yüksek korelasyon Ni-Cr (0,993) arasında görülmektedir.

Çizelge 4.19 2021 ilkbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon

	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>
<b>Al</b>	1									
<b>Cr</b>	0,621	1								
<b>Mn</b>	0,929	0,683	1							
<b>Fe</b>	0,916	0,424	0,754	1						
<b>Co</b>	0,853	0,871	0,79	0,762	1					
<b>Ni</b>	0,564	0,993	0,618	0,379	0,865	1				
<b>Cu</b>	0,88	0,713	0,768	0,896	0,901	0,68	1			
<b>Zn</b>	0,887	0,482	0,727	0,946	0,77	0,434	0,931	1		
<b>As</b>	0,6	-0,005	0,385	0,801	0,378	-0,042	0,674	0,7765	1	
<b>Pb</b>	0,882	0,376	0,702	0,94	0,731	0,332	0,88	0,968	0,837	1

2021 sonbahar dönemi sediment örneklerinde (Çizelge 4.20); Cr-Al (0,66), Co-Al (0,68), Ni-Mn (0,682), Cu-Ni (0,642), Zn-Al (0,666), Zn-Cu (0,665), Pb-Zn (0,615), Pb-As (0,625) metalleri arasında pozitif orta derece korelasyon ve As-Cr (-0,666), As-Fe (-0,6), As-Co (-0,62), As-Ni (-0,578), As-Cu (-0,61), Pb-Cr (-0,676), Pb-Co (-0,64) metalleri arasında negatif orta derece korelasyon bulunmuştur. Mn-Al (0,826), Mn-Cr (0,741), Fe-Al (0,841), Fe-Mn (0,865), Co-Mn (0,752), Ni-Fe (0,902), Cu-Al (0,855), Cu-Cr (0,729), Cu-Mn (0,831), Cu-Fe (0,889), Cu-Co (0,749) metalleri arasında pozitif yüksek korelasyon ve Pb-Ni (-0,708) arasında da negatif yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Fe-Cr (0,994), Co-Cr (0,983), Co-Fe (0,948), Ni-Cr (0,979), Ni-Co (0,987), metalleri arasında ise çok yüksek korelasyon olduğu bulunmuştur. En yüksek korelasyon ise Ni-Co (0,987) arasında görülmektedir.

Çizelge 4.20 2021 sonbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon

	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Pb</b>
<b>Al</b>	1									
<b>Cr</b>	0,66	1								
<b>Mn</b>	0,826	0,741	1							
<b>Fe</b>	0,841	0,944	0,865	1						
<b>Co</b>	0,68	0,983	0,752	0,948	1					
<b>Ni</b>	0,599	0,979	0,682	0,902	0,987	1				
<b>Cu</b>	0,855	0,729	0,831	0,889	0,749	0,642	1			
<b>Zn</b>	0,666	0,086	0,351	0,355	0,109	-0,011	0,665	1		
<b>As</b>	-0,24	-0,666	-0,49	-0,6	-0,62	-0,578	-0,61	0,01	1	
<b>Pb</b>	0,018	-0,676	-0,25	-0,46	-0,64	-0,708	-0,12	0,615	0,625	1

2022 ilkbahar dönemi sediment örneklerinde (Çizelge 4.21) Mn-Al (0,652), Mn-Cr (0,624), Co-Mn (0,604), Ni-Al (0,678), Ni-Mn (0,564), Cu-Fe (0,627), Zn-Al (0,657), Zn-Fe (0,649), Pb-Fe (0,586) ve Pb- As (0,604) metalleri arasında orta derece korelasyon; Cr-Al (0,727), Fe-Cr (0,891), Fe-Mn (0,702), Co-Al (0,73), Co-Fe (0,901), Ni-Fe (0,856), Cu-Cr (0,749), Cu-Co (0,839), Cu-Ni (0,868), Pb-Al (0,736) ve Pb-Zn (0,845) metalleri arasında yüksek korelasyon ve Fe-Al (0,916), Co-Cr (0,978), Ni-Cr (0,978) ve Ni-Co (0,99) metalleri arasında çok yüksek korelasyon olduğu bulunmuştur. En yüksek korelasyon ise Ni-Co (0,99) arasında görülmektedir.

Çizelge 4.21 2022 ilkbahar sediment örneklerinde metaller arası korelasyon

	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Al	1									
Cr	0,727	1								
Mn	0,652	0,624	1							
Fe	0,916	0,891	0,702	1						
Co	0,73	0,978	0,604	0,901	1					
Ni	0,678	0,978	0,564	0,856	0,99	1				
Cu	0,457	0,749	0,332	0,627	0,839	0,868	1			
Zn	0,657	0,409	0,369	0,649	0,363	0,301	0,05	1		
As	0,163	-0,428	0,052	-0,05	-0,35	-0,434	-0,38	0,192	1	
Pb	0,736	0,206	0,361	0,586	0,215	0,134	-0,02	0,845	0,604	1

#### 4.6 Sediment Kalite Araştırma Yöntemleri (SQG) ile Sediment Kalitesinin Belirlenmesi

Element kirliliği değerlendirmesi için kullanılan tekniklerin çoğu, modern sedimentlerdeki element konsantrasyonunu endüstri öncesi dönemdeki konsantrasyonlarla karşılaştırmaktadır.

Sediment kalitesinin belirlenmesinde SQG yöntemleri, çevresel riskleri değerlendirmek, kirleticilerin etkilerini anlamak ve çevresel koruma önlemlerini geliştirmek için kullanılan önemli bir araçtır. Bu çalışmada Sapanca Gölü'ndeki ağır metal kirliliğini değerlendirmek için kullanılan parametreler ve hesaplama yöntemleri aşağıda sunulmaktadır.

##### 4.6.1 Kontaminasyon faktörü ( $C_f^i$ )

Sedimentteki ağır metal çalışmalarında en sık kullanılan yöntemlerden biri kontaminasyon faktörü ( $C_f^i$ )'dür. Mevcut durum hakkında güçlü veriler sağlayan basit

bir yöntemdir. Hakanson (1980) tarafından ortaya konulan bu yöntem, 4 farklı skala ile gösterilmektedir (Hakanson 1980).

$C_f^i < 1$ : Oldukça düşük

$1 \leq C_f^i < 3$ : Uygun

$3 \leq C_f^i < 6$ : Kabul edilebilir

$C_f^i \geq 6$ : Çok yüksek olarak değerlendirilmektedir.

Kontaminasyon faktörü 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemlerinde tüm metaller için oldukça düşük olarak bulunmuş, 2021 sonbahar dönemi için ise Cu, Mn, Co ve Cr değerleri uygun, Ni kabul edilebilir ve diğer metaller de oldukça düşük olarak bulunmuştur. 2022 ilkbahar döneminde ise Cu, Ni ve Cd uygun iken diğer tüm metaller oldukça düşük olarak bulunmuştur.

#### 4.6.2 Kontaminasyon derecesi ( $C_d$ )

( $C_f^i$ ) değerlerinin tamamının toplamı şeklinde ifade edilir. 4 farklı skalada değerlendirilir.

$C_d \leq 8$ : Düşük

$8 \leq C_d \leq 16$ : Uygun

$16 \leq C_d \leq 32$ : Kabuledilebilir

$C_d \geq 32$ : Çok yüksek

Çalışmamızda kontaminasyon derecesi 2020 sonbahar dönemi için 5,20 ve 2021 ilkbahar dönemi için 5,27 yani düşük olarak bulunmuş, 2021 sonbahar dönemi için 14,25 ve 2022 ilkbahar dönemi için ise 9,06 yani uygun olarak bulunmuştur.

#### 4.6.3 Modifiye kontaminasyon derecesi (mCd)

Modifiye kontaminasyon derecesi değerlendirmesinde 7 farklı skala kullanılmaktadır (Abraham ve Parker 2008).

$mC_d < 1.5$ : Yok denecek kadar düşük

$1.5 \leq mC_d < 2$ : Düşük

$2 \leq mC_d < 4$ : Uygun

$4 \leq mC_d < 8$ : Yüksek

$8 \leq mC_d < 16$ : Çok yüksek

$16 \leq mC_d < 32$ : Son derece yüksek

$mC_d \geq 32$ : Yüksek ötesi

Modifiye kontaminasyon derecesi sırasıyla 2020 sonbahar dönemi için 0,40, 2021 ilkbahar dönemi için 0,41, 2021 sonbahar dönemi için 1,10 ve 2022 ilkbahar dönemi için ise 0,70 yani yok denecek kadar düşük olarak bulunmuştur.

#### 4.6.4 Zenginleştirme faktörü (EF)

Zenginleştirme faktörünü hesaplayabilmek için Fe, Al, Li, Sc ve TOC gibi referans elementler kullanılabilir. Hangi elementin kullanılacağı Pearson korelasyon analiziyle belirlenmektedir. Bu çalışmada Fe metali referans alınarak hesaplanmıştır ve gösterilmesinde 5’li skala kullanılmaktadır.

$EF < 2$ : Minimal

$2 \leq EF < 5$ : Uygun

$5 \leq EF < 20$ : Anlamlı

$20 \leq EF < 40$ : Çok yüksek

$EF \geq 40$ : Son derece yüksek

Çalışmamızda 2020 sonbahar dönemi için Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Cr, Al ve Cd değerlerinin minimal, Pb, Ni ve As değerlerinin ise uygun olarak bulunduğu, 2021 ilkbahar dönemi için de benzer şekilde Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Cr, Al ve Cd değerlerinin minimal, Pb, Ni, As değerlerinin ise uygun olduğu bulunmuştur. 2021 sonbahar döneminde Fe ve Al değerleri minimal iken Cu, Pb, Zn, Mn, As ve Cd anlamlı, Co ve Cr çok yüksek ve Ni son derece yüksek bulunmuştur. 2022 ilkbahar dönemi sonuçlarına bakıldığında ise Pb, Zn, Mn, Fe, As, Cr ve Al değerlerinin minimal, Cu, Ni, Co ve Cd değerlerinin ise uygun olduğu bulunmuştur.

#### 4.6.5 Jeoakümülyasyon indeksi ( $I_{geo}$ )

$I_{geo} \leq 0$  : Kontaminasyon yok

$0 < I_{geo} < 1$ : Kontaminasyonsuzluk ile uygunluk arası

$1 < I_{geo} < 2$ : Uygun

$2 < I_{geo} < 3$ : Uygunluk ile güçlü arası

$3 < I_{geo} < 4$  : Güçlü

$4 < I_{geo} < 5$ : Güçlü ile ekstrem arası

$I_{geo} \geq 5$ : Ekstrem

Jeoakümülyasyon indeksinin değerleri 2020 sonbahar dönemi ve 2021 ilkbahar döneminde tüm metaller için negatif yani kontaminasyon yok olarak bulunmuştur. 2021 sonbahar dönemi için ise Ni uygun, Co ve Cr kontaminasyonsuzluk ile uygunluk arası ve diğer tüm metaller ise kontaminasyon yok olarak bulunmuştur. 2022 ilkbahar döneminde ise Cd kontaminasyonsuzluk ile uygunluk arasında iken diğer tüm değerler kontaminasyon yok şeklinde bulunmuştur.

#### 4.6.6 Kirlilik yükleme indeksi (PLI)

Mevcut durumu basit şekilde ortaya koyan bir indekstir.

0: Kusursuz

1: Sınır çizgisi

>1: Bozulma

Çalışmamızda Kirlilik yükleme indeksi sırasıyla 2020 sonbahar dönemi için 0,482, 2021 ilkbahar dönemi için 0,488, 2021 sonbahar dönemi için 0,879 ve 2022 ilkbahar dönemi için de 0,806 yani kusursuz olarak bulunmuştur.

#### **4.6.7 Toplam toksik birim**

Mevcut metallerin toplam toksisite değerlerini gösterir. Toplam toksik birim değeri 2020 sonbahar dönemi için 2,95, 2021 ilkbahar dönemi için 2,98, 2021 sonbahar dönemi için 13,12 ve 2022 ilkbahar dönemi için 4,40 olarak bulunmuştur. Sonbahar dönemi, ilkbahar dönemine göre daha kirlidir denilebilmektedir.

#### **4.6.8 Oransal toksik birim**

Metallerin toplam toksik birime olan oransal etkisini gösteren bir değerdir. 2020 sonbahar için oranların %3,18'ini Cu, %5,38'ini Pb, %4,25'ini Zn, %48,45'ini Ni, %21,72'sini As,%16,07'ini Cr ve %0,96'sını Cd'nin oluşturduğu bulunmuştur.

2021 ilkbahar için oranlara bakıldığında %3,19 Cu'nun, %5,41 Pb'nin, %4,22 Zn'nin, %48,20 Ni'nin, %21,95 As'nin, %16,03 Cr'nin ve %1,01 Cd'nin etkisi olduğu,

2021 sonbahar dönemi için ise Cu'nun %1,88, Pb'nin %1,03, Zn'nin %1,46, Ni'nin %70,51, As'nin %4,34, Cr'nin %20,52 ve Cd'nin %0,26 etkisi olduğu,

2022 ilkbahar için oranların %5,83'ünü Cu, %3,03'ünü Pb, %3,17'sini Zn, %57,86'sını Ni, %13,46'sını As, %12,90'nını Cr ve yine %3,75'ini Cd'nin oluşturduğu bulunmuştur.

Toksik birime en fazla katkısı olan Ni görünürken, Mn, Fe, Co ve Al'nin katkısı bulunmamaktadır.

#### **4.6.9 Ortalama etki aralığı medyanı oranı (m-ERM-Q)**

m-ERM-Q<0,10: %9 toksik

0,11< m-ERM-Q<0,50: %21 toksik

0,51< m-ERM-Q<1,50: %49 toksik

m-ERM-Q>1,50: %76 toksik

Sonuçlara göre toksik seviye 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar için (0,14) %21 toksik, 2021 sonbahar için (0,69) %49 toksik ve 2022 ilkbahar dönemi için (0,21) %21 toksik olarak bulunmuştur.

#### **4.6.10 Ortalama muhtemel etki seviyesi oranı (m-PEL-Q)**

m-PEL-Q<0.1:Etkisiz

0.1< m-PEL-Q<1: Kısmen etkili

m-ERM-Q>1: Yüksek etkili

Ortalama muhtemel etki seviyesi oranı ise 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemi için (0,23) kısmen etkili, 2021 sonbahar dönemi için (1,01) yüksek etkili ve 2022 ilkbahar dönemi için (0,34) kısmen etkili olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.22 2022 Sonbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun karakterizasyonu

	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Al</b>	<b>Cd</b>
Ortalama	19	15	40	52	390	12766	11	8	43	6633	-
PEL (Tatlı su)	197	91	315	36	-	-	17	-	90	-	3,53
ERM (Tatlı su)	390	110	270	50	-	-	85	-	145	-	9
TEL (Tatlı su)	36	35	123	18	-	-	5,9	-	37,3	-	0,6
ERL (Tatlı su)	70	35	120	30	-	-	33	-	80	-	5
PERİ-Rİ indeks katsayıları	5	5	1	5	1	-	10	-	2	-	30
Yer kabuğu	45	20	95	68	850	47200	13	19	90	80000	0,3
CF	0,41	0,73	0,42	0,76	0,46	0,27	0,84	0,44	0,47	0,08	0,33
Cd						5,20					
MCd						0,40					
EF	1,52	2,68	1,54	2,80	1,70	1,00	3,10	1,62	1,75	0,31	1,23
Igeo	-1,87	-1,05	-1,85	-0,99	-1,71	-2,47	-0,84	-1,78	-1,66	-4,18	-2,17
PLI						0,48					
m-ERM-Q	0,05	0,13	0,15	1,03			0,13		0,29		0,01
T m-ERM-Q						0,14					
m-PEL-Q	0,09	0,16	0,13	1,43			0,64		0,47		0,03
T m-PEL-Q						0,23					
TTU						2,95					
TU	0,09	0,16	0,13	1,43			0,64		0,47		0,03
OTU	3,18	5,38	4,25	48,45			21,72		16,07		0,96

Çizelge 4.23 2022 İkbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun karakterizasyonu

	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Al</b>	<b>Cd</b>
Ortalama Sonuç	19	15	40	52	392	12799	11	8	43	6649	-
PEL	197	91	315	36	-	-	17	-	90	-	3,53
ERM	390	110	270	50	-	-	85	-	145	-	9
TEL	36	35	123	18	-	-	5,9	-	37,3	-	0,6
ERL	70	35	120	30	-	-	33	-	80	-	5
PERİ-Rİ	5	5	1	5	1	-	10	-	2	-	30
Yer kabuğu	45	20	95	68	850	47200	13	19	90	80000	0,3
CF	0,42	0,74	0,42	0,76	0,46	0,27	0,86	0,44	0,48	0,08	0,35
Cd						5,27					
MCd						0,41					
EF	1,53	2,72	1,54	2,81	1,70	1,00	3,16	1,61	1,76	0,31	1,30
Igeo	-1,85	-1,03	-1,85	-0,98	-1,70	-2,47	-0,81	-1,78	-1,65	-4,17	-2,09
PLI						0,49					
m-ERM-Q	0,05	0,13	0,15	1,04			0,13		0,30		0,01
T m-ERM-Q						0,14					
m-PEL-Q	0,10	0,16	0,13	1,44			0,65		0,48		0,03
T m-PEL-Q						0,23					
TTU						2,98					
TU	0,10	0,16	0,13	1,44			0,65		0,48		0,03
OTU	3,19	5,41	4,22	48,20			21,95		16,03		1,01

Çizelge 4.24 2021 Sonbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karakterizasyonu

	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Al</b>	<b>Cd</b>
Ortalama	48	12	60	333	1154	3332	10	33	242	2213	-
PEL (Tatlı su)	197	91	315	36	-	-	17	-	90	-	3,53
ERM (Tatlı su)	390	110	270	50	-	-	85	-	145	-	9
TEL (Tatlı su)	36	35	123	18	-	-	5,9	-	37,3	-	0,6
ERL (Tatlı su)	70	35	120	30	-	-	33	-	80	-	5
PERİ-Rİ indeks katsayıları	5	5	1	5	1	-	10	-	2	-	30
Yer kabuğu	45	20	95	68	850	47200	13	19	90	80000	0,3
CF	1,08	0,62	0,64	4,90	1,36	0,07	0,74	1,73	2,69	0,03	0,40
Cd						14,25					
MCd						1,10					
EF	15,26	8,78	9,01	69,37	19,23	1,00	10,55	24,53	38,13	0,39	5,67
Igeo	-0,48	-1,28	-1,24	1,71	-0,14	-4,41	-1,01	0,21	0,84	-5,76	-1,91
PLI						0,88					
m-ERM-Q	0,12	0,11	0,22	6,66			0,11		1,67		0,01
T m-ERM-Q						0,69					
m-PEL-Q	0,25	0,14	0,19	9,25			0,57		2,69		0,03
T m-PEL-Q						1,01					
TTU						13,12					
TU	0,25	0,14	0,19	9,25			0,57		2,69		0,03
OTU	1,88	1,03	1,46	70,51			4,34		20,52		0,26

Çizelge 4.25 2022 İlkbahar sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun karakterizasyonu

	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	As	Co	Cr	Al	Cd
Ortalama	51	12	44	92	546	23466	10	19	51	7684	-
PEL (Tatlı su)	197	91	315	36	-	-	17	-	90	-	3,53
ERM (Tatlı su)	390	110	270	50	-	-	85	-	145	-	9
TEL (Tatlı su)	36	35	123	18	-	-	5,9	-	37,3	-	0,6
ERL (Tatlı su)	70	35	120	30	-	-	33	-	80	-	5
PERİ-Rİ indeks katsayıları	5	5	1	5	1	-	10	-	2	-	30
Yer kabuğu	45	20	95	68	850	47200	13	19	90	80000	0,3
CF	1,12	0,61	0,46	1,35	0,64	0,50	0,78	0,99	0,57	0,10	1,94
Cd						9,06					
MCd						0,70					
EF	2,26	1,22	0,93	2,71	1,29	1,00	1,56	2,00	1,14	0,19	3,91
Igeo	-0,42	-1,30	-1,70	-0,15	-1,22	-1,59	-0,95	-0,59	-1,40	-3,97	0,37
PLI						0,81					
m-ERM-Q	0,13	0,11	0,16	1,84			0,12		0,35		0,06
T m-ERM-Q						0,21					
m-PEL-Q	0,26	0,13	0,14	2,55			0,59		0,57		0,17
T m-PEL-Q						0,34					
TTU						4,40					
TU	0,26	0,13	0,14	2,55			0,59		0,57		0,17
OTU	5,83	3,03	3,17	57,86			13,46		12,90		3,75

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Su; insanların hayatta kalması ve sağlıklı bir yaşam sürdürebilmeleri için gerekli olan en önemli kaynaktır. İçme suyu kaynağı olarak da kullanılan Türkiye'nin en önemli göllerinden biri olan Sapanca Gölü ile ilgili gölün korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasını amaçlayan çalışmalar yapılarak, gölün gelecek nesillerin de kullanabileceği şekilde korunması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Sapanca gölü su ve sedimentindeki ağır metal kirliliğinin araştırılması ve metal birikimine etki eden kirleticilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sapanca gölü su ve sediment örneklerinde ağır metal birikim profili incelendiğinde; su örneklerinde herhangi bir birikim olmadığı, çok az miktarda As birikiminin olduğu fakat bu birikim miktarının anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Yüzeysel su kalitesi yönetimi yönetmeliği, kıta içi yerüstü su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerine göre Sapanca Gölü su örneklerinde tüm metallerin normal sınırlar içinde olduğu ve Sapanca gölünün I. Sınıf su kalitesine sahip olduğu bulunmuştur (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Kıta içi yerüstü su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Resmi Gazete, 2015)

İz Elementler (Metaller) ve İnorganik Kirlilik Parametreleri	Su Kalite sınıfları			
	I	II	III	IV
Alüminyum (mg Al/L)	≤ 0,3	≤ 0,3	1	> 1
Krom (toplam) (µg Cr/L)	≤ 20	50	200	> 200
Mangan (µg Mn/L)	≤ 100	500	3000	> 3000
Demir (µg Fe/L)	≤ 300	1000	5000	> 5000
Kobalt (µg Co/L)	≤ 10	20	200	> 200

Çizelge 5.1 Kıta içi yerüstü su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Resmi Gazete, 2015) (devam)

Nikel ( $\mu\text{g Ni/L}$ )	$\leq 20$	50	200	$> 200$
Bakır ( $\mu\text{g Cu/L}$ )	$\leq 20$	50	200	0
Çinko ( $\mu\text{g Zn/L}$ )	$\leq 200$	500	2000	$> 2000$
Arsenik ( $\mu\text{g As/L}$ )	$\leq 20$	50	100	$> 100$
Kurşun ( $\mu\text{g Pb/L}$ )	$\leq 10$	20	50	$> 50$
Kadmiyum ( $\mu\text{g Cd/L}$ )	$\leq 2$	5	7	$> 7$

Sınıf I : Yüksek kaliteli su, Sınıf II : Az kirlenmiş su, Sınıf III : Kirlı su, Sınıf IV : Çok kirlenmiş su

Hayatta kalmak için temel ihtiyaç olan içme suyu birçok zararlı bileşen içerebilmektedir. Buna rağmen içme suyu için kabul gören uluslararası bir standart bulunmamaktadır. İçme suyu için belirlenen kalite parametreleri, içme suyu kalite standardı olarak tanımlanmaktadır.

Türkiyede içme suyu kalitesi; içme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmelik ile güvence altına alınmıştır. Bu yönetmelikte kategorilere göre su kalite standartları çizelge 5.2’de belirtildiği şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 5.2 İçme suyu kalite standartları kategorileri

Parametre	Birim	Kılavuz Değerler		
		A1	A2	A3
Alüminyum	$\mu\text{g/L}$	200	500	2000
Arsenik	$\mu\text{g/L}$	10	40	100
Bakır	$\mu\text{g/L}$	2000	5000	20000
Çinko	$\mu\text{g/L}$	3000	6000	12000
Demir	$\mu\text{g/L}$	200	1000	2000
Kadmiyum	$\mu\text{g/L}$	5	15	50
Kobalt	$\mu\text{g/L}$	800	-	2600
Krom	$\mu\text{g/L}$	50	500	1.000
Kurşun	$\mu\text{g/L}$	10	50	100
Mangan	$\mu\text{g/L}$	50	100	250
Nikel	$\mu\text{g/L}$	20	30	200

Çizelgedeki değerler incelendiğinde bu çalışma için Sapanca Gölü su kalitesinin A1 sınıf içme suyu özellikleri taşıdığı söylenebilir.

Türkiyede bulunan içme suyu kaynakları belirli aralıklarla incelenmekte ve su kaliteleri değerlendirilmektedir. Sapanca gölündeki ağır metal çalışmaları incelendiğinde göl suyu kalitesi ile ilgili bazı sonuçların, çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ile benzer özellikte olduğu görülmektedir.

Demirel, H., tarafından 2021 yılında Sapanca Gölünde Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin sebep olduğu kirlenmenin değerlendirilmesi, kütle denge modeli oluşturulması ve ağır metallerin ekolojik risk değerlendirmesinin yapılması amacıyla gerçekleştirilen çalışmada da bu araştırma sonuçlarını destekleyecek şekilde benzer sonuçlar bulunmuş, havzadaki su kaynaklarının ağır metal kirliliği açısından bir sorun teşkil etmediği ve göl suyunun Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre çok iyi/iyi durumda olduğu belirtilmiştir.

Altundağ, H. Tarafından 2017 yılında gerçekleştirilen çalışmada, Sapanca Gölü'nden alınan 10 istasyondaki su ve sediment örneklerinin ağır metal analiz sonuçları da benzer şekilde göl suyundaki Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni ve Zn ağır metal konsantrasyonlarının WHO (2011) ve TS 266 (2005) su standartlarına göre kabul edilebilir düzeyde olduğu şeklinde rapor edilmiştir.

Karaçoban, Z. 2017 yılında yaptığı çalışma ile Sapanca Gölü su ve sediment örneklerinde bazı ağır metallerin fraksiyonlarını incelemiş ve sonuç olarak; Sapanca Gölü suyundaki Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni ve Zn ağır metal konsantrasyonları WHO ve TS 266 su standartlarına göre kabul edilebilir düzeyde olduğunu bildirmiştir.

Bu çalışmada, suda tespit edilemeyen elementlerin sedimentte birikim yaptığı gözlemlenmiştir. Suda tespit edilmeyen metallerin sedimentte tespit edilmesinin sebebi; sediment partiküllerinin suda bulunan metalleri bünyesine çekmesi, suyun içindeki metalleri bünyesinde barındıran organik ve inorganik moleküllerin ve molekül ağırlığı

yüksek metallerin dibe çökmesi olabilir. Sucul sistemlerde sediment ağır metal birikimi açısından depo görevi üstlenmektedir. Sediment örneklerine bakıldığında her mevsim en az birikim yapan metalin Cd olduğu genel olarak en fazla biriken metallerin ise Fe ve Al olduğu görülmüştür. Fe ve Al miktarlarının göl sedimentinde bol miktarda bulunması yer kabuğunun ana elementlerinden olmaları ve yer kabuğunda fazla miktarda bulunmaları nedeniyle normaldir. Göllerde yapılan sediment çalışmalarında konsantrasyonu en fazla bulunan elementler genellikle Fe ve Al olmaktadır (Taylor 1964, Turekian and Wedepohl 1961, Yaroshevsky 2006). Farklı bölgelerde yapılan birçok çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Omar vd. 2015, Ravisankar vd. 2015).

Ağır metal yoğunluğunun en yüksek olduğu istasyon 7. İstasyon olarak tespit edilmiştir. Bu bölgede lokanta, çay bahçesi, gözleme evi, otel ve alabalık tesisi gibi çok sayıda işletme ile ikincil konut yapılaşmasından kaynaklı yoğun bir çevresel tahribattan söz edilebilmektedir. Türkiyede çoğu tesisinin arıtma sistemlerinin de yeterli düzeyde çalışmadığı göz önünde bulundurulduğunda bu istasyonda antropojenik etkiler ile metal konsantrasyonunda bir artış olduğu düşünülmektedir. 7. istasyonun İstanbul Deresi ağzına yakın bir noktada bulunması da diğer istasyonlara göre metal yoğunluğunun daha fazla olmasında bir etkidir. Belirtilen tesislerden kaynaklanan kirlilik faktörlerinin dere vasıtasıyla göle giriş yapmış olabileceği düşünülmektedir. Arsenik oluşumunda en önemli antropojenik etkenlerden biri de tarım arazilerinde kullanılan tarım ilaçlarından kaynaklanmaktadır (Moore 2005). İstanbul deresi vasıtasıyla civardaki tarım arazilerinde kullanılan tarım ilaçlarının kalıntılarının göle taşınmış olması da 7. İstasyondaki arsenik yoğunluğunda artışa neden olmaktadır.

5. istasyonda görülen bu kurşun konsantrasyonundaki artışın nedeninin gölün güneyinden geçen TEM otoyolunda oluşan lastik kalıntılarının otoyol üzerinde 300-400 m aralıklarla bulunan tahliye kanalları ile göle direk tahliye edilmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Çakır 2010). Göle ulaşan kurşunlu bileşikler sedimentte ciddi birikimlere neden olabilmektedir.

Fergusson tarafından 1990 yılında Sapanca Gölü sedimentindeki ağır metal birikimi üzerine yapılan çalışmada göle Cd ve Pb bakımından giriş sağlayan birincil kaynakların organik madde ve atıklar olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda, sedimentteki kurşun birikiminde, otomobillerden salınan aerosollerin 1. dereceden etkili kaynaklar arasında olduğu gösterilmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde 5. istasyondaki kurşun birikim yoğunluğunun, istasyonun otoyola olan yakınlığından ve balıkçılık faaliyetleri ile turistik amaçlı gerçekleştirilen gezilerde kullanılan teknelerden salınan mazottan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular ve sınır değerler (SQGs) ile olan karşılaştırmalar değerlendirildiğinde; ERL sınır değerinin altında olduğunda, popülasyonun %10'u veya daha azının etkilendiği gözlemlenirken, ERM'nin yüksek değerlerinde popülasyonun %50'sinden fazlasının etkilendiği belirlenmiştir (Abraham vd. 2006). Çalışma bölgesinde yoğun toksik etki gösterme potansiyeline sahip elementlerin durumuna bakıldığında ise en yüksek risk seviyelerine sahip elementlerin Ni ve As olduğu gözlenmektedir. Benzer sonuçlar farklı çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Tunca vd. 2018). Toplam toksik etkinin 2020 sonbahar için %48,45'ini, 2021 ilkbahar için %48,20'sini, 2021 sonbahar dönemi için %70,51'ini ve 2022 ilkbahar için %57,86'sını Ni oluşturmaktadır. Ni, madencilik faaliyetleri başta olmak üzere petrol, ulaşım, evsel ve endüstriyel atıklar gibi antropojenik kaynaklardan çevreye karışmaktadır (Bararunyeretse vd. 2019). Çalışma alanındaki Ni konsantrasyonunda artışın başlıca nedenleri arasında; göl çevresine yakın konumda bulunan kara ve demir yolu ağlarının varlığı, bölgede bulunan çeşitli endüstri kuruluşları ve gözde bir turizm beldesi olması nedeniyle her geçen gün artan nüfusun etkisi gösterilebilir. Mafik ve ultramafik kayaç yapısında da yoğun olarak bulunan Nikel, tektonik bir göl olan Sapanca Gölü havzasında yoğun olarak bulunmaktadır. Her ne kadar, metabolik faaliyetler için esansiyel elementlerden biri de olsa, yüksek konsantrasyonları toksik etki gösteren bir elementtir (Bielmyer vd. 2013; Bocca vd. 2019).

Çalışma kapsamında As değerleri tüm dönemler için TEL seviyesi olan 5,90 ppm'den yüksek bulunurken, PEL, ERM ve ERL seviyelerinin altında bulunmuştur. Bu bulgular

Sapanca Gölü sedimentinde yaşayan canlıların %10'undan azının As seviyesinden etkilendiğini göstermektedir.

Ni için ise durum daha ciddidir. Tüm dönemler için Ni konsantrasyonu değerlendirildiğinde, TEL, ERM, ERL ve PEL seviyelerinin üzerinde bir değere rastlanmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda Göl sedimentinde yaşayan canlıların %50'sinden fazlasının Ni tarafından olumsuz etkilenme potansiyelinde olduğunu söylemek mümkündür.

Konsantrasyonu çok yüksek olmamasına karşın toksisite etkisi nedeniyle Cr da üzerinde durulması gereken bir elementtir. Tüm dönemler için TEL değerinin üzerinde bir konsantrasyona sahip olan Cr, 2021 sonbahar döneminde TEL, PEL, ERM ve ERL değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir. SQGs değerlerine göre çalışılan dönemler içinde en yoğun birikimin 2021 sonbahar döneminde olduğu ve bu durumun sedimentte yaşayan canlılar başta olmak üzere tüm canlıları olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir.

Yüksek gibi görünen bu konsantrasyonların, göl için genel bir değerlendirme yapıldığında problem yaratabilecek seviyelerde olmadığı gözlemlenmektedir. Kontaminasyon faktörü, As için en yüksek değer olan 2021 ilkbahar dönemi için 0,86 olarak tespit edilirken, Ni için ise; yine en yüksek değer As de olduğu gibi 2021 ilkbahar döneminde 4,90 olarak tespit edilmiştir. As'nin değeri sınıflandırma tablosuna bakılacak olduğunda oldukça düşük olarak sınıflandırılırken, Ni'nin değeri kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir. EF verileri de bu sonuçları doğrulamaktadır. Tüm dönemlerdeki EF verileri incelendiğinde. EF verilerine göre en yüksek değer olan 10,55 yine 2021 ilkbahar dönemi için saptanmıştır. 10,55 skalada orta düzeyde bir birikim anlamına gelmektedir. Diğer elementler ve diğer dönemler için EF değerleri incelendiğinde; Co ve Cr'nin çok yüksek ve Ni'nin son derece yüksek değerler olduğu gözlemlenmektedir.

Cd, mCd ve PLI değerleri için tüm elementler genel olarak değerlendirildiğinde 2021 sonbahar döneminin nispeten daha kirli olmakla genel olarak çok düşük bir kirlilik seviyesi olduğu ve genel bir kirlenmeden söz edilemeyeceği saptanmıştır.

Bununla beraber m-PEL-Q değeri, Cd, mCd ve PLI değerleri gibi 2021 sonbahar dönemi için (1,01) diğer dönemlere göre daha yüksek etki bir etkiye sahip iken diğer dönemler için orta düzeyde bir etki seviyesindedir.

m-ERM-Q değeri de diğer sonuçları destekleyecek şekilde 2021 sonbahar dönemi için 3. seviyedeiken diğer tüm dönemler için 2. Seviyededir. Bu durum 2021 sonbahar dönemi için gölde biriken element seviyesinin canlılar üzerinde %49 oranında toksik olma ihtimalinin olduğu diğer dönemler için ise bu oranın %21 olduğu anlamına gelmektedir.

Ülkemizde yapılan benzer çalışmalarda;

Pazarsuyu Deresi'nde EF, CF, Igeo and PERI ekolojik risk indeks analizleri uygulanan çalışmada Pb metalinin sedimentte önemli derecede ekolojik risk oluşturduğu tespit edilmiştir (Ustaoğlu ve Tepe 2019). Gökçekaya Dam Lake'de gerçekleştirilmiş diğer bir çalışmada EF indeksine göre gl sedimenti As ve Pb metalleriince oldukça zengin bulunmuştur. Başka bir deyişle gölün çok yüksek antropojenik etki altında olduğu tespit edilmiştir (Salman Akin ve Kırmızıgül 2017). EF ve Igeo indeksleri kullanılarak Ergene Nehri sediment kalitesinin değerlendirildiği başka bir çalışmada da Cu (EF = 12,1), Ni (EF = 7.89), Zn (EF = 5.73), As (EF = 4.63), Cr (EF = 3.62) ve Ag (EF = 3.12) şeklinde bulunmuştur. EF sonuçlarına göre nehirde orta derecede bir kirlilik tespit edilmiş, Igeo değerleri de bu sonuçları desteklemiştir (Erol vd. 2016). Beyşehir Gölü (Türkiye) sedimentinde yapılmış çalışmada Pb, Cu, Cr, Ni, As, Mn, Al, Fe, Zn metalleri EF ve Igeo indeksleri ile değerlendirilmiş, sedimentin Ni ve As metalleriince yüksek konsantrasyon statüsünde olduğu bildirilmiştir (Ucuncu-Tunca 2016). Çıldır Gölü'nde gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise EF, PERI ve PLI indeksleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda gölün Pb, As ve Cd konsantrasyonu bakımından orta derecede Mn konsantrasyonu bakımından ise orta-yüksek derecede kirli olduğu bildirilmiştir.

Elementler arasında ise Cd ve Hg'nin potansiyel risk faktörü olabileceği belirtilmiştir (Kükreer vd. 2015). Kapulukaya Baraj Gölü'nde EF indeksine göre gerçekleştirilen başka bir çalışmada Cr, Ni ve Hg konsantrasyonlarının çalışılan tüm istasyonlarda kabul edilen ekolojik ve biyolojik sınırların üzerinde olduğu, Mn, As, Ni, Cu, Zn, Cr, Co, Mo ve Cd için insan etkisi tespit edilirken Hg ve Pb için bu etkinin gözlemlenmediği belirtilmiştir (Kankiliç vd. 2013).

#### Dünya Geneline Yapılmış Benzer Çalışmalarda;

Çin'de bulunan Taihu gölü sedimentinde Igeo indeks kullanılarak yapılan çalışmalarda As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn metalleri değerlendirilmiş ve sedimentin Cd metalince kontamine olduğu bildirilmiştir (Yong vd. 2020). Yine Çin'de Weihe Nehri'nde yapılan benzer bir çalışmada EF, Igeo ve CF indeksleri ile Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Mn metallerin analiz edilmiş ve nehrin düşük ekolojik risk değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Ahamad et al. (2020). Kenya'da bulunan Naivasha Gölü'nde CF, EF ve Igeo indeksleri ile değerlendirilen metallere, As, Fe, Mn ve Zn metal konsantrasyonlarının yüksek kirlilik seviyesinde olduğu tespit edilmiştir (Maina vd. 2019). Çin'de bulunan Lishui nehrinde gerçekleştirilen sediment analizinde CF, PLI indeksleri ile yapılan analiz neticesinde sedimentin Pb metalince dikkate değer bir kontaminasyon seviyesinde olduğu tespit edilmiştir (Withanachchi vd. 2018). Georgia'da bulunan Mashavera Nehri'nde EF, Igeo, PLI, CF indeksleri ile değerlendirilen Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Hg, Zn, Mn ve Fe metalleri analiz sonuçlarına göre Cd metalinin ciddi bir kirlilik seviyesinde olduğu belirtilmiştir (Remeikaitė-Nikienė vd. 2018). Pakistan'ın Namal Gölü'nün yüzey sedimentindeki metal kirliliğin tespitinde EF, Igeo, CF, Cd ve PLI indeksleri kullanılmış, sonuç olarak göl sedimentinin Cd, As, Ni, Cr, V, Cu ve Zn, metallerinin antropojenik ve doğal kaynaklı etkiler ile zenginleştiği bildirilmiştir (Javed vd. 2018). Çin'de bulunan Shima Nehri sedimenti analiz sonuçlarına göre EF değerlerinin sırasıyla Cu için 1,62-6,88, Zn için 1,88-16,2 ve Ni için 1,41-6,58 olduğu ve bu durumun sebebinin son dönemlerde göldeki metal girdilerinin artmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Gao vd. 2017).

İncelenen 11 elementin genel profili birikim farklılıkları değerlendirildiğinde, en güçlü pozitif ilişkinin Ni-Cr ve Ni-Co arasında olduğu görülmektedir. Cr ve Ni birikim seviyeleri arasındaki bu güçlü korelasyonun nedeni antropojenik veya ultramafik kayaların yapısal özelliğinden kaynaklı olabilmektedir (Gülşen-Rothmund vd. 2018). Benzer şekilde Ni-Co birikim seviyesi arasındaki korelasyonun da yine kayaç yapısından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından nikel benzerlik gösteren kobaltın genel olarak en yüksek oranda bulunduğu kayaçlar ultramafik (dünit, serpantinit, mafik magmatik kayaçlar, bazalt ve granit) olarak belirlenmiştir (MTA 2023). Tektonik bir oluşum olan Sapanca Gölü'nde bulunan mafik ve ultramafik kayaçların kimyasal ayrışma ürünleri olarak kil mineralleri, Cr, Ni ve Co gibi elementlere rastlanması beklenen bir sonuç olabilmektedir (Wronkiewicz and Condie 1989). Ni elementi aynı zamanda fosil yakıtların, motor yağının ya da kanalizasyon suyunun karıştığı topraklarda da yoğun olarak bulunmaktadır (Çalışkan 2017). Tüm bu veriler doğrultusunda Ni, Cr ve Co arasındaki bu güçlü korelasyonun bölgenin kayaç yapısından ya da antropojenik etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Gülşen -Rothmund vd. (2018) tarafından tıpkı Sapanca gölü gibi tektonik oluşumlu bir göl olan Köyceğiz Gölü'nde yapılan çalışma sonucunda da Ni, Cr ve Co arasında benzer bir korelasyon bulunmuştur.

SQG'ye göre 2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemleri için istasyonlardaki toksik seviye %14 iken, 2021 sonbahar için %49 ve 2022 ilkbahar için de %21 olarak bulunmuştur. Sediment kalite araştırma yöntemleriyle sediment kalitesi incelendiğinde diğer dönemlere göre 2021 sonbahar döneminin daha kontamine olduğu bulunmuştur. Jain ve Sharma tarafından da rapor edildiği gibi, genel olarak tüm metallerin konsantrasyonları yaz aylarında artarken, kış aylarında azalmaktadır. Yazın buharlaşma etkisiyle artan konsantrasyon, kışın yağışların artmasıyla azalmaktadır (Jain ve Sharma 2001). Çalışmamızda da sonbahar döneminde yaz kuraklığından hemen sonra alınan örneklerdeki metal konsantrasyonları, yağışlı kış dönemi sonrasına göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. 2021 sonbahar dönemi analiz sonuçlarının, 2020 sonbahar dönemine göre daha kontamine bulunmuş olmasının sebebinin ise; dünya genelinde yaşanan Covid-19 salgını dolayısıyla turistik faaliyetlerde meydana gelen azalma ile antropojenik etkilerin azalmış olması olabileceği düşünülmektedir. Toplam

toksik birikime her dönem (2020 sonbahar ve 2021 ilkbahar dönemi için %48,5, 2021 sonbahar için %70,51 ve 2022 ilkbahar için %57,86) en fazla katkı Ni tarafından gerçekleştirilmiştir.

## 5.2 Öneriler

Sucul sisteme giren ağır metaller sedimentte ve suda çözülmüş halde ya da su kolonunda partiküllere tutunmuş olarak varlıklarını sürdürmektedirler. Sucul ortamda bulunan ağır metallerin çok düşük miktarı bile toksik etkilere sebep olabilmektedir. Kendiliğinden bozulma ve yok olma gibi bir sürece tabi olmayan ağır metaller, buldukları ortamdaki canlıları etkiledikleri gibi, besin zinciri ile diğer canlıları da etkileyebilmektedir. Artan nüfus ve endüstrileşme ile de sucul ortamlardaki ağır metal kirliliği her geçen gün daha da büyüyen bir sorun olmaktadır.

Sapanca Gölü suyunun, endüstri amaçlı kullanımı ve dönemsel olarak yağışların azalması ile su seviyesinde azalma meydana gelebilmektedir. Bu dönemlerde gölün tek su çıkışı olan Çarksuyu Deresi'nin tahliye kapakları kapatılmaktadır. Bu durum su kalitesinin olumsuz değişimine neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için endüstriyel kullanımlar için su tahsisinin azaltılması gerekmektedir. Bununla birlikte bu tesislerin atık su deşarjlarının kontrolünün sağlanması da önem teşkil etmektedir. Tarım ilaçlarından kaynaklanan kirlenmenin önüne geçebilmek için yöre halkı bilinçlendirilmeli ve evsel atık sulardan kaynaklanan kirlilik de en aza indirilmeye çalışılmalıdır.

Özellikle kirlenmeye daha fazla katkısı olan Ni ağır metalinin kaynağının net bir şekilde belirlenerek bu kirlenmeye karşı tedbir alınması önem arz etmektedir.

Havza genelinde kanalizasyon sisteminden kaynaklanan kirlenme, dereler aracılığı ile göle ulaşmaktadır. Kanalizasyon sistemi geliştirilerek atıksuların buralara bağlanmaya çalışılması gerekmektedir.

Sanayi tesislerinin atık sularından kaynaklanan kirliliğin en aza indirilmeye çalışılması kollektör hatlarıyla atıksuların arıtma tesislerine bağlanması gerekmektedir.

Sapanca Gölü su kalitesi hakkında bilgi sağlamak ve göl ekosistemini korunmasına katkıda bulunmak amacıyla yapılan bu çalışma neticesinde ağır metal kirlilik seviyeleri sınır değerlerin altında belirlenmiştir. Göl havzasında yapılacak olan belirli dönemlerdeki izleme çalışmaları ile su kalitesi ve kirliliği oluşturan kaynaklar ile ilgili daha net bir bilgiye sahip olunarak gerekli tedbirler alınabilecektir. Sapanca Gölü'nün kalite standardının korunması ve içme suyu kaynağı olarak sürdürülebilirliğinin sağlanarak, gelecek nesillere en doğal hakları olan temiz su hakkının verilebilmesi için havza koruma çalışmalarında su kalitesinin belirlenmesi büyük önem teşkil etmektedir.

Sonuç olarak; Sapanca Gölü doğal güzellikleri ile ülkemiz turizminin göz bebeklerindedir. Bu bölgenin korunarak gelecek nesillere aktarılabilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abouhend, A. S. & El-Moselhy, K. M. (2015). Spatial and Seasonal Variations of Heavy Metals in Water and Sediments at the Northern Red Sea Coast. *American Journal of Water Resources* vol 3, 73-85. doi: 10.12691/ajwr-3-3-2
- Abraham, G. M. S. & Parker, R. J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136. 227-238. doi: 10.1007/s10661-007-9678-2
- Ahamad, M. I., Song, J., Sun, H., Wang, X., Mehmood, M. S., Sajid, M., ... Khan J. A. (2020). Contamination level, ecological risk, and source identification of heavy metals in the hyporheic zone of the Weihe River China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). 1070 doi:10.3390/ijerph17031070
- Akbaş, A. (2015). Ordu ili Aşağı Melet ırmağının sedimentte ağır metal birikimi. (Yüksek Lisans Tezi). Giresun Üniversitesi, Giresun.
- Aksoy, A., Sarı, M. & Özdemir, E. (2022). Investigation of heavy metal pollution in Beyşehir Lake (Turkey). *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6). 7057-7068.
- Alkış, M. (2011). Türk şaraplarında ağır metallerin belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Almasoud, F. I., Usman, A. R. & Al-Farraj, A. S. (2014). Heavy metals in the soils of the Arabian Gulf coast affected by industrial activities: analysis and assessment using enrichment factor and multivariate analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 8. 1691-1703. Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/publication/260071052\\_Heavy\\_metals\\_in\\_the\\_soils\\_of\\_the\\_Arabian\\_Gulf\\_coast\\_affected\\_by\\_industrial\\_activities\\_analysis\\_and\\_assessment\\_using\\_enrichment\\_factor\\_and\\_multivariate\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/260071052_Heavy_metals_in_the_soils_of_the_Arabian_Gulf_coast_affected_by_industrial_activities_analysis_and_assessment_using_enrichment_factor_and_multivariate_analysis).
- Almeida, R. M., Soares, A. M. & Loureiro, S. (2021). The occurrence, distribution, and ecological risk assessment of heavy metals in Portuguese lakes. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(30). 41103-41117.
- Alpat, P. (2009). Sapanca Gölü'nde Bulunan Biyoindikatör Su Kuşlarında Ağır Metal Analizleri (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

- Altundağ, H. (2017). Sapanca Gölü Sediment Örneklerinde Ultrasonik ve Mikrodalga Destekli Ardışık Ekstraksiyon Metotları ile Bazı Ağır Metallerin Tayini ve Sedimentlerde Fraktal Boyut Belirlenmesi. TÜBİTAK 3001 Projesi, Ankara.
- Ammann, A. A. (2007). Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP MS): a versatile tool. *Journal Of Mass Spectrometry*, 42. 419– 427, doi: 10.1002/jms.1206
- Aras, B. (2022). Türkiye’de Kentleşme ve Sanayileşmenin Çevre ve Sağlık Üzerindeki Etkileri: Ekonometrik Bir Analiz. (Yüksek Lisans Tezi). Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çevre Sağlığı Anabilim Dalı, Aydın.
- Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B. & Mittal, N. (2008). Heavy Metal Accumulation in Vegetables Irrigated with Water from different Sources. *Food Chemistry*, 111. 811-815. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.04.049
- Asadi, S. S., Rezaei, M. R., Khodaei, M. & Soltanian, S. (2021). Heavy metal pollution of surface sediments in the international wetland of Urmia Lake, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23). 29896-29908.
- Aslam, J. Khan, S.A., & Khan, S.H. (2013). Heavy metals contamination in roadside soil near different traffic signals in Dubai, United Arab Emirates. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17, 315-319. doi: 10.1016/j.jscs.2011.04.015.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). Toxicological Profile For Arsenic. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, August, 599 s.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008). Toxicological Profile for Aluminum. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, September, 357 s.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2012). Toxicological Profile for Chromium. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, September, 592 s.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2012). Toxicological Profile for Manganese. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Us Public Health service.

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). Toxicological Profile for Arsenic. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta (GA): Division of Toxicology.
- Ateş, A. (2017). Sapanca Gölünde Ağır Metal Kütle Denge Modelinin Geliştirilmesi. TÜBİTAK 3001 Projesi. Ankara.
- Authman, M. M. N. (2011). Environmental and experimental studies of aluminium toxicity on the liver of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fish. *Life Science Journal*, 8(4). Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/266013221\\_Environmental\\_and\\_experimental\\_studies\\_of\\_aluminium\\_toxicity\\_on\\_the\\_liver\\_of\\_Oreochromis\\_niloticus\\_Linnaeus\\_1758\\_fish/link/55014fa80cf2d61f821213a9/download](https://www.researchgate.net/publication/266013221_Environmental_and_experimental_studies_of_aluminium_toxicity_on_the_liver_of_Oreochromis_niloticus_Linnaeus_1758_fish/link/55014fa80cf2d61f821213a9/download)
- Aydın, M. ve Tunca, E. (2022). Ecological risk assessment of elemental accumulation under the impact of gold mine. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19. 7093–7112. doi: 10.1007/s13762-021-03632-4
- Balakrishnan, T., Sundaramanickam, A., Shekhar, S. & Balasubramanian, T. (2015). Distribution and seasonal variation of heavy metals in sediments of muthupet lagoon. Southeast Coast of India. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3). 49–60. doi: 10.12911/22998993/2805
- Bararuneretse, P. Zhang Y., & Ji, H. (2019). Molecular biology-based analysis of the interactive effect of nickel and xanthates on soil bacterial community diversity and structure. *Sustainability*, 11(14). doi: 10.3390/su11143888
- Başaran, G. (2010). Kapulukaya Baraj Gölü (Kırıkkale) ve Aşağı Havzası Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi (Doktora Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kırıkkale.
- Bilici Başkan, M., ve Pala, A. (2009). İçme Sularında Arsenik Kirliliği: Ülkemiz Açısından Bir Değerlendirme. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (1). 69-79. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20510/218346>
- Benomar, M., Mendiguchía, C., Er-Raioui, H. & Marhraoui, M. (2015). Distribution of heavy metals in marine sediments of Tetouan coast (North of Morocco) natural and anthropogenic sources. *Environ Earth Science*, 74. 4171–4185. doi: 10.1007/s12665-015-4494-4

- Biçgel, F. B., Kurt, M. A., Yıldırım, Ü., Güler, C. ve Güven, O. (2021). Sivas havzasındaki Eosen volkanizmasından kaynaklanan arsenik kirliliği: Yalıncağ köyü (Hafik, Sivas) eski içme suyu kaynağı. Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2). 511-519. doi: 0.28948/ngumuh.932689
- Bielmyer, G. K., DeCarlo, C., Morris, C. & Carrigan, T. (2013). The influence of salinity on acute nickel toxicity to the two euryhaline fish species, *Fundulus heteroclitus* and *Kryptolebias marmoratus*. *Environmental Toxicology Chemistry*, 32(6). 1354-1359. doi: 10.1002/etc.2185
- Bilhan, O. ve İlalan, F. (2021). Toksik Risk İndeksi (TRI) Kullanılarak Nevşehir İli Kızılırmak Nehri Sedimentlerinde Cr, Zn, Pb, Cu, As Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 438-444. doi: 10.31590/ejosat.1039940
- Binici, A. ve Pulatsü, S. (2022). Assessment of sediment dredging effectiveness by considering overlying water and pore water heavy metals in Mogan Lake, Turkey. *Acta Aquatica Turcica*, 18(1), 038-048. doi: 10.22392/actaquatr.942961
- Bocca, B., Ruggieri, F., Pino, A., Rovira, J., Calamandrei, G., Martinez, M. A., ... Schuhmacher, M., (2019). Human biomonitoring to evaluate exposure to toxic and essential trace elements during pregnancy. Part A. concentrations in maternal blood, urine and cord blood. *Environmental Research* vol. 77. 108599. doi: 10.1016/j.envres.2019.108599
- Bulska, E. & Wagner, B. (2016). Quantitative aspects of inductively coupled plasma mass spectrometry. *Phil. Trans. R. Soc. A374*. 20150369. doi: 10.1098/rsta.2015.0369
- Caeiro, S., Costa, M. H., Ramos, T. B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., ... Painho, M. (2005). Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators*, 5. 151-169. doi: 10.1016/j.ecolind.2005.02.001
- Campbell, J. R. & Auinger, P. (2007). The association between blood lead levels and osteoporosis among adults--results from the third national health and nutrition examination survey (NHANES III). *Environ Health Perspect*, 115(7). 1018-22. doi:10.1289/ehp.9716

- Cervantes, C., Campos-García, E., Devars, S., Gutiérrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, J. C., Moreno-Sánchez, R. (2001). Interactions of Chromium with Micro-Organisms and Plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 25(3). 335-347. doi: 10.1016/S0168-6445(01)00057-2
- Chou, J., Selene, C. H. & Rosa, C. T. D. (2003). Case studiesarsenic. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206. 381-386. doi: 10.1078/1438-4639-00234
- Cicik, B. ve Çiftçi, N. (2003). Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12(48). 32-36. Erişim adresi: <http://edergi.sdu.edu.tr/index.php/esufd/>
- Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (2003). *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences, and Uses*. 2nd Edition. Weinheim: WileyVCH, Germany.
- Çalışkan, N. (2017). Sapanca Gölü Havzasından Alınan Toprak ve Sediment Örneklerinde Ağır Metal Kirliliğinin Ardışık Ekstarksiyon Yöntemiyle Araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, Sakarya.
- Çokadar, H., İleri R., Ateş, A. ve İzgi B. (2003). Nikel(II) iyonunun sulu ortamdan granül aktif karbon (GAK) ile giderilmesi. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 46. 38-42. Erişim adresi: [www.researchgate.net/publication/299540924\\_Nikel\\_II\\_ionunun\\_Sulu\\_Ortamdan\\_Granul\\_Aktif\\_Karbon\\_GAK\\_ile\\_Giderilmesi](http://www.researchgate.net/publication/299540924_Nikel_II_ionunun_Sulu_Ortamdan_Granul_Aktif_Karbon_GAK_ile_Giderilmesi).
- Davraz, A. ve Yıldız, Ş. (2023). Bafa Gölü Havzası Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyası ve Kirliliği. *KİRLİLİĞİ. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1). 145 – 159. doi: 10.21923/jesd.1177864 0.21324/dacd.1208245
- Demirel, H. (2021). Sapanca Gölü Havzasında Ağır Metallerin Birikim Etkisi ve Kütle Denge Modeli. (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, Sakarya.
- Deng, Y. Zhang, Y. Yin, J. & Li, S. (2021). Distribution, ecological risk assessment, and source analysis of heavy metals in surface sediments of a plateau lake, southwest China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31). 42116-42129.

- Devlet Su İşleri. (1983). Sapanca Gölü Hidroloji Raporu. Devlet Su İşleri Planlama-Proje Amirliği, Eskişehir: Devlet Su İşleri.
- Diez, E. G., Corella, J. P., Adatte, T., Thevenon, F. & Loizeau, J. L. (2017). High-resolution reconstruction of the 20th century history of trace metals, major elements, and organic matter in sediments in a contaminated area of Lake Geneva, Switzerland. *Applied Geochemistry*, 78. 1-11. doi: 10.1016/j.apgeochem.2016.12.007
- Duman, F. (2005). Sapanca ve Abant Gölü Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Duman, F., Sezen, G. ve Gül Nilhan, T. (2007). Seasonal Changes Of Some Heavy Metal Concentrations In Sapanca Lake Water, Turkey. *International journal of natural and engineering sciences*, 1(3). 25-28. Erişim adresi: <https://avesis.erciyes.edu.tr/yayin/7677c7f6-7679-4629-97c4-28c333d663a1/seasonal-changes-of-some-heavy-metal-concentrations-in-sapanca-lake-water-turkey>
- Dündar, M. Ş., Altundağ, H., Boz, V., Akkaya, K., ve Sayın, M. (2003). Sapanca Gölüne Akan Derelerdeki Bazı Eser Elementlerin 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Analizi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2). 205-210. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/39577/sapanca-golune-akan-derelerdeki-bazi-eser-elementlerin-17-agustos-1999-marmara-depremi-oncesi-ve-sonrasi-karsilastirmali-analizi>.
- Dr. Ministerios do Ambiente e Recursos Naturais. (1995). Classificaçao de materiais dragados. Dia'rio da Republica DR II serie, despacho conjunto dos ministerios do ambiente e recursos naturais e do Mar, 141. Portugal.
- Ebrahimi, Z., Loni, M., Daneshtalab, M., & Gharehbaghi, A. (2020). A Review on deep learning methods for ECG arrhythmia classification. *Expert Systems With Application: X*, vol.7. 100033. doi: 10.1016/j.eswax.2020.100033
- Emre, M. (2000). Nikelli ve Nikelsiz Altın Alaşımlarının Geniş Bir Bileşim Aralığında Fiziksel, Kimyasal, Mekanik ve Allerjen Özelliklerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- Fadare, O. A. Wan, J. Ma, Y. Zhang, G. ve Ji, R. 2020. Heavy metal pollution and ecological risk assessment in surface sediments of selected urban wetlands in Lagos, Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 23222-23233.
- Fergusson, J. E. (1990). *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, U.K.
- Fikirdeşici Ergen, ř. (2020). Sediment-Friendly Formulas: A Review On The Sediment-Friendly Formulas: A Review On The Sediment Quality Guidelines. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Ser. C Biology*, 29(2). 202-212. Erişim adresi: [dergipark.org.tr/en/pub/communc/issue/55192/752085](http://dergipark.org.tr/en/pub/communc/issue/55192/752085)
- Fikirdeşici-Ergen, ř., Tekatlı, Ç., Gurbüzer, P., Üçüncü-Tunca, E., Türe, H., Biltekin, D., Kurtuluş, B., ve Tunca, E. (2021). Elemental accumulation in the surficial sediment of Kesikköprü, Çubuk II and Asartepe Dam Lakes (Ankara) and potential sediment toxicity. *Chemistry and Ecology*, 37(6). 552-572, doi: 10.1080/02757540.2021.1902509
- Fikırdeşici Ergen, ř., Mutlu Eyison, H. ve Altındağ, A. (2019). Metal Accumulation Profile In Crayfish Tissues From Çomar Stream. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series C*, 28, (1). 114-127. Erişim adresi: [dergipark.org.tr/tr/pub/communc/issue/45050/587215](http://dergipark.org.tr/tr/pub/communc/issue/45050/587215).
- Gao, L., Wang, Z., Shan, J., Chen, J., Tang, C., & Yi, M. (2017). Aquatic environmental changes and anthropogenic activities reflected by the sedimentary records of the Shima River, Southern China. *Environmental Pollution*, 224. 70-81. doi: 10.1016/j.envpol.2016.12.056
- Government of Canada. (2016). *Manganese in drinking water*. Canada: Document for public consultation Government of Canada Publications, 116p.
- Gray, P. J., Conklin, S. D., Todorov, T. I., & Kasko, S. M. (2015). Cooking Rice in Excess Water Reduces Both Arsenic and Enriched Vitamins in the Cooked Grain. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 33 (1). 78-85. doi: 0.1080/19440049.2015.1103906
- Guo, W., Huo, S., & Ding, W. (2015). Historical record of human impact in a lake of northern China: Magnetic susceptibility, nutrients, heavy metals and OCPs. *Ecological Indicators*, 57. 74-81. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.04.019

- Gül, G. (2021). Delice Irmağı (Kızılırmak) İhtiyofaunası ve Bazı Su Kalite Parametrelerinin Araştırılması. (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Gülşen-Rothmund, H. İ., Avşar, Ö., Avşar, U., Kurtuluş, B., ve Tunca, E. (2018). Spatial distribution of some elements and elemental contamination in the sediments of Köyceğiz Lake (SW Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 77. 1-24. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7724-8>.
- Gür, M. K., Altındağ, A., ve Korkmaz, S. (2019). Sapanca Gölü'ndeki su kirliliği ve çevre sorunları. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1). 134-140.
- Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*, Vol. 2. WILEYVCH, Germany.
- Hahladakis, J., Smaragdaki, E., Vasilaki, G. & Gidarakos, E. (2013). Use of Sediment Quality Guidelines and pollution indicators for the assessment of heavy metal and PAH contamination in Greek surficial sea and lake sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185. 2843-2853. doi: 10.1007/s10661-012-2754-2
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sediment ecological approach. *Water Research*, 14. 975-1001. doi: 10.1016/0043-1354(80)90143-8
- Huang, H., OU, W., Wang, L. (2006). Semivolatile organic compounds, organochlorine pesticides and heavy metals in sediments and risk assessment in Huaihe River of China. *Journal of Environmental Sciences*, 18. 236-241. doi: 10.1016/S1001-0742(06)60065-X
- Irshad, S., Xie, Z., Wang, J., Nawaz, A., Luo, Y., Wang, Y. ... Mehmood, S. (2020). Indigenous strain *Bacillus XZM* assisted phytoremediation and detoxification of arsenic in *Vallisneria denseserrulata*. *J Hazard Mater*, 381. 31400717. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.120903
- Islam, M. S., Hossain, M. B., Matin, A. & Sarker, I. (2018). Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary Bangladesh. *Chemosphere*, 202. 25-32, doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.077

- Jain, C. K., & Sharma, M. K. (2001). Distribution of trace metals in the Hindon River system, India. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 253. 81–90. doi:10.1016/S0022-1694(01)00484-X
- Jain, C. K., Singhal, D. C. & Sharma, M. K. (2005). Metal Pollution Assessment Of Sediment And Waterin The River Hindon, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105. 193–207. doi: 10.1007/s10661-005-3498-z
- Jamshidi-Zanjani, A. & Saeedi, M. (2013). Metal pollution assessment and multivariate analysis in sediment of Anzali International Wetland. *Environmental Earth Sciences*, 70. 1791-18. doi:10.1007/s10661-007-9678-2
- Javed, T., Ahmad, N., & Mashiatullah, A. (2018). Heavy metals contamination and ecologicalRiskAssessment in surface sediments of Namal Lake, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(2). 675–688. doi: 10.15244/pjoes/75815
- Kaçmaz, M. (2010). Sapanca Gölü Havzası'nda arazi kullanımı ve mekânsal değişim. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı,199, İstanbul.
- Kaçmaz, M., ve Döker, M.F. (2021). Sapanca Gölü Havzası'nda Arazi Kullanımı ve Mekânsal Değişim. *Coğrafi Bilimler Dergisi/ Turkish Journal of Geographical Sciences*, 19(1). 161-194. doi: 10.33688/aucbd.872216
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2004). Metallerin Çevresel Etkileri III. iTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Seminer çalışması 24s, İstanbul.
- Kankılıç, G. B., Tüzün, I., ve Kadioğlu, Y. K. (2013). Assessment of heavy metal levels in sediment samples of Kapulukaya Dam Lake (Kirikkale) and lower catchment area. *Environ Monit Assess*, 185(8). 6739-6750. doi: 10.1007/s10661-013-3061-2
- Karaçoban, Z. (2017). Çeşitli Ardışık Ekstraksiyon Yöntemleri ile Sapanca Gölü Sediment Örneklerinde Bazı Ağır Metallerin Fraksiyonlarının İncelenmesi. (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Sakarya.
- Katip, A., Karaer, F., ve Özengin, N. (2014). Otomotiv sektörünün çevresel açıdan değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*,19(2). 53. Erişim adresi: [dergipark.org.tr/tr/download/article-file/202913](http://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/202913)

- Khan, N., Jeong, I. S., Hwang, I. M., Kim, J. S., Choi, S. H., Nho, E. Y., ... Kim, K.S. (2014). Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry*, 147. 220-224. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.09.147
- Kılçık, F. (2021). Çevre Etiği Çerçevesinde Sucul Ekosistemler ve Biyolojik İzleme. *Tabala rasa Felsefe & Teknoloji dergisi*, (36). 53-60. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2146489>
- Kıvanç, E. H., ve Külâh, C. (2014). Sapanca Gölü suyundaki bazı ağır metallerin seviyeleri. *Ekoloji*, 23(90). 60-66.
- Kimbrough, D.E., Cohen, Y., Winer, A. M., & Creelman, L. (1999). A Critical Assessment of Chromium in the Environment. *Critical Reviews In Environmental Science and Technology*, 29. 1-46. Doi: 10.1080/10643389991259164
- Kökçü, C.A. (2016). Sapanca Gölü Ekolojik Kalitesinin Makroomurgasızlara Dayalı Olarak Su Çerçeve Direktifi (SÇD) Doğrultusunda Değerlendirilmesi. (Doktora tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kumar, V., Kumar, P., Singh, S. K. & Singh, M. K. (2020). Assessment of water quality and heavy metal contamination in Dal Lake of Jammu and Kashmir, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(22). 27340-27352.
- Kuo, Y. T., Chen, C. W., Chen, Y. H. & Chen, C. F. (2021). The distribution and sources of heavy metals in surface waters of Sun Moon Lake, Taiwan. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(38). 52101-52113.
- Kükürer, S., Erginal, A. E., Şeker, S., Karabıyıköğle, M. (2015). Distribution and environmental risk evaluation of heavymetal in core sediments from Lake Çıldır (NE Turkey). *Environmental Monitoring Assessment*, 187. 453. doi: 10.1007/s10661-015-4685-1
- Li, X., Li, X., Sun, Y., Xu, C. & Wang, H. (2021). Distribution, sources, and ecological risk assessment of heavy metals in water and sediments of Taihu Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17). 21462-21472.
- Long E. R., Macdonald, D. D., Severn, C. G. & Hong, C. B. (2009). Classifying the probabilities of acute toxicity in marine sediments with empirically derived sediment quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19. 2598–2601. doi: 10.1002/etc.5620191028

- Long, E. R. & Morgan, L. G. (1991). The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. National Oceanic and Atmospheric Administration, 175, Seattle, Washington.
- Macit, A. K. (2010). Sapanca Gölü'nün (Adapazarı) Mikrobiyolojik ve Kimyasal Kirlilik Düzeylerinin Saptanması. (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maina, C. W., Sang, J. K., Raude, J. M. & Mutua, B. M. (2019). Geochronological and spatial distribution of heavy metal contamination in sediment from Lake Naivasha, Kenya. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 12(1). 37-54. doi: 10.1080/16878507.2019.1593718
- Manav, R. (2023). Bafa Gölü Sedimentinde Kronolojik Ağır Metal Birikiminin <sup>210</sup>Pb Sediment Yaş Tayini ile Belirlenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13 (1). 22-28. doi: 10.35354/tbed.1134712
- Mandal, B. K. & Suzuki, K. T. (2002). Arsenic round the world: A Review. *Talanta*, 58(1). 201-235. doi: 10.1016/S0039-9140(02)00268-0
- Masindi, V. & Muedi, K. L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. *Heavy metals*, 10. 115-132. doi:10.5772/intechopen.76082
- Minareci, O. ve Çakır, M. (2018). Adıgüzel Baraj Gölü'nde (Denizli/Türkiye) Deterjan, Fosfat, Bor ve Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1). 61-67. doi: 10.21597/jist.407817
- Mirsalari, A. R. S. Z. (2014). Distribution and seasonal variation of heavy metal in surface sediments from Arvand River, Persian Gulf. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 4-3. doi: 10.4172/2155-9910.1000150
- Moore, K. (2005). Treatment of arsenic contaminated groundwater using oxidation and membrane filtration (Master's Thesis). University of Waterloo. Waterloo, Ontario, Canada.
- Muşmal, H. (2021). Beyşehir Araştırmaları (Tarih, Kültür, Sanat, Turizm, Sanayi ve Ticaret Şehri Beyşehir Kitabı). Ankara: Palet Yayınları.
- Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2. 108-118.

- Oberholster, P. J., Myburgh, J. G., Ashton, P. J. & Botha, A. M. (2010). Responses of phytoplankton upon exposure to a mixture of acid mine drainage and high levels of nutrient pollution in Lake Loskop, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(3). 326-335. doi: 10.1016/j.ecoenv.2009.08.011
- Ognjanovic, B. I., Markovic, S. D., Pavlovic, S. Z., Zikic, R. V., Stajn, A. S., Saicic, Z. S. (2008). Effect of chronic cadmium exposure on antioxidant defense system in some tissues of rats: Protective effect of selenium. *Physiological Research*, 57. 403–411. doi: 10.33549/physiolres.931197
- Oğuz, T. C. (2015). İçme Suyu Arıtımında Yaygın Olarak Karşılaşılan Su Kalite Problemleri ve Arıtımı İçin Çözüm Önerileri (Uzmanlık Tezi). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Okgerman, H. ve Altuğ, G. (2008). Sapanca Gölü'ne Bilimsel Açıdan Bakış. İstanbul: TÜDAV Yayınları No: 28.
- Okudan, M. D. (2009). Kobalt ve molibden içeren kullanılmış hidrodesülfürizasyon (HDS) katalizör atıklarına asidik ve alkali liç uygulaması (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kütahya.
- Oruçoglu, K. ve Beyhan, M. (2019). Göller Bölgesi Göllerinde ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 3 (1). 10-20. doi: 10.30516/bilgesci.449984
- Osmanoğlu, Ş. ve Özalp, M. (2023). İnsan Kaynaklı Etmenlerin Murgul Deresinin Bazı Su Kalitesi Parametreleri Üzerindeki Zamansal ve Mekânsal Etkilerinin Belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1). 136-151. doi: 10.21324/dacd.1208245
- Özbolet, G., ve Tuli, A. (2019). Demir Fazlalığı İçin Şelasyon Tedavisi ve Şelasyon Ligandları. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 28(1). 66-81. doi: 10.17827/aktd.404814
- Özden, Y. (2008). Enne ve Porsuk Barajı sedimentine bağlı ağır metallerin *Cyprinus carpio*'nun değişik dokularına biyoakümüülasyonunun araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Özkan G. (2009) Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısız Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

- Parween, M., Ramanathan A. L. & Janardhana R. N. (2021). Assessment of toxicity and potential health risk from persistent pesticides and heavy metals along the Delhi stretch of river Yamuna. *Environmental Research*, 202. 111780. doi: 10.1016/j.envres.2021.111780
- Ravisankar, R., Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Kanagasabapathy, K. V., Prasad, M. V. R. & Satapathy, K. K. (2015). Statistical assessment of heavy metal pollution in sediments of east coast of tamilnadu using energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy (EDXRF). *Applied Radiation and Isotopes*, 102. 42-47. doi: 10.1016/j.apradiso.2015.03.018
- Remeikaite-Nikiene, N., Garnaga-Budre, G., Lujaniene, G., Joksas, K., Stankevicius, A., ... Bariseviciute R. (2018). Distribution of metals and extent of contamination in sediments from the south-eastern Baltic Sea (Lithuanian zone). *Oceanologia*, 60(2). 193-206. doi: 10.1016/j.oceano.2017.11.001
- Sakarya Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü (2021). Sakarya İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu. Sakarya: Sakarya Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü.
- Salman-Akin, B. & Kırmızıgül, O. (2017). Heavy metal contamination in surface sediments of Gökçekaya Dam Lake, Eskişehir, Turkey. *Environ Earth Science*, 76. 402. doi: 10.1007/s12665-017-6744-0
- Sakarya Büyükşehir Belediye Başkanlığı Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü. (2013). Sapanca Gölü Havzası özel hüküm belirleme ve havza koruma planı projesi. Sakarya: Sakarya Büyükşehir Belediye Başkanlığı Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., ve Ocak, S. (2018). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2). 91-103. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ucbad/issue/38487/447131>
- Smith, S. L., Macdonald, D. D., Keenleyside, K. A., Ingersoll, C. G. & Field, L. J. (1996). A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal of Great Lakes Research*, 22. 624-638. doi: 10.1016/S0380-1330(96)70985-1
- Sönmez, A. Y., Kadak, A. E., Özdemir, R. C., ve Bilen, S. (2016). Kastamonu kıyılarından yakalanan bazı ekonomik balık türlerinde ağır metal birikiminin tespiti. *Alınteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 31(B). 84-90. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/267500>

- Sun, Y., Li, X., Xu, C., Yu, H. & Wang, H. (2021). Characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in Fuxian Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32). 44598-44609. doi: 10.18307/2019.0107
- Şavran, G., ve Küçük, F. (2022). Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1). 65-78. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2611493>
- Şener, E. ve Doğru, A. (2018). Sapanca Gölü'ndeki su kalitesinin belirlenmesi ve çevre sorunları. *Ekoloji Dergisi*, 27(105). 11-22.
- Şener, Ş. ve Şener, E. (2015). Kovada Gölü (Isparta) dip sedimanlarında ağır metal dağılımı ve kirliliğinin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2). 86-96. doi: 10.19113/sdufbed.40151
- Taylor, S. R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim Cosmochim Acta*, 28. 1273-1285.
- Tunca, E., Aydın, M. & Şahin, Ü. A. (2018). An ecological risk investigation of marine sediment from the northern Mediterranean coasts (Aegean Sea) using multiple methods of pollution determination. *Environmental Science Pollution Research*, 25(8). 7487-7503. doi: 10.1007/s11356-017-0984-0
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin* 72. 175-192. doi: 10.1130/0016-7606(1961)72
- TÜBİTAK. (2010). Sapanca Gölü'nün Öncelikli Kirlilik Kaynaklarına Özgü Kontrol Teknolojilerinin Araştırılıp Geliştirilerek Göl Havzası İçin Uyarlanması, Teknik Rapor. Ankara: TÜBİTAK.
- Tünay, S. (2015). Sapanca havzası yan dereleri ve sapanca gölündeki fosfor yüklerinin belirlenmesi (Yüksek lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği anabilim Dalı,12, Sakarya.
- Türközü, D. ve Şanlıer, N. (2012). Gıdalardaki Ağır Metal Kontaminasyonları: Genel Bakış. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26 (4). 73-80. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3110732>

- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. & Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresuntersuchungen*, 33. 566-575. doi: 10.1007/BF02414780
- Twaddle, N. C., Beland, F. A. & Doerge, D. R. (2019). Metabolism and disposition of arsenic species from controlled dosing with sodium arsenite in adult and neonatal rhesus monkeys. VI. Toxicokinetic Studies Following Oral Administration. *Food and Chemical Toxicology* 133. doi: 10.1016/j.fct.2019.110760
- Ucuncu Tunca, E. (2016). Beyşehir gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi, Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(2). 205-219. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ordubtd/issue/27365/287992>
- Uçkun, A. A., Yoloğlu, E., ve Uçkun, M. (2017). Seasonal Monitoring of Metals in Water, Sediment and Mussel (*Unio mancus*) from Atatürk Dam Lake (Euphrates River). *Van Veterinary Journal*, 28 (2). 75-83. doi: 10.1016/j.bse.2018.05.006
- Ustaoglu, F. ve Tepe, Y. (2019). Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. *International Soil and Water Conservation Research* 7(1). 47-56. doi: 10.1016/j.iswcr.2018.09.001
- Uzun, A., Keleş, R. ve Bal, İ. (2014). Sapanca Gölü İçme Suyu Havzasında Otoyol ve Demiryolundan Kaynaklanan Kirliliğin Yağmur Suyu Sulak Alan Metoduyla Giderilmesi. *Akademik Platform*, 09-15. doi: 10.5505/apjes.2014.58076
- Uzun, M. (2016). Sapanca Gölü kıyıları ve yakın çevresinde jeomorfolojik birimlerle me kan kıyı kullanımı ilişkisinin incelenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 33. 465-492. doi: 10.14781/mcd.96528
- Uzunoğlu, O. (1999). Gediz Nehri'nden alınan su ve sediment örneklerinde bazı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H. & Coudret, A. (2005). Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. *Chemosphere*, 59. 1005-1013. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.11.030

- Vella, V., Malaguarnera, R., Lappano, R., Maggiolini, M. & Belfiore, A. (2017). Recent views of heavy metals as possible risk factors and potential preventive and therapeutic agents in prostate cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 457. 57-72. doi: 10.1016/j.mce.2016.10.020
- Yalçın, N. ve Sevinç, V. (2001). Heavy Metal Contents of Lake Sapanca. *Turkish Journal of Chemistry*, 25(4). Erişim adresi: <https://journals.tubitak.gov.tr/chem/vol25/iss4/16>
- Yurtseven, Y. (2009). Etial 177 Alaşımının Dökümünde Makro ve Mikro Porozite Oluşumunun Modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Walton, R. C., McCrohan, C. R., Livens, F. R., & White, K. N. (2009). Tissue accumulation of aluminium is not a predictor of toxicity in the freshwater snail, *Lymnaea stagnalis*. *Environmental Pollution*, 157(7). 2142-2146. doi: 10.1016/j.envpol.2009.02.009
- Wang, X., Zhang, H., Liu, S., Tang, L. & Shao, H. (2021). The distribution, sources and ecological risk of heavy metals in sediments of Poyang Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45). 62053-62064. doi: 10.1007/s00128-019-02577-2
- Withanachchi, S. S., Ghambashidze, G., Kunchulia, I., Urushadze, T. & Ploeger, A. (2018). Water quality in surface water: a preliminary assessment of heavy metal contamination of the Mashavera River, Georgia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4). 621. doi: 10.3390/ijerph15040621
- Wronkiewicz, D. J. & Condie, K. C. (1989) Geochemistry and provenance of sediments from the Pangola Supergroup, South Africa: evidence for a 3.0 Ga-old continental craton. *Geochim Cosmochim Acta* 53. 1537-1549. doi: 10.1016/0016-7037(89)90236-6
- Xu, Z. Q., Ni, S. J. and Tuo, X. G. (2008). Calculation of heavy metals toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index. *Environmental Science and Technology*, 31. 112-115. Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/publication/284490489\\_Calculation\\_of\\_heavy\\_metal%27s\\_toxicity\\_coefficient\\_in\\_the\\_evaluation\\_of\\_Potential\\_Ecological\\_Risk\\_Index](https://www.researchgate.net/publication/284490489_Calculation_of_heavy_metal%27s_toxicity_coefficient_in_the_evaluation_of_Potential_Ecological_Risk_Index)

- Yaroshevsky, A. A. (2006). Abundances of chemical elements in the Earth's crust. *Geochem Int.* 44(1). 48-55. doi: 10.1134/S001670290601006X
- Yıldırım, H. (2002). Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Sapanca Gölü Geçişi ve Etkileri (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldız, K., Sipahioğlu, Ş. ve Yılmaz, M. (2005). Çevre Bilimi. Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık Ankara.
- Yong, N., Jiang, X. X., Wang, K. & Xia, J. (2020). Meta analysis of heavy metal pollution and sources in surface sediments of Lake Taihu, China. *The Science of The Total Environment* 700(1). 134509. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134509
- Zhan, S., Zhan, J., Yang, Y., Wang, L. & Liao, X. (2021). Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in lake sediments: A case study of East Lake, Wuhan, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31). 41694-41709.