

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**MOGAN GÖLÜ'NDE (ANKARA) DİP TARAMA UYGULAMALARI
SONRASI SEDİMENTİN KİRLİLİK DURUMUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Arzu BİNİCİ

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2022**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

MOGAN GÖLÜ'NDE (ANKARA) DİP TARAMA UYGULAMALARI SONRASI SEDİMENTİN KİRLİLİK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arzu BİNİCİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Su Ürünleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serap PULATSÜ

Bu çalışmanın amacı; bir göl yönetim uygulaması olan sediment tarama (uzaklaştırma) ertesini, sedimentin besin elementleri ile ağır metallerin mevcut düzeylerinin belirlenmesi ve her iki unsur açısından kirlenme durumunun bazı indeksler hesaplanarak değerlendirilmesidir. Araştırma bulgularına göre; a) Sedimentte kalite parametreleri; organik madde: (%)4,59-19,83; toplam organik karbon: (%)<0,1-6,30; toplam azot: (%)<0,1-0,70; toplam fosfor: (%)0,07-0,32 ve redoks potansiyeli: -9,5 ve -50,5 mV arasında değişmiştir, b) Besin elementleri bağlamında; kirlenme indeksi, organik indeks ve organik azot indeksi değerlerine göre en fazla azotla kirlendiği, zenginleşme faktörü indeksine göre ise, en çok zenginleşme gösteren besin elementinin toplam fosfor olduğu belirlenmiştir, c) Genel olarak sediment gözenek suyu ağır metal konsantrasyonları (0,69-330,50 µ/L), sediment üstü su konsantrasyonlarından (0,61-129,0 µ/L) yüksektir, d) Aylar ve istasyonlar dikkate alındığında; ağır metal dizilimi Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg şeklindedir, e) Tüm ağır metaller içerisinde Cu, As, Cd en yüksek zenginleşme ve kontaminasyon faktörlerine sahip ağır metaller olarak saptanmıştır. Kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri (1,30-2,26) sedimentin ağır metallerle kirlenmesini desteklemektedir. Jeokümülyasyon indeks (I_{geo}) değerleri ise, her iki istasyon ve ayda Pb bakımından yoğun kirlenme olduğuna işaret etmektedir. Potansiyel ekolojik risk faktörleri (Er^i) açısından, Cd önemli düzeyde potansiyel ekolojik riske sahip bulunmuştur. Bütünleşik ekolojik risk faktörleri (PER), gölde tüm ağır metaller bazında orta düzeyli bir ekolojik riski göstermektedir. Ni ve As biyolojik açıdan olumsuz etkileri olan metallerdir. Sonuçlar; a) Sediment tarama girişiminin, sedimentteki kirlenmenin indirgenmesi açısından çok etkin olmadığı, b) Göl havzasındaki antropojenik kirleticiler süregeldikçe, sedimentteki ağır metal (özellikle Cu, As, Cd, Pb) düzeylerinin rutin olarak izlenmesi gereği yönündedir. Bulguların, ilgili kurumların ve yerel yönetimin sediment odaklı izleme çalışmalarına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Şubat 2022, 118 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mogan Gölü, sediment tarama, ağır metal, sediment üstü su, sediment gözenek suyu

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

ASSESSMENT OF THE POLLUTION STATUS OF SEDIMENT AFTER BOTTOM DREDGING APPLICATIONS IN LAKE MOGAN (ANKARA)

Arzu BİNİCİ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Fisheries and Aquaculture

Supervisor: Prof. Dr. Serap PULATSÜ

The aim of this study is to determine the current levels of nutrients and heavy metals of sediment after sediment dredging (removal), which is a lake management practice and to evaluate the pollution status by calculating some indexes in terms of both elements. According to the research findings; a) Sediment quality parameters (%); organic matter: 4.59-19.83; total organic carbon: <0.1-6.30; total nitrogen: <0.1-0.70; total phosphorus: 0.07-0.32 and redox potential: varied between -9.5 and -50.5 mV, b) According to the pollution index, organic index, and organic nitrogen index values, the sediment is most polluted with nitrogen in terms of nutrients, according to the enrichment factor index, it was determined that the most enriched nutrient was total phosphorus. c) Generally, sediment porewater heavy metal concentrations (0.69-330.50 µ/L) were higher than overlying water (0.61-129.0 µ/L) concentrations, d) Considering both stations and months, the sequence of mean heavy metal concentrations in the sediment is Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg, e) Cu, As, and Cd were identified as the heavy metals with the highest enrichment and contamination factors among all heavy metals. Pollution load index (PLI) values (1.30-2.26) support heavy metal contamination of sediment. The geoaccumulation index (I_{geo}) values indicate that Pb pollution is severe in both stations and months. Cd was discovered to have a significant potential ecological risk factor (Er^1) in terms of potential ecological risk. The integrated ecological risk factors (PER) indicate that all heavy metals in the lake pose a moderate ecological risk. Ni and As are metals that have a negative impact on biology. As a result, a) The sediment screening initiative is ineffective in reducing pollution in the sediment, b) As anthropogenic pollutants persist in the lake basin, there is a need for routine monitoring of heavy metal (particularly Cu, As, Cd, and Pb) levels in sediment. The findings are expected to help the relevant institutions and local governments with their sediment-oriented monitoring studies.

February 2022, 118 pages

Key Words: Mogan Lake, sediment dredging, heavy metal, sediment overlying water and sediment pore water

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan, sevgili ve kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Serap PULATSÜ'ye, çalışmalarımın özellikle laboratuvar aşamasında bilgi ve önerileriyle desteklerini esirgemeyen, aynı zamanda Tez İzleme Komitesi üyelerinden Ankara Üniversitesi Su Ürünleri Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Akasya TOPÇU'ya ve Tez İzleme Komitesi üyesi ve Gazi Üniversitesi, Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Hikmet KATIRCIOĞLU'na, tez çalışmamın ağır metal analizlerini yapan ODTÜ Merkez Kimyasal Analiz Laboratuvarı'ndan Uzman Serap KAYA ve Su Ürünleri Mühendisi Sultan ATALAY'a, çalışmalarımın istatistik analizler safhasında önemli katkılarda bulunan Ankara Üniversitesi Tarım Politikası ve Yayım Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Özdal KÖKSAL ve Hacettepe Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Dr. Nurbanu BURSA'ya, çalışmalarımın ilk arazi aşamasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Tolga COŞKUN'a, doktora sürecim boyunca ihtiyaç duyduğum anlayış ve yardımı gösteren T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı yönetici ve personel mesai arkadaşlarıma, çalışmalarım süresince ve bütün hayatımda yüreğindeki koşulsuz sevgisi, şefkati ve üzerimdeki paha biçilemez emeği ile yüreğimde özlemi hiç dinmeyecek sevgili ve kıymetli annem Makbule BİNİCİ'ye, her zaman bana olan sevgi ve inançları ile maddi-manevi desteklerini esirgemeyen sevgili ve kıymetli babam Süleyman BİNİCİ ve ağabeyim Burhan BİNİCİ'ye en derin duygularla teşekkür ederim.

Bu tez çalışması (19L0447010 Proje Numaralı), Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Arzu BİNİCİ
Ankara, Şubat 2022

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ ve KAPSAM.....	4
2.1 Türkiye Dışında Bazı Göllerde Yürütülmüş Çalışmalara İlişkin Bildirişler.....	4
2.2 Türkiye’de Bazı Göllerde Yürütülmüş Çalışmalara İlişkin Bildirişler.....	18
2.3 Mogan Gölü’nde Yürütülmüş Güncel Çalışmalara İlişkin Bildirişler.....	34
2.4 Göl Yönetiminde Sediment Tarama Uygulamalarına İlişkin Bildirişler.....	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	45
3.1 Materyal.....	45
3.1.1 Araştırma alanı.....	45
3.1.2 Araştırma istasyonları.....	46
3.1.3 Araştırma alanında kullanılan araçlar.....	46
3.1.4 Laboratuvarda kullanılan araçlar.....	47
3.2 Yöntem.....	47
3.2.1 Saha çalışması.....	47
3.2.2 Laboratuvar çalışması.....	47
3.2.2.1 Sediment üstü suya ilişkin analizler.....	47
3.2.2.2 Sediment örneklerinde ölçüm ve analizler.....	48
3.2.2.3 Sediment gözenek suyunun eldesi ve analizleri.....	49
3.2.3 Sedimentteki besin elementlerine ilişkin indeksler.....	49
3.2.3.1 Kirlenme indeksi (Ki).....	49
3.2.3.2 Zenginleşme faktörü (ZFi).....	49
3.2.3.3 Organik indeks ve organik azot indeksi.....	50
3.2.4 Sedimentteki ağır metal kirlenmesine ilişkin indeksler.....	50
3.2.4.1 Zenginleşme faktörü (EF).....	50
3.2.4.2 Kontaminasyon (kirlilik) faktörü (CF).....	51
3.2.4.3 Kontaminasyon (kirlilik) derecesi (Ca).....	51

3.2.4.4 Kirlilik yük indeksi (PLI)	51
3.2.4.5 Jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}).....	51
3.2.5 Metallerin toksik etkilerine ilişkin indeksler	52
3.2.5.1 Potansiyel ekolojik risk (Er^1) faktörü	52
3.2.5.2 Bütünleşik ekolojik risk faktörü (PER)	52
3.2.6 Metallerin kombine biyolojik etkilerine ilişkin hesaplamalar	53
3.2.6.1 Toplam toksik ünite (ΣTU_s) ve oransal toksik ünite (Oransal TU)	53
3.2.6.2 Ortalama olası etki konsantrasyonu oranı (mPEC-Q)	53
3.2.7 İstatistiksel analizler	53
4. ANALİZ ve BULGULAR.....	54
4.1 Saha Çalışmasına İlişkin Bulgular	54
4.1.1 Su sıcaklığı	54
4.1.2 Çözünmüş oksijen konsantrasyonu	54
4.1.3 pH	55
4.1.4 Redoks potansiyeli.....	55
4.2 Laboratuvar Çalışmasına İlişkin Bulgular	56
4.2.1 Sedimentte tekstür (bünye) tayini	56
4.2.2 Organik madde (OM, %)	57
4.2.3 Toplam organik karbon (TOK, %)	57
4.2.4 Toplam azot (TA, %)	58
4.2.5 Toplam fosfor (TF, %).....	58
4.2.6 Sediment üstü su ağır metal konsantrasyonları	58
4.2.7 Sediment gözenek suyu ağır metal konsantrasyonları	61
4.2.8 Sediment ağır metal konsantrasyonları	62
4.2.9 Sediment ağır metal konsantrasyonlarının sediment kalite kriterleri (SQS) ile karşılaştırılması	65
4.3 Sedimentte Besin Elementlerine İlişkin Bulgular	69
4.3.1 Kirlenme indeksi (Ki)	69
4.3.2 Zenginleşme faktörü (ZFi)	69
4.3.3 Organik indeks ve organik azot indeksi değerleri	69
4.4 Sedimentte Ağır Metal Kirlenmesine İlişkin Bulgular	70
4.4.1 Zenginleşme faktörü (EF).....	70
4.4.2 Kontaminasyon (kirlilik) faktörü (CF)	72
4.4.3 Kontaminasyon (kirlilik) derecesi (Ca) ve kirlilik yük indeksi (PLI).....	75
4.4.4 Jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}).....	75
4.5 Metallerin Toksik Etkilerine İlişkin Bulgular	77

4.5.1 Potansiyel ekolojik risk (Er^i) faktörü	77
4.5.2 Bütünleşik ekolojik risk faktörü (PER)	80
4.6 Metallerin Kombine Biyolojik Etkilerine İlişkin Bulgular	80
4.6.1 Toksik ünite (TU) ve oransal toksik ünite (%TU)	80
4.6.2 Toplam toksik ünite (Σ TUs) ve ortalama olası etki konsantrasyonu oranı indeksi (mPEC-Q)	82
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	83
5.1 Mogan Gölü'nde Sediment Üstü Su-Sediment Gözenek Suyu-Sedimentte Ağır Metal Konsantrasyonları ve Sedimentteki Ağır Metal Kirlenmesine İlişkin İndekslerin Değerlendirilmesi.....	83
5.2 Mogan Gölü'nde Sediment Tarama Ertesi Sedimentin Ağır Metal ve Kalite Parametreleri Açısından Kirlenme Durumunun Değerlendirilmesi.....	98
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ.....	117

SİMGELER DİZİNİ

H ₂ SO ₄	Sülfirik Asit
HNO ₃	Nitrik Asit
ORP	Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli
Hg	Civa
Cr	Krom
Ni	Nikel
Cu	Bakır
Zn	Çinko
As	Arsenik
Cd	Kadmiyum
Pb	Kurşun
Al	Alüminyum
Fe	Demir
Mn	Mangan
°C	Santigrat
rpm	Dakikada Devir
pH	pH (Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi)
µg	Mikrogram

Kısaltmalar

SQG	Sediment Kalite Rehberi
TEL	Eşik Etki Seviyesi
PEL	Olası Etki Seviyesi
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
RAC	Risk Tayin Kodu
RI	Risk İndeksi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
ERL	Düşük Etki Seviyesi
ERM	Orta Etki Seviyesi
CF	Kontaminasyon Faktörü
EF	Zenginleşme Faktörü
I _{geo}	Jeokümülyasyon İndeksi
PLI	Kirlilik Yük İndeksi
PER	Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi
Er ⁱ	Ekolojik Risk Faktörü

mPEC-Q	Ortalama Muhtemel Etki Konsantrasyonu Oranı
Ki	Kirlenme İndeksi
ZFi	Zenginleşme Faktörü
TU	Toksik Ünite
TA	Toplam Azot
TF	Toplam Fosfor
SÜS	Sediment Üstü Su
SGS	Sediment Gözenek Suyu



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Mogan Gölü'nün genel görünümü.....	45
Şekil 3.2 Araştırma alanı ve istasyonların konumu.....	46
Şekil 4.1 I. İstasyonda sediment gözenek suyu ve sediment üstü suda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi.....	60
Şekil 4.2 II. İstasyonda sediment gözenek suyu ve sediment üstü suda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi.....	60
Şekil 4.3 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin zenginleşme faktörleri.....	71
Şekil 4.4 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin zenginleşme faktörleri.....	71
Şekil 4.5 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin kontaminasyon faktörleri.....	73
Şekil 4.6 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin kontaminasyon faktörleri.....	73
Şekil 4.7 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin jeoakümülyasyon indeksi.....	76
Şekil 4.8 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin jeoakümülyasyon indeksi.....	76
Şekil 4.9 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin potansiyel ekolojik risk faktörü.....	78
Şekil 4.10 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin potansiyel ekolojik risk faktörü.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Türkiye'deki farklı göllerin sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonları (mg/g KA).....	32
Çizelge 2.2 Mogan Gölü'nde sedimente ilişkin bazı araştırma sonuçları.....	37
Çizelge 2.3 Sediment tarama uygulamalarının etkileri.....	42
Çizelge 3.1 Sediment üstü su (SÜS) ve sediment gözenek suyuna (SGS) ilişkin ağır metal sınır değerleri.....	48
Çizelge 3.2 Sedimentte organik indeksi (%) değerlendirme standartları.....	50
Çizelge 4.1 Sediment üstü su ve yüzey suyunda sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH ile sedimentte redoks potansiyelinin ortalama değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi.....	56
Çizelge 4.2 Sedimentte tekstür analizi sonuçları.....	57
Çizelge 4.3 İstasyon ve aylara bağlı ortalama organik madde (OM), toplam organik karbon (TOK), toplam azot (TA) ve toplam fosfor (TF) değerleri.....	58
Çizelge 4.4 Sedimentte ağır metallerin ortalama değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi.....	63
Çizelge 4.5 Sedimentte belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının sediment kalite kriterleri (SQS) ile karşılaştırılması.....	66
Çizelge 4.6 Mogan Gölü'nde sediment tarama öncesi farklı çalışmalar ile bu çalışmaya ilişkin ağır metal konsantrasyonlar.....	68
Çizelge 4.7 Sedimentte kirlenme indeksi (K_i), organik indeks, organik azot indeksi ve zenginleşme faktörü (ZF) değerleri.....	70
Çizelge 4.8 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin zenginleşme (EF) ve kontaminasyon (CF) faktörleri.....	74
Çizelge 4.9 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin jeoakümülyasyon indeksi (Igeo) ve potansiyel ekolojik risk (Er^i) faktörü.....	79

Çizelge 4.10 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin toksik ünite (TU) ve oransal toksik ünite (%TU) değerleri.....	81
Çizelge 4.11 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin toplam toksik ünite (Σ TUs) ve ortalama olası etki konsantrasyonu oranı (mPEC-Q) değerleri.....	82



1.GİRİŞ

Limnolojik ve ekotoksikolojik kirlenme çalışmalarının ana unsurlarından biri olan sedimentler, kirleticilerden ağır metallerin deposu ve potansiyel bir kaynağı olarak dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda sedimentteki ağır metaller, bentik ekosistem açısından doğrudan etkili olabildiği gibi, kadmiyum, civa, kurşun, bakır ve çinko gibi ağır metaller besin zincirinde birikime de uğrayarak insan sağlığını tehdit eder boyuta ulaşabilmektedir. Sedimentteki besin elementleri ise iç kaynaklı ötrofikasyonun ve su kalitesinin temel elemanlarıdır.

Göllerin iyileştirilmesi amacıyla, göl tabanından sedimentin uzaklaştırılması işlemi olan sediment (dip) tarama (dredging) uygulaması, göl içi yönetim araçlarından biridir. Bu uygulama, Mogan Gölü'nün rekreatif devamlılığı açısından zaman zaman bir göl yönetim tekniği olarak kullanılmaktadır. Mogan Gölü havzasında tarımsal faaliyetlerin yanı sıra yerleşim yerleri, sanayi, maden işleme tesisleri vb. çeşitli sektörler bulunmakta, gölün kıyı bölgeleri de turizme hizmet etmektedir. Hipertrofik besin seviyesine sahip gölde özellikle yaz aylarında ani balık ölümlerine rastlanılmaktadır.

Mogan Gölü'nde 2000'li yıllardan sonra göl sedimentine ilişkin yürütülen çalışmalarda; sedimentteki fosfor fraksiyonları, sedimentten göl suyuna fosfor salınım dinamikleri, sedimentin adsorpsiyon kapasitesi tahminleri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır (Topçu ve Pulatsü 2008, 2017, Topçu vd. 2018).

Mogan Gölü havzasındaki sistemler üzerinde aşırı bir baskı söz konusudur. Bu konuda etkili olan faktörler arasında göl çevresinde yerleşim alanlarına izin verilmesi, arazilerin yanlış kullanımı, rekreasyon alanının göle zarar verecek şekilde kullanılması, tarımsal faaliyetlerin yoğun bir şekilde sürdürülmesi, gübre ve pestisit kullanımının yoğun olması ve bölgedeki endemik türlerin yayılış alanlarına dikkat etmeden, inşaat, yol ve ağaçlandırma faaliyetlerine başlanması ile bu kısımların doğal yapılarının bozulması yer almaktadır (Boşgelmez vd. 2005).

Su ve sedimentteki ağır metal kirliliği sebeplerinin başında madencilik endüstrisi, sanayi faaliyetleri sonucu oluşan atık maddelerin herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan

çevreye bırakılması, tarımsal mücadele amacıyla kullanılan ağır metal içeren kimyasal ilaçların çeşitli yollarla sulara karışması gelmektedir.

Araştırma alanı olan Mogan Gölü'nün bulunduğu Gölbaşı İlçesi'nde tarım alanları yapılaşma nedeniyle giderek daralmakta olsa bile tarım alanlarında kullanılan kimyevi gübre ve zirai ilaç kalıntılarının gölde ağır metal kirliliği yarattığı bilinmektedir. Maden cevherlerinden metallerin kazanılması sırasında meydana gelen atıklar birer kirlilik kaynağı haline gelmektedirler. Göl çevresinde özellikle andezit işleme tesisleri olmak üzere çok sayıda maden işleme tesislerinin bulunması göle kontamine olması beklenen ağır metal baskısını artırmaktadır. Bölgede yer alan sanayi kuruluşlarının baskısı altında bulunan Mogan Gölü'nün devamlılığı tedbirler alınmadığı sürece tehlike altına girmektedir.

Mogan Gölü'nde sediment tarama öncesi su ve sedimentte ağır metal değerlerini belirlemeye yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda gölde tespit edilen ağır metallerin, kentsel, endüstriyel ve tarım faaliyetleri kaynaklı kirlilik faktörlerine bağlı olarak varlık gösterdiği, gelecekte ağır metallere bağlı olarak oluşabilecek zararların önlenmesi amacıyla tedbirler alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Bu tez çalışması ile Mogan Gölü'nün rekreatif değerinin artırılmasına yönelik bir göl yönetim uygulaması olan sediment tarama ertesini; 1) Su-sediment gözenek suyu-sedimentteki ağır metal konsantrasyonlarının (Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn) tespit edilmesi ve sedimentin ağır metaller açısından kirlenme durumunun bazı indekslerin (kontaminasyon/kirlilik faktörü, zenginleşme faktörü, kontaminasyon derecesi, jeoakümülyasyon indeksi, kirlilik yük indeksi, potansiyel ekolojik risk faktörü, bütünleşik ekolojik risk faktörü, ortalama olası etki konsantrasyonu oranı) hesaplanması ile değerlendirilmesi 2) Sediment kalite parametrelerinin (organik madde, toplam fosfor, toplam azot, toplam organik karbon ve redoks potansiyeli değeri) belirlenmesi ve sedimentin kirlenme durumunun besin elementlerini baz alarak (kirlenme indeksi, zenginleşme faktörü, organik azot indeksi) ortaya konması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasının önemli bir diğler boyutu ise elde edilecek su-sedimente ilişkin verilerin göl yönetimine ilişkin akılcı stratejilerin geliştirilmesinde yol haritası oluşturacak ve göle ilişkin sediment yönetimi konusunda bilimsel bir zemin hazırlanmasına katkıda bulunacak olmasıdır. Bu bağlamda tez çalışması, gölde 2018 yılında tekrar gerçekleştirilen sediment tarama (uzaklaştırılması) sonrası; a) Daha önce kapsamlı bir şekilde ele alınmayan su-sediment gözenek suyu-sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenecek olması b) Sedimentin kirlilik durumunun, sediment kalite parametreleri ve ağır metal konsantrasyon değerlerine ilişkin farklı indeksler kullanılarak tespit edilecek olması c) Sediment uzaklaştırma işleminin sediment kalitesi ve sucul yaşam açısından etkinliğinin değerlendirilecek olması açısından önem taşımaktadır.

2. AMAÇ ve KAPSAM

2.1 Türkiye Dışında Bazı Göllerde Yürütülmüş Çalışmalara İlişkin Bildiriler

Sucul ekosistemlerdeki ağır metal, PAH ve PCB gibi birçok toksik madde kirlenici konsantrasyonlarının, kabul edilebilir limitlerini belirlemek için kullanılan kalite kriterleri (SQG) kullanılmaktadır. Örneğin USEPA (United States Environmental Protection Agency) SQG' e göre sediment; "kirli olmayan", "kısmen kirli" ve "aşırı kirli" olarak sınıflandırmış; SQG için TEL (Eşik Etki Seviyesi) ve PEL (Olası Etki Seviyesi) değerleri belirlenmiştir (Tekin-Özan ve Aktan 2012).

Tatlı, acı su ve tuzlu su ekosistemleri sediment çalışmalarında; ağır metallerin potansiyel kaynakları (antropojenik ve/veya doğal) ile sedimentteki metal birikimlerine ışık tutmak için; zenginleşme faktörü, kontaminasyon (kirlilik) faktörü, jeoakümülyasyon faktörü (Wang ve Feng 2007, Hu vd. 2013, Liu vd. 2014, Ghaleno vd. 2015), insan ve sucul ekosistem sağlığı açısından ağır metal riski veya ağır metale olan ekolojik hassasiyeti belirlemek için; potansiyel-bütünleşik ekolojik risk faktörü (Guo vd. 2010, Liu vd. 2014) ve metallerin biyolojik etkileri konusunda bilgi edinmek için de ortalama olası etki konsantrasyonu oranı (Kükreci 2016, Tunca 2016) gibi farklı indeksler geniş çapta kullanılmaktadır.

Mwamburi ve Oloo (1997) tarafından, Victoria Gölü'nün (Kenya) su ve sedimentinde Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn konsantrasyonlarının değişimleri ele alınmıştır. Sediment üstü su örneklerinin yüzey suyuna göre daha yüksek konsantrasyon değerleri (mg/L) gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında ağır metaller yüzey suyunda; Al (0,08-3,98), Fe (0,09-4,01), Mn (0,02-0,10), Zn (0,01-0,07), Pb (0,001-0,007), Cu (tespit edilmedi-0,006), Cr (tespit edilmedi-0,004), sediment üstü suda; Al (0,10-6,59), Fe (0,23-9,64), Mn (0,04-0,39), Zn (0,01-0,08), Pb (0,002-0,009), Cu (tespit edilmedi-0,03), Cr (tespit edilmedi-0,002) olarak değişim göstermiştir. Göldeki metal kirliliğine, büyük ölçüde çeşitli kentsel faaliyetler ve atıkların neden olduğu belirtilmiş, Pb ve Zn seviyelerinin diğer metal değerlerine göre nispeten yüksek olmasının ise, gölün çeşitli jeolojik özelliklerine ve sediment yapısına atfedilebileceği bildirilmiştir. Araştırmacılar

Dünya Sağlık Örgütü (1984) içme suyu standart verilerine göre, Al ve Fe seviyelerinin yüksek, Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn seviyelerinin ise düşük seviyede olduğunu ifade etmişlerdir.

Norveç'te 210 gölün endüstrileşme öncesi (referans) yüzey sedimenti Sb, Hg, Bi, Cd, Mo, As, Co, Ni, Cr, Cu, V, Pb, Zn konsantrasyonları ve bu elementlerin modern atmosferik çökme (güncel depozisyon) değerleri bölgesel düzeyde karşılaştırılmış; Sb, Pb, Bi, As, Hg ve Cd (azalan sırada) değerlerinin referans değerlere göre 2-7 katlık bir artış gösterdiği tespit edilmiştir (Rognerud ve Fjeld 2001). Araştırmacılar, farklılıkların göllerin bulunduğu enlem ve boylamlar ile arttığını bildirmişlerdir. Çok değişkenli analiz sonucuna göre, iz elementler ile organik madde, Si, Al, Fe ve Mn (temel bileşenler) verilerine yönelik olarak ortaya çıkan sonuçlar şöyledir: a) Sb, Hg, Bi, As ve Pb gibi ağır metallerin oluşturduğu ilk grup ile organik madde arasında istatistiki açıdan önemli bir ilişki bulunmuştur b) İkinci grupta yer alan Ni, Cr ve Cu ile inorganik sediment fraksiyonu (Si ve Al) zayıf bir ilişki göstermiştir c) Üçüncü grubu oluşturan Zn ve Cd ile organik madde arasındaki ilişki de istatistiki açıdan düşük saptanmıştır. Co, Mn ile birlikte ortak değişim gösterirken, Mo ve V diğer iz veya temel bileşenler ile önemli seviyede ilişkili bir değişim göstermemiştir. Çalışma kapsamında, uzun vadeli atmosferik taşınımların Cu ve Ni için düşük etkisi olsa da yerel maden (döküm vb.) emisyonlarının, etkisinden dolayı bir arada bulduklarında konsantrasyonlarında artışlar da olduğu belirlenmiştir. Ayrıca göl sedimenti ağır metal konsantrasyonlarındaki artışta, artan atmosferik çökmenin etkilerinin belirlenmesi için sedimente olan net akış düzeyinin doğal arda (background) değerlerinin ve elementlerin bulunabilirliğinin kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır.

Yerel içme suyu ve rekreatif balıkçılık kaynağı olan Tuskegee Gölü'nde (Güneydoğu ABD) su ve sediment örneklerinde eser elementlerin konsantrasyonları belirlenmiştir (Ikem vd. 2003). Analizde ele alınan ağır metallerin konsantrasyon değerleri, alüminyum, demir, mangan ve thallium dışında Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Avrupa Birliği (AB) tarafından önerilen içme suyu standartlarına göre daha düşük bulunmuştur. As, Cl, Cr, Mn ve Zn ortalama değerleri ise tatlı sular için önerilen değerlerden daha yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Hesaplanan ağır metal kontaminasyon faktörlerinin en yüksek risk taşıyan ağır metalden başlayarak, Mn, Pb, Zn, Cu, Cr, Co ve

V şeklinde dizilim gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, göle ilişkin çevresel riski azaltmak için antropojenik kaynaklı kirlenmenin önlenmesi gerektiği kanaatine varmışlardır.

Kishe ve Machiwa (2003), Victoria Gölü (Tanzanya) sediment örneklerinde Cd, Cr, Cu, Pb, Hg ve Zn düzeylerini tespit etmişlerdir. Bu amaçla sediment numuneleri, 2000 yılının Mart ve Nisan aylarında, alıcı ortama ilişkin doğal ve antropojenik girdiler konusunda bilgi verecek şekilde seçilen 31 örnekleme noktasından alınmıştır. Metallere ilişkin en yüksek konsantrasyon değerini (ppm) göl kıyısından yaklaşık 25 m uzaklıktaki kıyısal şeritte, Cu için (26.1 ± 4.8), Hg için (0.2 ± 0.05), Pb için (30.7 ± 5.6) ve Zn içinse (45.4 ± 13.1) olarak tespit etmişler; kıyıda uzaklaştıkça Cd ve Cr dışında diğer metal konsantrasyonlarının azaldığını saptamışlardır. Göl çevresindeki şehirleşmiş alandan toplanan sediment örneklerinde; Pb (54.6 ± 11.1 ppm) ve Zn (83.7 ± 21.5 ppm) değeri daha yüksek olup, nehir ağzına yakın alanlarda seçilen istasyonlarda da Cd (7.0 ± 2.1 ppm), Cr (12.9 ± 1.0 ppm) ve Hg (2.8 ± 0.8 ppm) daha yüksek konsantrasyonlarda kaydedilmiştir. Araştırmacılar, özellikle yerleşim yerlerine yakın istasyon sedimentlerinin ağır metaller ile kirlenmiş olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Peoria Gölü'nün (ABD) sediment ve sediment gözenek sularındaki bazı ağır metaller (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) ile amonyak konsantrasyonlarını ve potansiyel toksisitelerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır (Machesky vd. 2004). Çalışmada örnekler mevsimsel farklılıkları ortaya koymak için nisan ve ekim aylarında alınmıştır. Bu kapsamda, sediment üstü suda tespit edilen çözünmüş Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyon değerlerinin genellikle sediment gözenek suyu değerlerinden daha yüksek olduğu, sözü edilen ağır metal değerlerinin sediment gözenek suyunda düşük seyrettiği (<15 µg/L) belirtilmiştir. Sediment gözenek suyunda düşük düzeyde belirlenen bu değerlere, kısmen de olsa eser miktarda çözünen metal sülfidlerin neden olduğu bildirilmiştir. Sedimentte belirlenen Cd ve Ni' in toplam konsantrasyonlarının ise MacDonald vd. (2000)'e göre "Olası Etki Konsantrasyonu" seviyelerini aştığı tespit edilmiştir.

Baralkiewicz vd. (2008) tarafından, Swarzędzkie Gölü'ne (Polonya) ilişkin kirlenme kaynaklarını belirlemek amacıyla sediment üstü su örneklerinde Ag, Al, As, Ba, Ca, Cr,

Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, V ve Zn elementlerinin analizi yapılmıştır. Numuneler 2002 yılında her mevsimde olmak üzere, belirlenen 11 istasyondan toplanmıştır. Çalışma kapsamında, çok değişkenli analiz metodlarından küme (cluster) analizi ve tek bileşen analizi (PCA) kullanılmıştır. Küme analizi sonucu belirtilen elementler için üç grup tanımlanmıştır. Birinci grupta yer alan elementler (Ag, As, Mg ve Sb) insan etkisinin hiç olmadığı veya az olduğu düşünülen jeojenik kaynaklı; ikinci grup (Ca, Mn, Sr, Na, K ve Al) tarımsal faaliyetler özellikle mineral gübre kullanımı kaynaklı; üçüncü grup (Ni, Cr, Cu, Fe, V, Ba, Zn ve Pb) ise kentsel kirlenme kaynaklı olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar PCA analizine göre, yukarıda belirttikleri kentsel kaynaklı kirleticiler dışında kalan elementlerin yaygın kaynaklı olarak karakterize edildiğini yalnız Al' un her iki grupta da yer aldığını belirtmişlerdir.

Honglei vd. (2008), Moshui Gölü (Çin)'de sedimentteki bazı ağır metallerin (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) yersel dağılımlarını ele almışlardır. Hızlı kentleşme ve endüstrileşmeden etkilenen gölde, sediment profiline ilişkin metal birikimi de dikkate alınmıştır. Bu amaçla seçilen kıyı zonundaki istasyon hariç diğer 4 istasyonda, sedimente ilişkin ağır metal konsantrasyonları, “yoğun etki düzeyinin” (SEL) üzerinde tespit edilmiştir. Maksimum Cr (1,780 mg/kg) ve Cu (1,250 mg/kg) konsantrasyonları, NYD Çevre Koruma Kılavuzu'nda (NewYork State Department of Environmental Conservation -NYSDEC) bildirilen SEL değerlerinden sırasıyla 16 ve 11 katlık artış göstermiş olup bu değerlere 32 cm sediment derinliğinde ve bir örnekte rastlanmıştır. Karbonat ve değişebilir Zn fraksiyonları, toplam Zn miktarının %50'sinden yüksek saptanmış ve Risk Tayin Kodu (RAC) değerlerine göre yüksek risk seviyesinde bulunmuştur. Araştırmacılar, deneysel sonuçların da sediment Pb ve Zn düzeylerinin hızlı kentleşme ve endüstrileşme ile artışı desteklediğini vurgulamışlardır.

Begum vd. (2009), 2008 yılının Haziran ayında Madivala Gölü' nde (Bangalore, Karnataka, Hindistan) su ve sedimentte ağır metal (Pb, Cd, Cr, Ni) konsantrasyonlarını tespit etmişler; sudaki ağır metal konsantrasyonlarının sıralamasını Pb>Cr>Cd>Ni, sedimentte ise Pb>Cr>Cd>Ni olarak bildirmişlerdir. Araştırmacılar, kirleticilerin olası kaynağının göl civarındaki tarımsal faaliyetler, elektro kaplama materyaller, yağ-gres kullanımı gibi antropojenik faaliyetler olduğunu belirtmişlerdir.

Guo vd. (2010), özellikle Asya'daki gelişmekte olan ülkelerde ağır metal kontaminasyonunun pek çok bölgeyi etkilediğini belirterek, bu amaçla Tibet Platosu'nda 18 göl yüzey sedimentinde 8 metalin (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, As) yersel dağılımlarını ve düzeylerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, ağır metallerin yersel dağılımları belirgin bir değişim göstermemiş ve Cr>As>Zn>Ni>Pb>Cu>Co>Cd şeklinde bir dizilim saptanmıştır. Jeokümülyasyon indeksi ve potansiyel ekolojik risk faktörü (Eri) değerlerine göre, Cd ve As esas alındığında orta-düzeyde kirlenmiş olduğu ortaya konmuştur. Temel bileşen analizi, hiyerarşik küme analizi ve Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre platodaki göllerin yüzey sedimentlerindeki 8 ağır metalin dört grupta sınıflandırılabilceği bildirilmiştir. Birinci grupta Cu, Zn, Pb, Co ve Ni olup doğal ve trafik kaynaklı olduğu, ikinci grupta yer alan Cd'un esas olarak antropojenik kaynaklardan ve atmosferik sirkülasyondan köken aldığı tespit edilmiştir. Üçüncü grubun kapsadığı Cr'un havzadaki ana kayalardan kaynaklandığı, As içeren son grubun ise imalat sanayi ve Batı, Orta ve Güney Asya'daki atmosferik ortamın bozulmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Yilong Sulak Alanı (Çin) sedimentinde ağır metallerin tespiti amacıyla bir çalışma yapılmış ve Nisan 2004'te gölün yüzey sedimentinin (0-15 cm) 31 farklı noktadan örnekler toplanmıştır (Bai vd. 2011). As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn'nun yersel dağılım özellikleri incelenmiş ve ağır metallerin neden olduğu ekolojik riskler değerlendirilmiştir. As, Cd ve Pb gibi ağır metal yüklerinin, endüstriyel atık sular ve trafik kirliliği kaynaklı olabileceği kanaatine varılmıştır. Yüksek Ni, Cr ve Zn konsantrasyonlarının ise kayalar nedeniyle baskın olduğu belirlenmiştir. Sulak alanda belirlenen ağır metal değerleri Pb>Cr>As>Ni>Zn>Cd>Cu şeklinde sıralanmış; Pb, Cr ve As' e ilişkin ortalama toksik değer toplamının bu sıralamada daha yüksek bir paya sahip olduğu saptanmıştır.

Kuzeydoğu Polonya'da bulunan 23 göl sedimenti belirli ağır metaller (Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn) ve temel bileşenler (organik madde, karbonatlar ve minerojenik materyal) açısından ele alınmıştır (Tylmann vd. 2011). Bu amaçla örnekler sediment kor tüpleri ile yüzeyden (0-2 cm) ve gölün en derin (doğal-referans) katmanından (50-52 cm) temin edilmiştir. Çok değişkenli analize göre yüzey ve referans değerler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıklar olmadığı tespit edilmiştir. Yüzey ve referans sedimentlerine ilişkin ortalama

konsantrasyon oranının 0,9-1,6 arasında değişim gösterdiği ve yüzey sedimentinde düşük olan bu farklılığa az düzeyde de olsa antropojenik kirlenmenin neden olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, son dönemlerde biriken sedimentlerdeki ağır metal içeriğinin doğal artalan (zemin) değerlerden farklılık göstermediğini ve bu anlamda güncel kirlenmeden etkilenmeyen göllerin planlanan izleme programlarında referans yerler olarak kullanılabilceğini ifade etmişlerdir.

Yin vd. (2011) tarafından Taihu Gölü'nün (Çin) yüzey sedimentinde ağır metallerin dağılımı, kaynakları ve ekolojik risklerinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Yüzey sediment örnekleri Ağustos ve Eylül 2017' de gölde belirlenen 206 istasyondan kor tüpler kullanılarak toplanmıştır. Ölçülen metal konsantrasyonları As, 1,96-65,5 mg/kg; Hg, 0,01-1,12 mg/kg; Cr, 7,33-229 mg/kg; Pb, 1,66-277 mg/kg; Cd, 0,05-3,61 mg/kg; Cu, 9,01-211 mg/kg; Fe, 11,2-96,6 m/g; Mn, 0,22-2,50 mg/g olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Taihu Gölü'nün yüzey sedimentindeki ağır metal kontaminasyon derecesini değerlendirmek için Hakanson (1980) tarafından önerilen potansiyel ekolojik risk indeksi (RI) kullanılmış, gölün orta seviyede kirlendiği ve Cd' un en büyük, Hg' nın ise ikinci sıradaki ekolojik risk faktörü olduğu belirlenmiştir. Pearson' s korelasyon analizi ile toplam fosfor ve organik madde değerlerinin Cd dışındaki diğer metallerle pozitif ilişkili olduğu saptanmıştır. Bulgular Taihu Gölü yüzey sedimentinin farklı antropojenik etkilere maruz kaldığını gösterirken, Hg, Cu, Cr, Cd ve Pb' un evsel kanalizasyon ve endüstriyel atık sulardan kaynaklı kirlenme, As' in ise doğal proseslerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Ramgarh Gölü (Yukarı Hindistan)'nde Aralık 2009'da toplanan su ve sedimenti örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının (Pb, Cd, As, Cu ve Zn), potansiyel ekolojik risk katsayısının (E_i) ve potansiyel ekolojik risk faktörlerinin (R_i) belirlenmesi amaçlanmıştır (Singh ve Upadhyay 2012). Göl suyunda, ortalama Pb konsantrasyonunun (0,217 mg/L), yüzey suyu Pb konsantrasyonunun (<0,1 mg/L) iki kat üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Göl suyundaki metal konsantrasyonu ortalama değerleri (mg/L) ise 0,014 (Cd), 0,207 (Pb), 1,343 (Cu), 0,139 (As) ve 1,992 (Zn) olarak saptanmış; göl suyundaki ağır metal konsantrasyonlarının, çevredeki endüstriyel ve evsel faaliyetlerden kaynaklandığı bildirilmiştir. Ramgarh Gölü sedimenti ağır metal değerleri (mg/kg): Zn

(188,83) > Cu (32,47) > Pb (22,07) > As (13,17) > Cd (0,77); potansiyel ekolojik risk katsayıları Cd > As > Cu > Pb > Zn ve metaller için ortalama potansiyel ekolojik risk faktörü ise 76,53 ise olarak belirlenmiştir. Hesaplanan potansiyel ekolojik risk değerlerinin Cd dışında diğer metaller için kabul edilebilir limitler içerisinde kaldığı ve orta-seviyede bir kirlenmeye işaret ettiği ifade edilmiştir. Ramgarh Gölü su ve sedimentinde tespit edilen düşük metal konsantrasyon bulguları, göle önemli ölçüde antropojenik metal girdisi olmadığını göstermiştir. Araştırmacılar, yasal olmayan ve arıtılmamış atık suların göle girişinin önlenmesine ve su kalitesinin düzenli izlenmesine ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır.

De Jonge vd. (2012), metal ile kirlenmiş sedimentlerin redoks potansiyeli (Eh), sediment jeokimyası ve metallerin biyolojik–bulunabilirliği üzerinde sediment üstü su örneklerindeki oksijen konsantrasyonu değişimlerinin (%90 ve %40) etkilerini değerlendirmek amacıyla 54 gün süren laboratuvar deneyi yürütmüşlerdir. Redoks potansiyeli (Eh) yanında farklı zamanlarda (0,2, 5,12, 32 ve 54. günler) ve derinliklerde (0-1, 1-4, 4-8 ve 8-15 cm), asit uçucu sülfürler (AVS), eş zamanlı ekstrakte edilmiş (SEM) ve toplam organik karbon ölçümleri yapılmış ve sediment üstü suya olan metal salınımı tahmin edilmiştir. Sediment üstü sudaki artan oksijen seviyeleri (%90), yüzey sediment Eh ve AVS oksidasyon değerlerinde artışla sonuçlanmıştır. AVS bitimini (breakdown) takiben, sediment gözenek suyundaki kararsız metal türleri 54 gün sonra yüksek çıkmıştır. Araştırmacılar, büyük ölçüde kontamine olmuş sedimentlerde sediment üstü suya oldukça sınırlı metal salınımından söz ederken, bakırın tüm deneme boyunca sedimente kuvvetli bir şekilde bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Sediment üstü suya sınırlı düzeyde belirlenen metal salınımı ile Fe ve Mn hidroksit ve partiküler organik karbon değerleri de düşmüştür. Çalışma bulguları, artan oksijen konsantrasyonlarının genel olarak su kalitesinin iyileştirilmesini ifade ettiğinden, sediment üstü suya sedimente-bağlı metallerin geçmesi ile sonuçlanarak ağır metal hareketliliğini de artırmış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Veeranam Gölü (Hindistan) yüzey sedimentlerinde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) seviyeleri-yersel dağılımları, manyetik duyarlılık düzeyleri ve granülometrik miktarları araştırılmıştır (Suresh vd. 2012). Bu amaçla yüzey sediment örnekleri 2010 yılının Nisan

ayında gölde belirlenen 28 farklı noktadan toplanmıştır. Çalışmada ele alınan ağır metal düzeyleri, manyetik duyarlılık ve hesaplanan PLI değerlerinin, su hareketinin nispeten stabil olduğu ve sediment yapısının silt-kilden oluştuğu limnetik zonu temsil eden istasyonlarda, nehir ağzı girişi (litoral zon) ve nehir ağzı çıkışında seçilen istasyonlara göre daha yüksek değerler gösterdiği bildirilmiştir. Araştırma bulguları, ardalın ve toksikolojik referans değerleri ile karşılaştırılarak Cd ve Pb dışındaki diğer metallerin göl ekosistemi üzerinde olumsuz etki yarattığı tespit edilmiştir. Kirlilik Yükü İndeksi (PLI) ve Potansiyel Ekolojik Risk (PER) değerlerinin de hesaplandığı çalışma kapsamında; PLI değerleri ortalama 2,03 (1,18-4,09) olup göl sedimentinin önemli ölçüde kirlendiğini ortaya koymuştur. PER değerleri ise her bir element için düşük potansiyel ekolojik riske işaret etse de metal işleme tesisleri, tarımsal arazi ve yerleşim yerlerinden kaynaklanan Cd' un daha yüksek ekolojik riske sahip olduğu saptanmıştır. Çalışmada kullanılan çok değişkenli istatistik analiz yöntemleri ile göl sedimentindeki ağır metallerin, karmaşık kirlenme kaynaklarına maruz kaldığı ve özellikle Cr, Cu, Ni ve Zn gibi metallerin aynı kirlenme kaynaklarından köken aldığı ve silt boyutundaki manyetik mineraller ile birleşmiş olabileceği de ifade edilmiştir. Siltin sediment yüzeyindeki kanyonlarla birleştiği, manyetik duyarlılık ve ağır metal seviyelerinin artışında önemli rolü olduğu vurgulanmıştır.

Hou vd. (2013) tarafından, Dalinouer Gölü'nde (Çin) su ve sedimentte ağır metallerin (Cu, Pb, Cd ve Zn) potansiyel ekolojik risk ve jeoakümülyasyon indeksi hesaplanmıştır. Gölün yüzey sedimentinde Cu, Pb, Cd ve Zn konsantrasyonları sırasıyla 4,28 mg/kg, 0,76 mg/kg, 7,84 mg/kg ve 1,77 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar ağır metallerin çoğunun orta düzeyde kirlenmeye işaret ettiğini, Cd' un en yüksek potansiyel riske sahip ağır metal olduğunu ortaya koymuştur. Metallerin yersel dağılımında, antropojenik faaliyetlerin etkisinin olduğu ve gölün güney bölümündeki ağır metal kirlenmesinin ciddi bir şekilde ele alınması gerektiği bildirilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standart değerlerine göre, suya ilişkin ağır metal konsantrasyonları dikkate alındığında Cu, Zn ve Cd konsantrasyonlarının çoğunun maksimum kirlenme düzeyinin (MCL) ve maksimum izin verilebilir düzeyin altında olduğu, Pb' un ise tüm örnekleme alanlarında maksimum izin verilebilir düzey ile tatlı sularda balık yaşamı için önerilen tolerans değerinin 6-12 kat üzerinde olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, sediment gözenek

suyunda Cu dışındaki ağır metal konsantrasyonlarının sediment üstü sudaki değerlerden yüksek olmadığını ve çoğu metalin sedimente kuvvetlice tutunduğunu belirtmişlerdir.

Li vd. (2013), Dongting Gölü (Çin-Orta Bölge)' nde 12 istasyona ilişkin yüzey sediment (0-10 cm) örneklerinde, Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As ve Hg düzeylerinin yersel dağılımı ile bu metallerin potansiyel çevresel risk değerlerinin belirlenmesini ve çok değişkenli analiz metodu kullanarak metallerin doğal ve/veya antropojenik kaynak tanımlamalarının yapılmasını amaçlayan bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırma bulgularına göre, As %50 ve Cd %58 oranında olası etki seviyesini (PEL) aşmış ve potansiyel ekolojik risk değerlerine göre azalan sıralama, Cd, Hg, As, Pb, Cu, Cr ve Zn şeklinde bulunmuştur. Çok değişkenli istatistiksel analiz bulguları; Zn, Pb, Cd ve As' in esas olarak madencilik ve endüstriyel atık sularından, Cr ve Cu' ın doğal erozyon ve yaygın tarımsal faaliyetlerden, Hg'nin ise her iki kaynaktan köken aldığına işaret etmiştir.

Makedonya'da Kalimanci Gölü yüzey sedimentinin jeokimyasal yapısı araştırılmış, sedimentin kirlilik durumu zenginleşme faktörü (EF) kullanılarak belirlenmiştir (Vrhovnik vd. 2013). Analizler sonucunda temel elementlerin ortalama konsantrasyonları (% ağırlık); Si: 23,5, Al: 7,9, Fe: 6,6, Mg: 1,3, Ca: 3,8, Na:1,1, K: 2,3, Ti: 0,4, P: 0,2, Mn: 0,6, Mo: 1,0-4,6 mg/kg, Cu: 144,4-1,1162 mg/kg, Pb: 1,874-16,300 mg/kg, Zn: 2,944-20,900 mg/kg, Ni: 21,7-79,3 mg/kg, Cd: 16,5-136 mg/kg, Sb: 0,6-3,6 mg/kg, Bi: 3,0-24,3 mg/kg ve Ag: 1,4-17,3 mg/kg olarak tespit edilmiş, zenginleşme faktör değerleri ise 0,12-590,3 arasında değişim göstermiştir. Sedimentin Cd, Pb, Zn ve As ile önemli düzeyde kirlenmiş olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, Kalimanci Gölü' nde iz elementlerin yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmesinde antropojenik kaynakların ve özellikle madencilik faaliyetlerinin önemli payı olduğunu vurgulamışlardır.

Yangzonghai Gölü (Çin) sedimentinde Pb, Cu, Cr, Mn, Zn ve As gibi ağır metal düzeyleri tespit edilmiş, metallerce sedimentin kirlilik seviyesi için jeokümülyasyon indeksi (Igeo), metallerin kaynağını belirlemek içinse temel bileşenler analizi kullanılmıştır (Zhang vd. 2013). Sediment örnekleri 2009 yılının 2-4 Nisan tarihleri arasında Yangzonghai Gölü' nde belirlenen toplam 25 istasyondan 0-5 cm derinlikten toplanmıştır. Analizler sonucunda ortalama Pb, Cu, Cr, Mn, Zn ve As düzeyleri sırasıyla, 40,3, 97,6, 145,8,

617,9, 149,2, 31,4 mg/kg olarak saptanmıştır. Genel olarak, altı ağır metalin birikme derecesi Cu>As>Cr>Zn>Mn>Pb şeklinde olup, bakır için bu değer 2,42' ye ulaşmıştır. Çoklu değişken analiz sonucuna göre, yüksek kirletici yüke ilişkin ilk üç principal component değerleri ve grupları sırasıyla; %44,858, %30,887 ve %13,141 (kurşun-çinko-arsenik); (bakır-mangan) ve (krom) olarak bulunmuştur. Araştırmacılar, endüstriyel kirlenme ve jeokimyasal proseslerin sedimentteki ağır metallerin iki ana kaynağı olduğunu; sedimentte Pb, Zn, As ve Cr' un potansiyel kaynaklarının sanayi, madencilik, turizm vb. insan faaliyetleri, Mn ve Cu' ın ise kayaçların ayrışması gibi jeokimyasal süreçlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Doğu Gölü (Çin) yüzey sedimentte ağır metallerin (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd, Hg) konsantrasyonları belirlenmiş ve ekolojik risk tayinleri yapılmıştır (Liu vd. 2014). Çalışma kapsamında; ele alınan 8 ağır metal arasında Zn en yüksek konsantrasyonda (225 mg/kg) tespit edilmiş, bunu sırasıyla As (191 mg/kg), Cr (145 mg/kg), Cu (55 mg/kg), Ni (27,1 mg/kg), Pb (7,93 mg/kg), Cd (0,94 mg/kg) ve Hg (0,21mg/kg) izlemiştir. Metallerin arasındaki korelasyon ve PCA analizi Cd, Pb ve Hg' nın antropojenik faaliyetler, Cu, As ve Cr' un kayaçlar, Zn ve Ni' in ise her iki kaynaktan köken aldığını ortaya koymuştur. Potansiyel ekolojik risk indeksi sonuçları; As, Cd ve Hg' nın önemli düzeyde veya yüksek ekolojik risk, Cr, Ni, Cu, Zn ve Pb' un ise düşük ekolojik risk gösterdiğine işaret etmektedir. Araştırmacılar, bulgular ışığında göle ilişkin ağır metal kirlenmesi konusuna dikkat edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Yang vd. (2014) tarafından, hızlı kentleşme ve sanayileşmenin ağır metal kirliliğine neden olduğu Şangay' da, dört farklı yerleşim alanındaki şehir parklarında bulunan 35 adet göl yüzey sedimentinde (0-5 cm) ağır metal kirlenmesi (Cd, Cu, Pb ve Zn) araştırılmıştır. Çalışmada ele alınan dört metalin de yoğun insan aktivitelerinin olduğu kentsel alanlarda orta düzeyde bir kirlenmeye işaret ettiği, özellikle Cd' un merkez yerleşim alanına ilişkin örneklerde önemli seviyede zenginleşme gösterdiği bildirilmiştir. Tüm sediment örneklerinde, dört metalin de -Olası Etki Konsantrasyonu- değerlerinden daha düşük olduğu ve düşük ekolojik risk değerlerine (%15-29) sahip olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, yaptıkları metal speciation analizi ile ele alınan dört metalin önemli antropojenik kaynaklara işaret eden non-rezidual fraksiyonlarda dominant

ve yüksek mobilite ile biyolojik olarak kullanılabilirliğe sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Risk tayini kapsamında, Cd en yüksek biyolojik olarak kullanılabilir fraksiyon olup yüksek/çok yüksek riski temsil etmiş, bunu çoğu örnekte Zn orta/yüksek olarak izlemiş, hiç/düşük risk değerleri ise reducible ve residual fraksiyonlarda baskın olan Cu ve Pb için saptanmıştır. Ayrıca sediment pH ve TOK değerleri ile ağır metallerin kimyasal fraksiyonları arasında yüksek bir korelasyon da belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, kirlenici girişlerinin sürekliliği göz önüne alınarak sediment kalitesinin aşırı kentleşmiş alanların çevre koruma ve yönetimi için uzun süreli izlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Hipertrofik plato gölü olan Dianchi Gölü'nün (Çin) sedimentinde ağır metal (Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Fe, Mn, Cd) konsantrasyonları ile sediment özellikleri tespit edilmiştir (Yuan vd. 2014). Ağır metallerin yersel dağılımları ve temel bileşenler analizi kullanarak kaynakları belirlenmiştir. Sediment örnekleri Kasım 2010' da gölde belirlenen 10 istasyondan 0-10 cm derinlikten alınmıştır. Sedimentte metallerin yersel dağılımı farklı kaynak ve jeokimyasal prosesler sonucu üç belirgin kategoride saptanmış; gölün kuzeyinden güneye doğru olan bölümünde Cu, Pb, Zn ve Ni benzer bir yersel dağılım gösterirken, Cd ve Cr yine benzer dağılım gösteren diğer bir grubu oluşturmuş, Fe ve Mn ise diğer metallerden oldukça farklı bir dağılım sergilemiştir. Ağır metallerin ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla Fe>Mn>Zn> Pb>Cu>Ni>Cr>Cd olarak saptanmış; Fe:48,67-71,76 mg/g, Mn: 609-945 mg/kg seviyeleri arasında değişim göstermiştir. Zn, Pb, Cu, Ni ve Cr' un ortalama konsantrasyon değerleri de 88,04 ile 201,37 mg/kg arasındadır. Cd konsantrasyonu ise 0,45-3,14 mg/kg olarak daha düşük değerlere sahiptir.

Yuan vd. (2014) tarafından, Cd' un en önemli risk grubundaki ağır metal, Pb ve Cu' un orta seviyede, Cr, Zn ve Ni' in düşük, Fe ve Mn' ın ise çok düşük potansiyel ekolojik risk indeksine sahip olduğu bildirilmiştir. Tüm göl ortalaması ile ilgili olarak, gölün sedimentindeki genel kirlilik durumu Cd>Pb>Cu>Zn>Ni>Cr>Mn>Fe şeklinde sıralanmıştır. SQG' a göre sediment kirliliği; Pb, Ni, Fe> Cr, Cu>Mn, Zn ve Cd şeklinde sıralanmıştır. Araştırma kapsamında korelasyon ve küme analizi bulguları da üç yersel duruma işaret ederek Cu, Pb, Zn, Ni, Cd ve Cr' un esas olarak insan aktiviteleri, Fe ve Mn'ın doğal süreç kaynaklı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca istatistikî veriler, besin

elementlerinin Fe ve Mn ve iz elementler üzerinde farklı etkilere sahip olduğunu, metal risk değerleri dikkate alındığında ise besin elementlerinin özellikle ötrofik sularda dikkate alınması gereğini ortaya koymuştur.

Cheng vd. (2015), Çin’ de 16 gölün yüzey sedimentine ilişkin toksik metal (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) konsantrasyonlarını belirlemiş ve ekolojik risk tayini yapmışlardır. Ulusal çaplı verilerin esas alındığı potansiyel risk indeksine göre, göllerde sedimentin orta düzeyde bir riske sahip olduğu tespit edilmiştir. Civa en yüksek riske sahip ağır metal olarak tespit edilmiş bunu sırasıyla; Cd, As, Pb, Cu, Ni, Cr ve Zn izlemiştir.

Araştırma bulgularının Çin’de kirlenmenin önlenmesi ile kontrolünde ve göllerde yönetimin iyileştirilmesine bilgi bağlamında katkı yapacağı bildirilmiştir.

Mamat vd. (2016) tarafından, Kuzeybatı Çin’in kurak bölgesinde bulunan Bosten Gölü yüzey sedimentinde ağır metallerin dağılımı, kaynakları, kirlenme durumları ve potansiyel ekolojik risk seviyeleri araştırılmıştır. Sekiz ağır metale ilişkin ortalama ve maksimum değerlerin daha önceki çalışma bulgularından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan çok değişkenli istatistik metodu ile sedimentteki Cd, Pb, Hg ve Zn’ nun temel olarak insan aktivitelerinden kaynaklandığı, Cu, Ni, Cr ve As’ in ise esas olarak doğal orijinli olduğunu ortaya koymuştur. Zenginleşme faktörü ve jeoakümüasyon indeks değeri de Cd, Hg ve Pb’ un düşük/kısmi ciddi kirlenme düzeylerinde, Zn, As, Cr, Ni ve Cu’ ın ise kirlenme riski olmayan veya düşük kirlenme düzeylerinde olduğunu desteklemektedir. Potansiyel ekolojik risk indeksi (RI), ele alınan sekiz metalden Pb (%29,6); Hg (%27,71) ve Cd’un (%21,54) en yüksek seviyede potansiyel ekolojik risk taşıdığını göstermiştir. Araştırmacılar, havzadaki son ekonomik gelişmenin gölün yüzey sedimentinde ağır metal kontaminasyonuna yol açtığını ifade etmişlerdir.

Potasznik vd. (2016), Symsar Gölü (buzul sonrası göl, Kuzey Polonya)’ne girdisi olan nehrin, göldeki ağır metallerin (Zn, Mn, Cd ve Ni) büyük bir bölümünün kaynağı olduğunu bildirmişlerdir. Çalışma, Kasım 2012-Ekim 2014 tarihleri arasında gölde seçilen 13 istasyondan alınan sediment örneklerinde ağır metaller belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Göl sedimentinde ağır metaller Fe>Mn>Zn>Pb>Ni>Cu>Cr>Cd

şeklinde bir dizilim gösterirken, Symsarna Nehri ile kesişen göl bölgesinde metallerin dizilimi Fe>Mn>Pb>Cu>Zn>Ni>Cr>Cd olarak kaydedilmiştir. Bulgular, gölde kurşunun kaynağının havzadaki yolların lokasyonundan kaynaklı olduğu, sediment yapısının (özellikle fraksiyonun büyüklüğü ve yoğunluğunun) ise Cr ve Zn' nun birikimini etkilemiş olabileceği yönünde olup, bu iki metalle ince fraksiyon birbiri ile ilişkili tespit edilmiştir. Akarsuyun beslediği göl sistemlerinde, göllerin bir filtre olarak görev yaptığı ve suyun kendini temizlemesine katkıda bulunduğunu belirten araştırmacılar, dikkate alınan gölde de ağır metallerin büyük bir bölümünün gölün yukarı ve aşağı bölümleri arasında %75 oranında azalma gösterdiğini; metallerden yalnız Cr ve Cd' un göl çıkışında sırasıyla 2,0-2,5 kat arttığını saptamışlardır. Araştırmacıların değerlendirmesine göre bu durum, sedimentin tanecik yapısı ile ilişkilidir.

Sediment üstü su ve sediment-su ara yüzeyindeki oksijence zengin koşullar nedeniyle, sedimentten salınımın azaltılarak metallerin adsorbe olması veya Fe ve Mn oksihidroksit parçacıkları ile tekrar çökebilmesi söz konusudur (Tang vd. 2016).

Satar vd. (2017) tarafından bildirildiğine göre, Mariut Gölü (Mısır) endüstriyel atık sular ve arıtma sistemlerinin yetersizliği nedeniyle kanalizasyon atıklarına maruz kalarak kirlenmiş bir göldür. Sedimentteki ağır metallerin (Fe, Mn, Zn, Cu ve Pb) belirlenmesinin yanı sıra fosforun biyolojik bulunabilirliğinin tespitine yönelik çalışma kapsamında, sedimentteki ağır metal konsantrasyonları sedimente ilişkin kılavuz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Göl tarımsal, endüstriyel ve kanalizasyon gibi farklı kirlilik kaynaklarına maruz kalmasına karşın, sedimentteki toplam Zn, Cu ve Pb konsantrasyonları, sucul yaşamın korunmasına yönelik olan ve Kanada Çevre Bakanlığı (CCME 2001) tarafından bildirilen standart değerlerin altında kalmıştır. Bu durumun sediment yapısındaki kum taneciklerinin çok yoğun olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Porto Alegre kenti yakınlarındaki Guaíba Gölü (Güney Brezilya)'nde sediment kirliliğini değerlendirmek amacıyla Andrade vd. (2018) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Sediment örnekleme, gölde seçilen 12 istasyonda gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda ağır metal konsantrasyonları Fe>Al>Ca>Mg>Na>K>Mn>Ba>Zn>V>Pb>

Cu>Cr>Ni>Cd şeklinde sıralanmış, Mo ve Se tespit edilmemiştir. Araştırmacılar konsantrasyonları daha yüksek değerlerde tespit edilmiş ağır metallerin (Zn, Cu, Ni ve Pb) kirlenmiş kentsel nehir çıkışlarına yakın yerler olduğunu bildirmişlerdir. Tüm örneklerde, sedimentin %95'den fazla bir oranda kum taneciklerinden oluştuğu ve Pb, Cu, Cr, Ni, TOC, TKN ve fosforun göle girdisi olan ve yerleşim yerlerinden geçen nehirlerden kaynaklandığı bildirilmiştir. Bu bağlamda, yalnız gölde değil gölü besleyen nehirlerde de çevresel sorumluluklara odaklanması gereği ifade edilmiştir.

Fan vd. (2019) tarafından, Shitang Gölü (Çin)'nde sediment tarama alanlarının belirlenmesi amacıyla ağır metallerin yersel dağılımı ve kirlenme durumu, jeoakümülyasyon indeksi ve potansiyel risk indeksi (RI) kullanılarak tespit edilmiştir. Araştırma bulguları doğrultusunda, sedimentteki baskın ağır metallerin göreceli olarak geçmiş veriler ile karşılaştırıldığında Hg ve Cd olduğu ortaya konmuştur. Gölün güney bölümünde 0,4 m derinlikteki bölgenin en yoğun kirlenmiş alan olduğu bildirilmiştir. RI değerlerine göre de gölün kuzey ve güney bölgelerindeki yüksek kirlenme düzeylerine işaret edilen çalışmada, bulguların sediment tarama uygulamalarına öncelik vermesi açısından yol gösterici olduğu vurgulanmıştır. Fan vd. (2019), esas olarak yüzeyde depolanan sedimentin ağır metallerle birebir ilişkili ve killerin geniş bir yüzey alanına ve gözenek hacmine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, yüzey sedimentinde ağır metallerin daha yüksek konsantrasyonlarda bulunma nedenlerinden birinin de kilin ağır metalleri daha fazla adsorpsiyonundan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise istasyonlar ve aylar baz alındığında sedimentin kil yüzdesi (% 45,13-87,13), silt yüzdesinden (%12,86-54,86) daha yüksek bulunmuştur. Sedimentin kil ağırlıklı yapısının, ağır metallerin sedimentte, sediment gözenek suyu veya sediment üstü suya göre daha yüksek bulunmasında (tutulumunda) önemli rol oynadığı düşünülmektedir.

Dali Gölü (Kuzey Çin) yüzey sedimentinde potansiyel zararlı iz elementler, yersel dağılımları, zenginleşme faktörü, potansiyel ekolojik risk indeksi, SQG'ye göre değerlendirme ve çoklu değişken analizi gibi unsurlar açısından ele alınmıştır (Xu vd. 2019). Sediment örnekleri Eylül 2018'de, gölde belirlenmiş 13 istasyondan temin edilmiştir. Yüzey sedimentine ilişkin konsantrasyon değerleri; As için 10,52-19,16

mg/kg, Cd için 0,10-0,25 mg/kg, Cr için 28,24-53,16 mg/kg, Cu için 8,83- 29,22 mg/kg, Ni için 12,84-30,24 mg/kg, Pb için 17,32-20,39 mg/kg, Zn için 33,34-66,34 mg/kg ve Ti için 2453-3047 mg/kg. olarak ve sıralaması Zn>Cr>Ni>Cu>Pb>As>Cd şeklinde belirlenmiştir. SQG' a göre, tüm istasyonlardaki As konsantrasyonları TEC' nin (Eşik Etki Konsantrasyonu) üzerinde olmakla birlikte hepsinin PEC değerlerinden (Olası Etki Konsantrasyonu) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Cr ve Ni konsantrasyonlarının çoğunun (~%85) TEC'in üzerinde ancak diğer tüm metal değerlerinin PEC'den daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm yüzey sediment örneklerinde Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları TEC'den daha düşük bulunmuştur. Göl sedimentinde kontaminasyon değerleri ise, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn için düşükten orta düzeye kadar seyretmiştir. Cd, Cr, Cu, Ni, Zn ve kısmen Pb kirlenmesi esasen atmosferik birikime atfedilirken, As kirlenmesinin tarımsal faaliyetlerde kullanılan arsenik içeren pestisitlerin ve kimyasal gübrelerin kullanımından kaynaklandığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, gölün güneybatı bölümünün daha çok yönetime ihtiyacı olduğunu ve potansiyel zararlı iz element kirlenmesinin azaltılması için göle ilişkin özel önlemlerin hedeflenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

2.2 Türkiye'de Bazı Göllerde Yürütülmüş Çalışmalara İlişkin Bildiriler

Alemdaroğlu vd. (2003), Manyas Gölü (Kuş Cenneti) ile gölü besleyen girdi sularını temsil edecek şekilde seçilen, beş istasyondan Mart 1996'da ve sekiz istasyondan Mayıs 1996'da alınan yüzey sedimenti örneklerinde, Mn, Fe, Cu, Pb, Ni ve Zn düzeylerini ($\mu\text{g/g}$ KA) araştırmışlardır. Araştırma bulguları, literatürde verilen sediment kalite kriterleri ile karşılaştırılmış; bazı istasyonlarda ve gölün orta bölümündeki sediment Cu, Pb, Zn ve Ni değerlerinin evsel ve endüstriyel kaynaklı kirlenmeden etkilendiği bildirilmiştir.

Hazar Gölü (Elazığ) su ve sedimentinde ağır metallerin konsantrasyonlarının belirlenmesinin amaçlandığı bir çalışma kapsamında, gölde sekiz örnekleme bölgesi seçilmiştir (Özmen vd. 2004). Yüzey suyu ve sedimentte ağır metaller (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Co ve Pb) ile ana elementler olan Na, K, Ca, Mg konsantrasyonları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar genel olarak, sudaki ağır metallerin (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu ve Pb) ve ana element (Na, K, Ca, Mg) konsantrasyonlarının WHO, EC, EPA ve TSE tarafından bildirilen sınır değerleri aşmadığını göstermiştir. Sedimentteki ağır metaller ve

ana elementlerin konsantrasyonu; Fe> Mg> Ca> Mn> Zn> Ni> Cr> Cu> Co> Pb şeklinde sıralanmıştır. Çalışmanın sonuçları Hazar Gölü'nde genel bir kirliliğin bulunmadığını ortaya koymuştur.

Altındağ ve Yiğit (2005) tarafından yürütülen bir çalışmada ise, Beyşehir Gölü su ve sedimentinde Pb, Cd, Cr ve Hg birikiminin belirlenmesi ve ekosistemin kirlilik seviyesinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 2001 yılı bahar döneminde gölde seçilen üç farklı istasyondan alınan su örneklerinde ağır metaller Cd>Pb>Cr>Hg şeklinde, sedimentte ise Pb>Cd>Cr>Hg olarak sıralanmıştır. Uluslararası kriterlere ve Türk Standartlarına göre, Beyşehir Gölü'nde özellikle Cd ve Pb ağır metal konsantrasyonları, içme suyu için izin verilen seviyelerin oldukça üzerinde tespit edilmiştir.

Uluabat Gölü'nde (Bursa) 2001 Kasım-2002 Eylül aylarında, su ve sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yürütülmüştür (Barlas vd. 2005). Göldeki farklı bölgelerden alınan su örneklerine ilişkin Cd, Co, Cr ve Cu konsantrasyon değerleri, standart olarak verilen sınır değerlerin altında saptanmıştır. Sedimentteki kurşun değerleri ise Cd değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur.

Yiğit ve Altındağ (2006), Eğirdir Gölü'nde besin ağı unsurlarında (su-sediment-plankton-balık) ağır metal konsantrasyonlarını ele almışlardır. Kuş üreme alanı, rekreasyon alanı, sulama ve içme suyu amaçlı kullanılan gölde, sedimentteki ağır metal konsantrasyonları Cr>Pb>Cd>Hg şeklinde bir dizilim göstermiştir. Ağır metal konsantrasyonları açısından, besin ağı unsurları arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli olarak saptanmıştır (Ki kare testi, $p<0.05$).

Doğal güzelliği ve İstanbul'a yakınlığı nedeniyle yoğun şehirleşme ve endüstrileşme etkisi altında olan Sapanca Gölü yüzey sedimentinde bazı ağır metallerin (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd) mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Duman vd. 2007). Üçer aylık yapılan örnekleme sonucu; en yüksek Cr, Cu, Mn, Ni ve Zn konsantrasyon değerleri yaz mevsiminde, Cd ise sonbaharda tespit edilirken Pb, Cr ve Cd konsantrasyon değerleri arasında mevsimsel açıdan istatistiki bir farklılık

belirlenmemiştir. Araştırmacılar, Sapanca Gölü'nün henüz kirlenmediğini ancak yüzey sedimenti Cu ve Ni konsantrasyonlarının en düşük etki seviyesini aştığını bildirmişlerdir.

Elmacı vd. (2007) tarafından, Uluabat Gölü'nde dört farklı noktadan ve Ocak 2003-Şubat 2004 periyodunda alınan su-plankton-sediment örneklerinde ağır metal değerlerinin tespit edildiği bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında, ağır metal düzeyleri Pb>Cu>Cr>Ni>Cd>Zn olarak sıralanmıştır. Mobil fraksiyondaki Cu ve Cr konsantrasyonları, kolay hareket edebilir fraksiyonlardan daha yüksek iken, yine mobil fraksiyondaki Pb, Cd, Zn ve Ni değerleri kolay hareket edebilir fraksiyondan daha düşük değerlerde seyretmiştir.

Kır vd. (2007), Kovada Gölü'nün (Isparta) su ve sedimentindeki Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Al ve Ni konsantrasyonlarını tespit ederek göldeki ağır metal kirliliğini belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında 2005-2006 yılları arasında gölün değişik bölgelerinden mevsimlik periyotlarla örnekler alınmıştır. Kovada Gölü suyunda yapılan ağır metal analizinde Fe her mevsimde, Zn İlkbahar-2005 ve Kış-2006'da, Al sadece Yaz-2005'de ve Ni sadece İlkbahar-2005'de belirlenmiştir. Buna karşın Mn Kış-2006'da, Cd, Cr, Cu ve Pb tüm mevsimlerde ICP-OES'nin analiz limitinin altında çıkmıştır. Kovada Gölü sedimentinde yapılan ağır metal analizinde ise Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Al ve Ni tüm mevsimlerde belirlenirken, Cd Yaz-2005 ve Sonbahar-2005'te ICP-OES'nin analiz limit değerlerinin altında tespit edilmiştir.

Tokat'taki farklı göllerden alınan sediment örneklerinde iz metal seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Mendil ve Uluözlü 2007). Bu amaçla 2003-2004 yılları arasında, bahar ve yaz dönemlerinde Bedirkale, Boztepe, Belpınarı, Avara, Ataköy ve Akın göllerinden toplanan sediment örneklerinde, en yüksek konsantrasyon değeri Fe olarak saptanmış, belirlenen Fe değerleri 1596-2138 µg/g arasında değişim göstermiştir. Diğer ağır metal konsantrasyon değerleri ise: Mn 74,3-232 µg/g, Zn 23,3-38,9 µg/g, Cu 3,7-8,2 µg/g, Pb 2,7-7,0 µg/g, Cr 4,4-10,7 µg/g ve Ni 37,8- 55,4 µg/g arasında tespit edilmiştir.

Arslan vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, Uluabat Gölü (Bursa) su ve dip sedimanlarında Cd, Cr, Pb, Cu, Ni ve Zn'nun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 2004-2005 için aylık sediment ve su örnekleri alınmıştır. Bulgular doğrultusunda göl suyunun Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değerlere göre Cd'un 4. Sınıf, Pb, Mn ve Cr'un ise 2. Sınıf su kriterleriyle örtüştüğü bildirilmiştir. Araştırmacılar, göldeki su, sediment ve kerevitteki ağır metal birikiminin, ekosistem ve insan sağlığı açısından tehlikeli boyutlarda olduğunu belirtmişlerdir. Uluabat Gölü suyunda metal seviyeleri ortalama değerlere göre, Zn>Cu>Pb>Ni>Cr>Cd şeklinde sıralanmıştır. 12 örnekleme sahasının sedimanlarında temel metaller hariç (Zn ve Ni), Pb 3 örnekleme alanında (3,5 ve 11) en yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Bu değerlerin evsel ve endüstriyel atık sular ve atmosferik birikim kaynaklı olabileceği kanaatine varılmıştır.

Terkos Gölü (İstanbul) sedimentinin toplam metal içeriğini (Al, Cu, Mn, Pb, Cd, Fe, Zn, Cr, Ni) belirlemek amacıyla Kurun vd. (2010) tarafından yürütülen çalışmada; 2008 yılı Mayıs ayında belirlenmiş iki farklı istasyonda iki farklı derinlikten (1-2 m) su ve sediment numuneleri alınmıştır. Örneklerde ortalama Al, Fe, Mn, Ni ve Cu konsantrasyonlarının Zn, Cr, Cd ve Pb konsantrasyon değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Gölde endüstriyel girdi yoğunluklarını doğrulayan Zn, Cr, Cd ve Pb metallerinin yüksek zenginleşme faktörlerine sahip olduğu belirlenmiş olup, Fe, Ni, Cu değerleri düşük değerlerde tespit edilmiştir ve bunun doğal girdilerden kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Terkos Gölü'nün Cd tarafından yoğun, Zn, Cr, Pb tarafından orta derecede kontamine olduğu saptanmıştır.

Aktümsek ve Gezgin (2011) tarafından, Beyşehir Gölü su-sediment ve kadife (*Tinca tinca*) balıkları kas dokusunda 10 metalin (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonları araştırılmıştır. Göl sedimentinde belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel olarak değişim gösterdiği, en yüksek düzeyde tespit edilen metal konsantrasyonunun Cu olduğu (kış örneği: 34,07 µg/g – yaz örneği: 90,30 µg/g) ve sedimentteki tüm metal konsantrasyonlarının su ve balık örneklerinde tespit edilen değerlerden daha yüksek tespit edildiği bildirilmiştir.

Karaer vd. (2012), Uluabat Gölü'nde 2008-2009 periyodu için göl sedimentinde iz element (demir, mangan, çinko, krom, nikel, bakır, kurşun, kadmiyum, arsenik ve bor) dağılımlarını ve sedimentin kirlenme kaynaklarını belirlemeyi hedeflemişlerdir. En düşük ve en yüksek değerler Cd ve Fe için sırasıyla, 5,0377 ve 27664,197 mg/kg olarak bulunmuştur. Araştırma kapsamında; askıda katı madde, kondüktivite, pH, sıcaklık ve organik madde değerlerinin sedimentteki ağır metal konsantrasyonunu etkilediği, kuru-dönemdeki ağır metal konsantrasyonlarının, askıda katı madde, kondüktivite ve organik madde düzeylerindeki artışa paralel olarak yükseldiği ifade edilmiştir.

Uluabat Gölü'nde yürütülen başka bir çalışma kapsamında ise, sedimentin ağır metaller ile kirlenme riski ve durumu ele alınmış, As, Cd, Cr, Ni ve Pb'un dağılımı tespit edilmiştir (Katip vd. 2012). Sedimentteki toplam Cr ve Ni konsantrasyonları, yoğun etki seviyesini (SEL) aşmış, Cr ve Ni'in değişken fraksiyonları ise %10'un altında bulunduğundan yüksek risk unsuru olarak tanımlanmamıştır. Araştırmacılar, sedimente ilişkin ağır metal kirlenmesinin göl yakınında bulunan Bursa İli'ndeki şehirleşme ve endüstrileşmenin hızlı gelişiminin bir sonucu olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca sedimentteki nikel fraksiyonlarının krom değerlerinden daha yüksek olmasına karşın, kromun nikel göre düşük pH ve çözünmüş oksijen, yüksek sıcaklık, organik maddelerin parçalanması gibi koşullar varlığında kolayca suya salınımının söz konusu olabileceği belirtilmiştir. Benzer şekilde, sedimentteki elementlerin çözünmüş form fraksiyonları ile fizikokimyasal parametrelerin korelasyonlarına göre de su sütununa elementlerin salınım riski olabileceğinden söz edilmiştir. Ancak sedimentteki element fraksiyonları göz önüne alındığında, pek çok fraksiyonun ekstrakte edilmiş rezidual ve demir oksite bağlı olduğu, bu bağlamda gölde, ağır metal ile iz element kirlenmesinin kontrolü açısından değişken fraksiyonların düşük risk düzeylerinin (%10) avantaj olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Saygı ve Atasagun Yiğit (2012), Yeniçağa Gölü'nde aylık veya mevsimsel olarak yaptıkları örneklemeler ile su-sediment-planktonu için ağır metallerin (Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sn, Ba, Pb) dağılımını, birikim düzeylerini ve ağır metallerin kaynaklarını (dereler, kanalizasyon, artezyen kuyuları, toprak) belirlemeyi amaçlamışlardır. Sedimentte demir, alüminyum, mangan, çinko ve baryumun en çok

biriken ağır metallere olduğu ve Fe>Al>Mn>Zn>Ba> Ni>Cr>As>Cu>Pb>Co>Mo> Sn>Cd şeklinde bir sıralamanın tespit edildiği belirtilmiştir. Araştırmacılar sedimentteki ağır metal birikimlerinin doğal proses kaynaklı olmakla birlikte, artezyen kuyu suları ile kanalizasyona ilişkin ağır metal analiz sonuçlarının, göle yeraltı suları ile ağır metal taşınımını desteklediğini bildirmişlerdir.

Işıklı Gölü'nde (Denizli) yürütülen bir çalışmada, su ve sedimentteki ağır metal (Ba, As, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) konsantrasyonları gölde 3 ayrı istasyonda belirlenmiş; su ve sedimentte çalışılan metallere arasında Fe en yüksek konsantrasyona sahip metal olarak tespit edilmiştir. Göl suyunda Cr hariç diğer ağır metal seviyeleri yaz ve kış aylarında en yüksek seviyede bulunmuştur (Tekin-Özan ve Aktan 2012).

Tunca vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, antropojenik ve çevresel faktörlerin etkisi altında kalan Yeniçağa Gölü'nde (Bolu) su ve sedimentteki bazı ağır metal (Cr, Cd, Mn, Pb) düzeyleri belirlenmiş; Cd, Cr, Mn, Pb konsantrasyon değerleri göl suyunda sırasıyla 35 µg/L, 42 µg/L, 183 µg/L, 19 µg/L; sedimentte ise sırayla 0.8 µg/g, 92.8 µg/g, 1143 µg/g, 16 µg/g/taşımadığını ortaya koymuştur. Kor sedimentte antropojenik kaynaklı etkilerden dolayı, Hg ve Pb dışındaki Cr, Ni, Cu, Fe, Zn ve Mn gibi ağır metal değerlerinin genellikle derinlikle uniform bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

Bafa Gölü'nden (Batı Anadolu) 2010 yılında alınan yüzey sediment örneklerinde metal ve organik karbon düzeyleri tespit edilmiştir (Yılgör vd. 2012). Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn ve Hg konsantrasyon değerleri sırasıyla 9,4–35 g/kg, 250-780, 2,3-20, 5,8-55, 1,2-480, 63-278, 26,6-79,9 ve 0,013-0,273 mg/ kg olarak saptanmıştır. Yüzey sedimentlerine ilişkin ortalama metal konsantrasyonları; Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Pb>Hg şeklinde bir dizilim göstermiştir. Dip sediment örneklerindeki toplam organik karbon konsantrasyonları %0.35 ve %3.58 arasında değişim göstermiştir. Kor sediment örneklerinde ortalama ağır metal seviyeleri, Cr ve Ni dışında yer kabuğuna ait aralan değerlerden daha düşük bulunmuştur. Araştırma bulguları, Bafa Gölü'nün, Hg dışında diğer metallere açısından ciddi bir çevresel kirlenme riski esansiyel bir metal olarak bilinen Zn, analiz edilen elementler arasında tüm örnekleme alanlarında (5, 7, 8 ve 9 numaralı

yerler hariç), Pb ise 5, 7 ve 8 numaralı alanlarda en yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir.

Erentürk vd. (2014) tarafından, Van Gölü'nde 2005-2008 yıllarının kapsayan süreçte 63 üst ve dip sediment örneğinde radyoaktivite-ağır metallerin risk tayinleri ve yersel dağılımları dikkate alınmıştır. Sediment örneklerine ilişkin ağır metal dizilimi; Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu olarak saptanmıştır. Sedimentteki ağır metal kaynaklarının jeolojik yapıdan kaynaklandığı; dip sedimentindeki yüksek Ni düzeyinin ise şehre ait kirlenme aktivitelerini yansıtabilecek şekilde seçilen istasyonda yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Ayrıca kirleticilerin yağmur suları ve erozyon sonucu yüzey suları ile önce göle sedimente taşınabileceği, böylece sedimentte birikebileceği ifade edilmiştir.

Kaptan ve Özan (2014) tarafından yapılan bir çalışma ile Eğirdir Gölü'nün su ve sedimentinde bazı ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, ve Zn) konsantrasyonları belirlenmiş; Eylül 2011-Şubat 2012 tarihleri arasında gerçekleştirilen çalışma sonuçlarına göre, göl suyunda en fazla Mn en az ise Cr tespit edilmiştir. Ele alınan metallere sedimentte en fazla biriken metalin Fe, en az biriken metalin ise Cd olduğu bildirilmiştir.

Kükre vd. (2014) tarafından, evsel atıkların boşaltıldığı Çıldır Gölü'nde (Ardahan), ağır metal konsantrasyon düzeylerinin yanı sıra organik karbon ve klorofil degradasyon ürünleri de belirlenerek sözü edilen unsurların ekolojik etkileri araştırılmıştır. Kasım 2012'de gölün kuzey bölümünde seçilen ve 6 farklı yerden alınan sediment örneklerinde, zenginleşme faktörü, kirlilik faktörleri belirlenmiş, kirlenme yükü ile potansiyel ekolojik risk değerleri hesaplanmıştır. Sedimentteki ortalama ağır metal düzeylerine bakarak Cu, Pb, Zn, Ni ve Cr gibi elementlerin kaynağının doğal olabileceği, zenginleşme faktörüne göre ise As, Cd, Mn ve Hg şeklinde bir sıralama belirlendiği ve en yüksek faktör değerinin Hg için tespit edildiği bildirilmiştir. Bulgular doğrultusunda kirlilik yükü ve potansiyel ekolojik risk açısından gölde orta düzeyde bir ekolojik risk söz konusudur.

Şener vd. (2014), Eğirdir Gölü su ve sedimentinde ağır metal konsantrasyonlarını (Pb, As, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn) tespit etmişlerdir. İçme suyu amaçlı da kullanılan ve

Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü için antropojenik kirleticilerin başlıca kirlilik etkeni olduğu ve bu durumun göl suyu ile sediment kalitesine olumsuz olarak yansıdığı bildirilmiştir. Sedimentin Pb, Cu, Ni, Fe ve Zn gibi metallere zenginleştiği, göle ilişkin hidrodinamik model ile Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn birikimini etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca dip sedimentinde metal birikiminde, antropojenik kirleticilerin etkisinin jeojenik etkiden daha baskın olduğu, bu nedenle göl havzasındaki antropojenik kirleticilerin gölün sürdürülebilir kullanımı açısından sürekli kontrol edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Bafa Gölü'nde seçilen yedi istasyonundan toplanan yüzey sedimenti örneklerinde Cd, Cr, Cu, Hg, Pb ve Zn konsantrasyonları tespit edilmiştir (Aydın-Önen vd. 2015). Sediment örneklerine ilişkin ağır metal dizilimi Cr>Pb>Zn>Cu>Cd>Hg şeklinde saptanmış; ağır metal konsantrasyon değişim aralıkları; Cd: 0,037–0,38 µg/g; Cr: 7,8–272,9 µg/g; Cu: 2,1–50,1 µg/g; Hg: 0,008–0,092 µg/g; Pb: 42,2–151,8 µg/g; Zn: 4,1–101,5 µg/g olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, gölün ağır metallere yoğun bir şekilde kirlendiğini, doğu bölümünün daha düşük seviyede kirlilik göstermesinin nedeninin ise Büyük Menderes Nehri kaynaklı su girişi ve sedimentin tane büyüklüğü ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yüzey sedimenti metal konsantrasyonları mevsimsel değişimlerinin yağışla doğrudan ilintili olabileceği ifade edilmiştir.

Çıldır Gölü'nde (Ardahan) kor sediment örneklerinde ağır metallerin vertikal dağılımı ile metallerin potansiyel ekolojik risk içeriği değerleri, sedimentin org-C ve klorofil degradasyon ürünleri ile birlikte ele alınmıştır (Kükrer vd. 2015). Pb, As ve Cd için orta düzeyde kirlilik riski belirlenirken, Mn için orta-yüksek seviyede kirlilik riski tespit edilmiştir. En yüksek kirlilik riski Hg için bulunmuş, kirletici birikiminin özellikle yüzey sedimentinde bulunduğu saptanmıştır. Cd ve Hg'nın göl için potansiyel risk faktörü olan iki metal olduğu bildirilmiştir. Çalışma bulguları, sedimentin Cr, Cu ve Pb düzeylerinin WHO/USEPA tarafından bildirilen maksimum izin verilebilir limit değerlerin üzerinde olduğuna ve seçilen istasyonlar için kaydedilen verilerin gelecekte ciddi bir ağır metal kirlenmesi ile karşı karşıya kalılabileceğine işaret etmektedir.

Aynı gölde Alkan vd. (2016) tarafından yapılan araştırmada kapsamında ise, sedimente ilişkin Ni ve Cr değerlerinin, sediment kalite değerlerini (SQG) aştığı ancak geçmiş dönemleri temsil eden kor örnekleri verileri dikkate alındığında bu metaller açısından bir zenginleşmenin söz konusu olmadığı bildirilmiştir. Çalışma bulguları, sedimentin Cr, Cu ve Pb düzeylerinin WHO/USEPA tarafından bildirilen maksimum izin verilebilir limit değerlerin üzerinde olduğuna ve seçilen istasyonlar için kaydedilen verilerin gelecekte ciddi bir ağır metal kirlenmesi ile karşı karşıya kalınabileceğine işaret etmektedir.

Aynı gölde Manav vd. (2016) tarafından yrtlen çalışma kapsamında ise, bazı balık örnekleri ile yüzey ve kor sediment örneklerinde bazı ağır metal düzeyleri (Cr, Ni, Pb, Cd, Mn, Fe ve Zn) tespit edilmiştir. Sedimente ilişkin Zn, Pb, Cd ve Cr değerleri, ERL (düşük etki seviyesi) ve ERM (orta etki seviyesi) limitlerinde kaydedilirken, Ni konsantrasyonları ERM sınır değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Kovada Gölü dip sedimanlarının ağır metal içerikleri ve kirlilik durumunun belirlenmesinin amaçlandığı bir çalışma kapsamında, Mayıs 2012 ve Ekim 2013 aylarında toplam 11 lokasyondan dip sediman örnekleri alınarak, sedimanların ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesinde zenginleşme faktörü değerleri kullanılmıştır (şener ve şener 2015). Elde edilen sonuçlara göre gl genelindeki ağır metal ortalama birikim düzeyleri Mn>Ni>Zn>Cu>Pb>As>Co>Fe şeklinde sıralanmıştır. Gl dip sedimanlarında Fe, Co ve Pb değerleri genel olarak ortalama şeyl değerinin altında iken Cu, Zn, Ni, Mn ve As değerlerinin ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan zenginleşme faktörü değerlerine göre; Kovada Gölü'nde söz konusu elementlerin az veya orta zenginleşme gösterdiği ve bu durumun doğal/antropojenik kaynaklardan uzun dönemli taşınım ile gerçekleşmiş olabileceği kanaatine varılmıştır.

Tarımsal faaliyetlerin tek antropojenik kaynak olduğu Seyfe Gölü'nde, sentetik gübrelerden kaynaklanan ağır metallerin su ve sediment kalitesine etkileri bir yıl süreyle araştırılmıştır (Bölükbaşı ve Salman Akın 2016). Gl havzasındaki tarımsal alanlarda kullanılan beş farklı tip sentetik gübredeki ağır metal konsantrasyonları: Zn>Pb>Cu>Cr>Cd>As>Ni>Co; sediment örneklerindeki ağır metal dizilimleri ise Zn>Pb>As>Cr>Ni>Cu>Cd>Co şeklinde tespit edilmiştir. Seyfe Gölü sedimenti As ve Zn

konsantrasyon değerleri sediment kalite değerlerine (SQG) göre antropojenik açıdan yüksek seviyede kirli, As bazında ise jeoakmlasyon indeksine göre orta seviyede kirli olarak sınıflandırılmıştır.

RAMSAR koruma alanlarından biri olan Uluabat Gölü'nde (Bursa), suyun fizikokimyasal parametreleri ile sedimentteki ağır metal (Cr ve Ni) fraksiyonları arasındaki ilişki araştırılmıştır (Hacısalihğlu ve Karaer 2016). Ağustos 2013-Temmuz 2014 döneminde glden 10 farklı noktadan alınan örneklerde, su ve sediment kalite parametreleri tespit edilmiş ve parametrelerin aylık değişimler gösterdiği belirlenmiştir. Jeoakmlasyon indeksine (Igeo) göre gl sedimenti orta seviyede kirlenmiştir. Cr ve Ni konsantrasyonları, uluslararası standart değerleri bağlamında ise yüksek etki eşik değerini aşmıştır. Organik maddeye bağlı Cr ve Ni fraksiyonları, rezidüel ve Fe-oksit bağlı fraksiyonlar, en baskın formlar olarak saptanmıştır. Ayrıca genellikle Cr ve Ni'in tüm formları, pH, elektrik iletkenliği ve askıda katılar ile önemli düzeyde ve pozitif ilişki göstermiştir. Çalışma bulguları, gl su-sediment kalitesinin korunması için noktasal ve yaygın kirletici kaynakların sıkı kontrolünün önemini ve gereğini destekler niteliktedir.

Kükrer (2016) tarafından, Tortum Gölü yüzey sedimentinde düşük-orta düzeyli kontaminasyon belirlenmiş, en yüksek EF değerinin Cd olup, bölgede kullanılan fosil yakıt kullanımı kaynaklı olabileceği bildirilmiştir. Sedimente ilişkin mPEC-Q değerleri %15-29 risk ile düşük-orta öncelikli alana, PLI ve PER değerleri ise, gölde ağır metallere bağlı düşük ekolojik riske işaret etmektedir.

Beyşehir Gölü'nde (Konya) su ve sedimentteki metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve sedimentteki antropojenik (insan kaynaklı) etkinin oluşturduğu kirliliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Tunca 2016). Sedimentte 2. istasyonun diğer istasyonlara göre daha kontamine ve toksik açıdan etkilendiği (%76 oranında) tespit edilmiştir. Gölün arsenik (As) açısından orta seviyede, ele alınan diğer metaller açısından ise yüksek oranda etkilenmiş olduğu tespit edilmiş; PER değerlendirmeleri işığında, sedimentteki As' in canlılar üzerindeki potansiyel toksik etkisinin ciddi seviyede olduğu ortaya konmuştur.

Işıklı Gölü'nden mevsimsel olarak (Ekim 2012, Ocak-Nisan-Temmuz 2013) alınan su ve sediment örneklerinde on adet ağır metal konsantrasyonuna ilişkin veriler elde edilmiş, fizikokimyasal parametreler ile ağır metal düzeyleri arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur (Gülcü-Gür ve Tekin-Özan 2017). Çalışma kapsamında sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektrik iletkenliği ölçümleri de yapılmıştır. Sedimentte, Se kışın tespit sınır değerinin altında kalırken diğer metaller tüm örnek alma dönemlerinde tespit edilmiştir. Sedimentte Fe en yüksek, Cd ise en düşük seviyede belirlenen metal olmuştur. En yüksek verilerin saptandığı mevsim ve metaller; Bahar: Cd, Cr, Mn, Mo, Ni ve Zn; Kış: Fe; Sonbahar: Cu; Yaz: Pb olarak kaydedilmiştir. Cr, Mn, Mo, Ni, Pb ve Zn kış mevsiminde, Cd ve Se sonbaharda, Cu yaz mevsiminde, Fe ise baharda en düşük seviyede saptanmıştır. Cd, Cu ve Mo düzeyleri, mevsimsel olarak önemli seviyede ($p < 0.05$) değişiklik göstermiştir.

Kükrer (2017), Türkiye kuzeydoğu sınırında bulunan Aktaş Gölü sedimentinde antropojenik kaynaklı metallere ilişkin ekolojik indeksleri ele almıştır. Gölde belirlenen dokuz istasyondan temin edilen sediment örneklerinde ağır metal, toplam organik karbon, % CaCO_3 , klorofil-a, toplam sülfür ve toplam fosfat analizleri yapılmıştır. Zenginleşme faktörü (EF), kirlenme yükü ve potansiyel ekolojik risk (PER) değerleri belirlenmiştir. Minimum kontaminasyon Hg için tespit edilirken, kirlenme yükü, PER ve toksik risk indeksleri açısından ekolojik risk tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, PER açısından, Hg için orta-seviyede potansiyel riske sahiptir. Çok değişkenli istatistik analiz yönteminden elde edilen bulgular ışığında, metallerin çoğunun litojenik, Hg ve Mn'in atmosferden köken aldığı saptanmıştır.

Özşeker ve Eruz (2017) tarafından, Güneydoğu Karadeniz'den kaynaklanan Sera Gölü, Uzungöl ve Borçka Baraj Gölü'nde mevsimsel olarak sedimente ilişkin Pb, Cu, Zn, Ni ve As düzeyleri çalışılmıştır. Bu amaçla çalışmada her göl için üç farklı istasyon belirlenerek sedimentin 0-5 cm lik katmanından örnek alınmıştır. En yüksek ortalama toksik Cu ($498,46 \mu\text{g/g}$), Pb ($185,60 \mu\text{g/g}$), As ($18,74 \mu\text{g/g}$) değerleri Borçka Baraj Gölü'nde, Zn ($435 \mu\text{g/g}$) ve Ni ($143,42 \mu\text{g/g}$) konsantrasyonu ise Sera Gölü'nde bulunmuştur. Araştırmacılar en yüksek metal konsantrasyonlarının sonbaharda belirlendiğini; Cu kirlenmesinin Borçka Baraj Gölü için orta derecede risk olduğunu, jeoakümüasyon indeksi değerinin ise yine en yüksek aynı gölde tespit edildiğini bildirmişlerdir. Araştırma

alanlarının Cu ve Pb ile yüksek derecede kirlendiği ve bu iki metalin söz konusu göller için ekolojik risk açısından temel unsurlar olduğu belirlenmiştir. Araştırma bulguları kapsamında kirlenme limit değerleri dikkate alındığında, göller kirlilik düzeylerine göre Borçka Baraj Gölü>Uzungöl>Sera Gölü şeklinde sıralanmıştır. Borçka Baraj Gölü'nün yüksek kirlenme seviyesinin tespitinde, doğal mineralojik yapısının yanı sıra çevresinden kaynaklanan antropojenik etkinin özellikle bölgedeki aktif Cu maden işletmesinin etkili olabileceği, işletme atık sularının yağmur, erozyon vb. gibi çevresel etkilerle konsantrasyon artışında etkili olduğu bildirilmiştir.

Aygır Gölü (Kars) yüzey ve karot sediment örneklerinde ağır metallerin dağılımları, olası kaynakları, potansiyel ekolojik risk ve toksik riskleri üzerine bir çalışma yürütülmüştür (Kükreler 2018). Çalışma kapsamında, yüzey sedimentinde en fazla birikim yapan ağır metal Zn olmuş bunu sırasıyla, Cr, Pb ve Cd izlemiştir. Cd kritik olan 40 değerini aşan tek metal olup orta-düzeyde potansiyel ekolojik riski ifade etmektedir. TRI değeri baz alındığında ise ekotoksik risk söz konusu değildir. Araştırmacı, göl çevresinde şehirleşme, endüstrileşme ve tarımsal faaliyetlerin olmaması nedeniyle, lokal fosil yakıt tüketiminin sedimentteki ağır metal birikiminden sorumlu olduğunu bildirmiştir.

Algül ve Beyhan (2020), Bafa Gölü yüzey sedimentinde, Yaz 2015-Bahar 2016 periyodunda dokuz ağır metal konsantrasyonu değerleri ile toplam organik karbon düzeylerini belirlemişlerdir. Sedimentteki ağır metal düzeyleri Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Co>Pb>Cd olarak sıralanmıştır. Sediment kalite sınır değerlerine göre Cr, Cu ve Ni'in belirgin ölçüde göldeki sucul ekosistemi tehdit ettiği saptanmıştır. Göldeki tüm örnekleme noktalarında, sonbahar mevsiminde metal konsantrasyonlarında artışlar tespit edilmiştir. Çok değişkenli istatistiksel analiz sonuçlarına göre Co, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn'nun kaynaklarının doğal, Cd'un antropojenik, Ni ve Cr'un ise doğal ve antropojenik olduğu tespit edilmiştir. Bulgular Cd, Cr ve özellikle Ni'in göl ekosistemindeki ağır metal kirlenmesi olgusuna ışık tutmuştur.

Keser vd. (2020), Kara Göl'de (Adıyaman) su, sediment ve makrofitler (*Potamogeton crispus*, *Potamogeton perfoliatus*, *Myriophyllum spicatum*, *Chara vulgaris*) ve sülüklerde

(*Hirudo sulukii* n.sp.) bazı ağır metaller (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) ile makroelement (Ca, Mg, Na, K) düzeylerini tespit etmişlerdir. Ele alınan ağır metal konsantrasyonları eşik tespit değerinin altında kalırken, sediment örneklerinde ağustos ayında Ni, Cr, Zn, Fe, Pb gibi ağır metaller ile Mg ve Na gibi makroelement değerleri maksimuma ulaşmıştır. Araştırmacılar tarafından ağır metal ve makroelementlerdeki yükselişin bu periyottaki yaz tabakalaşmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Sedimentte ağır metal dizilimi Mn>Ni>Cr>Zn>Fe>Pb>Cu olarak tespit edilmiştir. Sedimentteki ağır metal ve makroelement sonuçları, USEPA'ya göre sucül yaşamı tehdit edecek risk değerlerinin altında belirlenmiş olup, gölde ciddi bir kirlenmenin olmaması nedeniyle tüm element düzeylerinin jeolojik kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir.

Varol vd. (2020), Türkiye'nin en derin göllerinden biri olan Hazar Gölü'nde seçilen iki istasyonda, sedimentteki 12 iz metalin (Hg, As, Pb, Cd, Ni, Cr, Zn, Cu, Co, Mn, Al ve Fe) vertikal konsantrasyon profillerini, olası kaynaklarını, metallerce kirlenme durumunu ve metallerin eko-çevresel risklerini araştırmışlardır. Arazi çalışması aşamasında sediment örnekleri iki kor tüp kullanılarak alınmıştır; 1. istasyon (Hz11-P02): Gölün batı noktasında Kükrer Nehri'nin göle giriş yaptığı bölge (51 m derinlik), 2. istasyon (Hz11-P099): Gölün orta bölgesi (81 m derinlik). En yüksek Cd ve As konsantrasyon değerleri, 1. istasyonunun en üst tabakasında (0-10 cm), Hg düzeyi ise 2. istasyonun üst tabakasında tespit edilmiştir. Cr dışındaki diğer metal konsantrasyonları ise her iki kor tüpün de üst katmanındaki (100 cm'nin altında) örneklerde saptanmıştır. Birinci istasyon sedimentindeki Cr, Ni, Al ve Mn düzeyleri ile ikinci istasyon Mn düzeyleri arasındaki derinliğe bağlı farklılık istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,01$). 1. İstasyona ait ortalama Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Co, Mn, Al ve Fe konsantrasyon değerleri de 2. istasyon kor tüplerinde belirlenen değerlere göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). Ayrıca As, Cu, Cd, Zn, Pb ve Hg' ya ilişkin ortalama zenginleşme faktörü, jeoakümüülasyon indeksi ve kontaminasyon faktörü değerleri, 1. istasyon sediment örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. 1. İstasyon için ekolojik risk indeksi (RI) verileri, örneklerin %43'ünde %150 ve 300 arasında değişmiş olup, orta seviyede ekolojik riske, ikinci istasyon içinse örneklerin tümünde <150 olarak belirlenmiş olup düşük seviyede ekolojik riske işaret etmektedir. Faktör, küme ve korelasyon analizleri ile kontaminasyon göstergeleri, 1. istasyona ait As ve Hg düzeylerinin ağırlıklı olarak

anrtopojenik kaynaklardan, 2. istasyondan alınan örneklerdeki tüm metallerin ise doğal kaynaklardan köken aldığını orta koymuştur.

Çizelge 2.1'de Türkiye'deki farklı göllerin sedimentlerine ilişkin ağır metal konsantrasyonları ve bu konsantrasyon değerlerinin sediment kalite kriterleri bağlamında toplu olarak değerlendirilmesi gösterilmiştir.



Çizelge 2.1 Türkiye'deki farklı göllerin sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonları (mg/g KA) (Pulatsü ve Topçu 2015)

Ağır Metal Kon. Göller	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Beyşehir Gölü	-	13,05 ^{1,2}	10,63	-	32,65	0,24 ¹	-	-
Kovada Gölü	-	0,27	6,63 – 17,59	4,65 – 13,77	1,96 – 4,42	-	9,13 – 25,93 ¹	12,82 – 33,42
(Tokat Gölleri) Bedirkale	-	-	4,5 – 6,1	5,1 – 8,2	2,9 – 3,4	-	51,1 – 53,6 ^{1,2}	33,7 – 38,9
Boztepe	-	-	6,4 – 7,8	4,7 – 6,1	6,7 – 7,0	-	51,6 – 55,4 ^{1,2}	23,3 – 23,9
Belpınarı	-	-	9,4 – 10,7	5,8 – 6,3	3,9 – 4,0	-	37,8 – 38,0 ¹	26,5 – 29,7
Avara	-	-	5,1 – 5,6	3,4 – 3,7	3,8 – 5,1	-	42,1 – 42,7 ¹	30,4 – 32,3
Ataköy	-	-	4,7 – 4,9	6,3 – 6,8	2,7 – 3,1	-	50,6 – 55,0 ^{1,2}	24,7 – 25,0
Akın	-	-	4,4 – 4,6	4,6 – 5,0	2,9 – 3,5	-	40,7 – 43,1 ¹	23,3 – 26,5
Hazar Gölü	-	-	29,0 – 35,0 87,70 ± 43,34 ¹	24,0-51,0 ^{1(H)} 46,2 ± 9,14 ¹	- 1,14 ± 3,49	-	41,0 ¹ 49,50 ± 28,61 ^{1,2}	49,0 – 70,0 27,09 ± 10,26
Terkos Gölü	-	0,56 - 1,16 ¹	91,88 -123,92 ^{1,2}	5,94 – 33,09	22,61-62,51 ¹	-	25,07 – 39,41 ¹	76,22 -137,55 ¹
Uluabat Gölü	-	0,02 - 0, 2 2,0 ¹ 0,69 ¹	0,83 - 4,88 9,0 57,9 ¹	0,25 – 1,03 12,0 119,2 ¹	0,42 – 2,39 13,0 110,7 ¹	-	1, 4 – 8,93 8,0 209,4 ^{1,2}	0,74 – 8,36 1,0 171,0 ¹
Işıklı Gölü	1,14 - 16,33 ¹	0,09 - 3,06 ¹	11,60-269,5 ²	2,68-38,84 ¹	-	-	11,23-211,16 ^{1,2}	16,34-159,56 ¹
Yeniçağa Gölü	-	0,8 ¹	92,8 ¹	-	16	-	-	-
Mogan Gölü	-	-	28,55	15,13	0,82	-	-	13,79

Ağır metal konsantrasyonları için ¹: TEL, ²: PEL değerini aşan verileri göstermektedir.

Çizelge 2.1 Türkiye'deki farklı göllerin sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyonları (mg/g KA) (Pulatsü ve Topçu 2015) (devam)

Ağır Metal Kon. Göller	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Karataş Gölü	-	0,11 – 0,25	13,82-53,13 ¹	1388 – 32,27	0,54 – 1,13	-	47,16-203,92 ^{1,2}	12,92 – 45,00
Bafa Gölü	-	-	63 - 278	5,8 - 55	2,3 - 20	0,013-0,273	1,2 - 480	26,6 – 79,9
Eğirdir Gölü	-	0,003-0,08	0,3 – 7,20	0,66 – 21,75	0,25 – 6,53	-	1,37 – 15,17	10,21 – 60,31
Tortum Gölü	9,9	0,03	751,8	696,39	14,3	-	397.2	30.7
Sera Gölü	6,40 – 11,56	-	-	41,10 – 110,31	144,11-178,30	-	117,14 – 143,42	360,00 – 435,00
Uzungöl Gölü	7,72 – 10,24	-	-	229,28 – 472,23	138,13-173,40	-	15,12 – 31,24	221 - 292
SQGs	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
TEL	5,9	0,596	37,3	35,7	35,0	0,174	18,0	123
PEC	33,0	4,98	111,0	149,0	128,0	1,06	48,6	459,0

Ağır metal konsantrasyonları için ¹: TEL, ² : PEL değerini aşan verileri göstermektedir.

2.3 Mogan Gölü'nde Yürütülmüş Güncel Çalışmalara İlişkin Bildiriler

Mogan Gölü havzasında tarımsal faaliyetlerin yanı sıra yerleşim yerleri, sanayi, maden işleme tesisleri vb. çeşitli sektörler bulunmakta, gölün kıyı bölgeleri de turizme hizmet etmektedir. Hipertrofik besin seviyesine sahip gölde özellikle yaz aylarında ani balık ölümlerine rastlanılmaktadır.

Atıcı vd. (2010) tarafından Beyşehir ve Mogan Gölleri fitoplanktonik alg ve zooplanktonik organizmalara ilişkin ağır metal birikimlerinin belirlenmesine yönelik çalışma kapsamında; Mogan Gölü su örneklerinde Cd, Pb, Hg ve Cr değerleri sırasıyla, 0,074 mg/L; 0,257 mg/L; 0,027 mg/L; 0,058 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Benzer vd. (2013) tarafından yürütülen bu çalışmada, gölde su-sediment ve *Cyprinus carpio*'da (sazan) metal konsantrasyonları ile metaloidinin (silikon) tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda sudaki iz elementlerin konsantrasyon değişim değerleri Al: 0,13-2,33 µg/L; Fe: 0,59 -2,62 µg/L; Si:101,04-466,10 µg/L olarak tespit edilmiştir (Si>Fe>Al). Sedimentteki metal konsantrasyonları ise, Cr: 22,19 – 41,31 µg/L; Cu: 9,91– 30,19 µg/L; Fe: 3091,58 – 4007,95 µg/L; Mn: 102,94–146,29 µg/L; Pb: 0,46–1,78 µg/L; Si: 38023,86–55556,53 µg/L; Zn: 11,27–18,01 µg/L; V: 19,25–26,68 µg/L olarak belirlenmiş olup, Si>Fe>Mn>Cr>V>Cu>Zn>Pb şeklinde sıralanmıştır. Araştırmacılar, ağır metal seviyelerini sediment kılavuz değerleri ile karşılaştırmışlar ve değerlerin olası etki seviyesini (PEC) aşmadığını bildirmişlerdir.

Göl içi yönetim araçlarından biri olan sediment (dip) tarama (dredging) uygulaması, göl Mogan Gölü'nde 2006 yılından itibaren yerel yönetim tarafından zaman zaman yürütülmektedir. Topçu ve Pulatsü (2017) tarafından bildirilen sedimente ilişkin fosfor salınım değerleri açısından mevcut yönetim uygulamalarının mevcut durumda gerekli olmadığı, sedimentin adsorpsiyon kapasitesinin belirlenerek kritik değerin saptanması gerekliliği bildirilmiştir.

Topçu ve Kaya (2017), Mogan Gölü'nde ortalama metal konsantrasyonlarını azalan sırayla Ca>Zn>Al>Cu>Fe>K>Na>Mg>Mn şeklinde belirlemişlerdir. TEL/PEL ve SQGs değerleri açısından farklı kaynaklar baz alındığında Cu ve Zn konsantrasyon verileri,

Average Continental Crust, Average Shale, SQGs (Düşük-Yüksek) değerlerine göre düşük bulunmuştur. Cu, Mn ve Zn 'nun jeoakümülyasyon indeksi ve Igeo değerleri, sıfırdan düşük olup oldukça düşük seviyede kirlenmeye işaret etmektedir. Benzer şekilde, zenginleşme faktörü değerleri de genellikle <1 olduğundan düşük kirlenme seviyesini göstermektedir. Bu bağlamda, gölün sürdürülebilir yönetiminde yerel otoriteler için metal kirlenmesi izleme programlarında, çalışma kapsamında elde edilen verilerin referans olarak kullanılabilceği bildirilmiştir.

Topçu vd. (2018), Mogan Gölü'nde yürüttükleri son çalışmada da (2015-2016) tahmin ettikleri sediment denge fosfat konsantrasyon değeri ($5,5 \times 10^{-3}$ ve $46,6 \times 10^{-3}$ mg/L) dikkate alındığında, sediment üstü sudaki çözülmüş fosfat değeri ekim ayında 0,008 mg/L'nin, temmuz ayında 0,046 mg/L'nin altına düştüğünde sedimentten göl suyuna olabilecek fosfor salınım riskine işaret etmişlerdir.

Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından Mogan Gölü'nde belirlenen 5 istasyondan ayda bir olmak üzere 2017 yılının Haziran ayından başlamak üzere 2018 yılının Mayıs ayına kadar bir yıl boyunca alınan su, sediment ve balık örneklerinde alüminyum (Al), arsenik (As), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb), cıva (Hg), çinko (Zn), nikel (Ni) ve selenyum (Se) düzeyleri tespit edilmiştir. Bu beş istasyon sırasıyla; Çölova Dere'sinin döküldüğü alanı (A), restaurant ve çay bahçelerinin bulunduğu alanı (B), yerleşim yerlerine en yakın alanı (C), Sukesen Deresi'nin döküldüğü alanı (D) ve yerleşim yerlerine en uzak alanı (E) temsil etmektedir. Tüm analizler ICP-OES ile gerçekleştirilmiştir. Bulgular kapsamında azalan değerlere göre; su örneklerinde tanımlanan metaller Fe, Cu, Cr, Zn, Pb, Ni, As, Se ve Hg; yüzey sediment örneklerinde tanımlananlar Fe, Zn, Cu, Ni, Se, Pb, Cr, As, Al, Cd ve Hg olarak belirlenmiştir. Yüksek ağır metal seviyeleri, istasyonlara göre farklılık göstermiştir. En kirli istasyon, restoran ve çay bahçelerinden gelen atıkların boşaltıldığı alan olarak tespit edilmiş, kirlilik Ağustos ayında en yüksek seviyede saptanmıştır. Bu durumun özellikle sıcak aylarda restoran ve çay bahçelerindeki ziyaretçi sayısındaki artıştan kaynaklandığı bildirilmiştir. Yaz döneminde ağır metal yükündeki artışın bir diğer nedeninin ise sıcak havada suyun buharlaşmasındaki artış olabileceği belirtilmiş ve bu aylarda Al, Fe ve Se hariç diğer ağır metal konsantrasyonlarında daha yüksek değerler saptanmıştır. Fe hem suda hem de

sediment örneklerinde en yüksek konsantrasyona sahip ağır metal olarak belirtilmiştir. Nispeten düşük kirlenme düzeyleri ise, özellikle son 5 yılda Çölova ve Sukesen Dere'lerinde yapılan ıslah çalışmalarından dolayı sözü edilen iki derenin göle döküldüğü lokasyonlarda tespit edilmiştir. Araştırmacılar tarafından, Mogan Gölü'nde su ve sedimentte biriken metallerin antropojenik aktivitelerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 2.2'de Mogan Gölü'nde sedimente ilişkin yapılan bazı araştırma sonuçları sunulmuştur.



Çizelge 2.2 Mogan Gölü'nde sedimente ilişkin bazı araştırma sonuçları

Parametre	Değişim Aralığı	Kaynak
OM (%)	5,42 – 3,30	Pulatsü vd. (2008)
TOK (µg/g KA)	58850,00 – 79675,00	Topçu ve Pulatsü (2017)
TA (µg/g KA)	3250,00 – 6325,00	Topçu ve Pulatsü (2017)
TF(µg/g KA)	286,00 – 892,25	Topçu ve Pulatsü (2008)
	620,00 – 1047,50	Topçu ve Pulatsü (2017)
As	66,6 ± 8,4 µg/kg	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)
Cd	6 µg/kg	Yavuz ve Filazi (1995)
	1000 µg/kg	Olgun ve Kocaemre (2011)
	24,8 ± 6,9 µg/kg	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)
Cr	22190 - 41310 µg/kg	Benzer vd. (2013)
	406,7 ± 65,1 µg/kg	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)
Cu	75 µg/kg	Yavuz ve Filazi (1995)
	9910-30190 µg/kg	Benzer vd. (2013)
	4514 ± 537 µg/kg	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)
Hg	200 µg/kg	Olgun ve Kocaemre (2011)
	0,9 - 2,86 µg/kg	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)
Ni	4481 ± 672 µg/kg	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)

Çizelge 2.2 Mogan Gölü'nde sedimente ilişkin bazı araştırma sonuçları (devam)

Parametre	Değişim Aralığı	Kaynak
Pb	270 µg/kg 10000-25000 µg/kg 460-1780 µg/kg 651,3 ± 129,1 µg/kg	Yavuz ve Filazi (1995) Olgun ve Kocaemre (2011) Benzer vd. (2013) Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)
Zn	49 µg/kg 11270-18010 µg/kg 14051 ± 1068 µg/kg	Yavuz ve Filazi (1995) Benzer vd. (2013) Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020)

2.4 Göl Yönetiminde Sediment Tarama Uygulamalarına İlişkin Bildirişler

Göl içi ötrofikasyon kontrolü için fiziksel yöntemlerden biri olan sediment tarama; akarsular, göller, kıyı suları ve denizlerden dip sedimentlerinin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Sığ göller ile sedimentasyon hızının düşük ve sedimentin organik madde içeriğinin fazla olduğu, küçük havza alanı/yüzey alanına oranının oransal olarak düşük, hidrolik su tutma süresinin ise uzun olduğu göllere uygulanmasının işlemin etkinliğini artırdığı belirtilmiştir. Sedimentin yapısı, kirleticilerin tipi, su derinliği, sediment tabakasının kalınlığı ve hacmi sediment tarama uygulamasını sınırlayan faktörler arasında olup, bir sonraki işlemin yapılacağı yere (boşaltım alanları gibi) olan uzaklığa ve mevcut ekipmanlara da bağlıdır. Gölden uzaklaştırılan sedimentlerin sucul veya kıyısak ekosisteme aktarılması, taranan materyalin zirai uygulamalar ve sulak alan/habitat dolulukları için kullanılması söz konusudur (Pulatsü vd. 2015).

Sediment tarama işleminin en önemli çevresel risklerinden biri kirleticilerin mobilizasyonudur. Bu amaçla, Hollanda'da bir tatlı su ekosistemi sedimentinde tarama uygulamasının Zn, Cu, Cd ve Pb gibi iz metallerin (Zn, Cu, Cd ve Pb) mobilizasyonu üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yürütülmüştür (Van Den Berg vd. 2001). Bu kapsamda, arazi koşullarında gerçekleştirilen deneysel çalışma esnasındaki iz metal hareketliliğinin miktarı ve süresi tespit edilmiştir. Sediment tarama aktiviteleri boyunca resüspansiyon ile kirlenmiş-atık sediment kaybı, esas olarak askıda katı madde iz metal (Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn) seviyelerinde artışı yansıtırken, su kolonundaki metal konsantrasyonlarının tarama faaliyetlerinden önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir. Sucul ekosistemlerde ağır metallerin hareketliliğinin; fiziksel taşınım (adveksiyon, karışım, difüzyon gibi), biyolojik (biyotürbasyon vb), jeokimyasal proseslere (adsorpsiyon/desorpsiyon ve çökme/çözünme), canlılar için biyolojik olarak kullanılabilir halinin ise genellikle katı faz şeklinde tekrar çökme ve tutulumlarına dayandığını belirtmiştir. Araştırmacıya göre, sedimentin tarama girişimi, hem partiküler hem de gözenek suyundaki kirleticilerin dağılımı ile sonuçlanabilmekte, söz konusu girişim ağır metallerin hareketliliğini artırarak özellikle taranan kısım ile askıda katı maddenin karışımı, organik madde ve Mn değerlerinde düşmeye, askıda katı maddedeki ağır metallerin miktarında artışa neden olmaktadır.

Peng vd. (2009) tarafından bildirildiğine göre, pH ve organik madde sedimentteki metallerin dağılımını doğrudan, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ise esasen pH'ı veya metal sülfidlerin oksidasyonunu etkileyerek dolaylı olarak metal dağılımını değiştirmektedir.

Zhang vd. (2010) tarafından, sığ-ötrofik bir gölde gerçekleştirilen sediment tarama uygulamasının, su kalitesi ve zooplankton yapısına olan etkisi araştırılmıştır. Bulgular tarama ertesi, fosfor, organik madde, toplam askıda madde, klorofil-a, Secchi derinliğinde azalmaya, su derinliği, elektrik iletkenliği, toplam çözünmüş katılar ve NO₃-N konsantrasyonunda belirgin ölçüde artışa işaret etmektedir. Tarama işleminin, çözünmüş oksijen, pH ve sıcaklık değerlerinde etkileri ise önemsiz seviyededir. Gölde tarama ertesi, rotifer yoğunluğunun azaldığı, zooplanktonik krusteseaların yoğunluğunun öneli düzeyde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Araştırmacıların görüşleri, iç kaynaklı besin elementi yükünün azalması ve ötrofik türlerin azalması ve dominantlığın değişmesi ile sediment tarama uygulamasının bu tip göllerin iyileştirilmesinde etkili bir yöntem olabileceği yönündedir.

Liu vd. (2015), çeşitli kirleticiler taşıyan üç nehrin kesişme noktasında bulunan Chaohu Gölü (Çin)'nün kirlenme durumunu araştırmışlardır. Çoğu sediment kor örneklerinde besin elementleri konsantrasyonu 10-18 cm derinlikte önemli değişiklikler göstermiş ve pozitif yönde amonyum azotu ve fosfat fosforu salınımı tespit edilmiştir. Ağır metallere Hg ve Cd' un kirlenme seviyeleri sırasıyla 20 ve 25 cm derinliklerde oldukça yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar, çok amaçlı sediment tarama uygulamalarının optimum tarama derinliği ve alanı açısından önemini ifade etmişlerdir.

Sediment tarama uygulamasının çevresel etkileri, tarama işleminin teknolojisi ve sedimentin özellikleri olmak üzere iki önemli unsura dayanmaktadır. Tarama işleminin yönetiminde yasal zorluklara ait ilave görüşler, olumsuz halk algısı ve maliyet gibi hususlar da dikkate alınarak daha bütünleşik bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğu bildirilmiştir (Manap ve Voulvoulis 2015). **Çizelge 2.3'**de sediment tarama uygulamalarının etkileri sunulmuştur.

Göl içi yüklemenin önemli bir fosfor kaynağı olduğu göllerin iyileştirilmesi başta olmak üzere, makrofit kontrolü veya sedimantasyonla büyük oranda dolmuş göllerde sığlığın bertarafı amacıyla uygulanan tarama (dredging) uygulamaları, sedimentten sediment üstü suya toksik madde girişinin (PCB, civa vb.) olduğu süreçlerde de kullanılan bir yöntemdir.



Çizelge 2.3 Sediment tarama uygulamalarının etkileri (Manap ve Voulvoulis 2015)

Çevresel Etki	Olası Nedeni	Açıklamalar
Sediment tarama uygulaması sonrası kimyasal içeriğin artması (Munawar, 1989)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tarama uygulaması sonrası kirletici maddelerin suya dağılması ve sonra sediment tabakasına geri çökmesi ▪ Daha yüksek değerli yeni sediment katmanının ortaya çıkması. 	Silt perdesi sızıntıdan dolayı tümüyle dağılan kısmı barındırmayabilir.
Oksijen ihtiyacının artması (Messieh vd. 1991)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su faunasında artış ▪ Kimyasal kirleticiler, oksijenin ayrışma ihtiyacını en üst düzeye çıkarır 	-
<i>Polychaeta</i> sayısında artış (Ponti vd. 2009)	Tarama uygulaması, gıda kaynaklarını ortaya çıkarır.	Gıda kaynaklarının ortaya çıkması, diğer <i>Polychaeta</i> türleri arasında rekabet yaratır ve zayıf türlerin azalmasına neden olur (Ponti vd. 2009).
<i>Polychaeta</i> sayısında azalma (Ponti vd. 2009)	Tarama, <i>Polychaeta</i> 'yı habitatlarından uzaklaştırır.	İyileşme oranı 1 ile 2 yıl arasındadır (Kenny ve Rees 1996, Powilleit vd. 2006).
Işık penetrasyonunun azalması (Douvere ve Ehler 2009, Munawar 1989)	Tarama aşamaları yüksek düzeyde bulanıklığa neden olur.	Yüksek düzeyde bulanıklık geçicidir (Herbich ve Brahme 1991, Messieh vd. 1991).

Çizelge 2.3 Sediment tarama uygulamalarının etkileri (Manap ve Voulvoulis 2015) (devam)

Çevresel Etki	Olası Nedeni	Açıklamalar
Yengeçte kimyasal vücut yükünün artması (Su 2002)	Kimyasalların dağılması biyoakümülyasyona yol açar.	-
Habitat değişikliği (Padmalal 2008)	Tarama, sediment tipini değiştirir ve <i>Polychaeta</i> türlerinin yaşam alanları değişir.	-

Chen vd. (2019), ötrofik Taihu Gölü'nde (Çin) sediment tarama uygulamasının bitiminden altı yıl sonra, kirlenmiş göl sedimentinden Cu, Cd ve Pb' un uzaklaştırılması yoluyla, tarama işleminin etkinliğini araştırmışlardır. Bu amaçla bir yıl boyunca sediment taraması uygulanmamış ve tarama uygulanmış sedimentlerde, çözünmüş metaller ve DGT kararsız metaller, ince film difuzif gradyanlar tekniği (DGT-kararsız; DGT-labile) ve yüksek çözünürlüklü ayırma tekniği (HR-Peeper) kullanılarak belirlenmiştir. Nisan ve temmuz ölçümleri, sediment taramanın kirlenmiş sedimentlerin iyileştirilmesinde faydalı olduğunu göstermiştir. Sediment taraması yapılmayan zona ilişkin verilerle karşılaştırıldığında, çözünmüş Pb, Cd ve Cu düzeyleri, %30, %44 ve %26'ya kadar azalma gösterirken, DGT-kararsız miktarlar ise %51, %27 ve %33 seviyesinde azalma saptanmıştır. Ekim ve ocak aylarında ise taramanın etkinliği, sediment tarama ertesi zona ilişkin sedimentlerde alglerin dekompozisyonu ile sekteye uğramış ve sedimentteki ilave metal ekstraksiyonları nedeniyle çözünmüş ve DGT-kararsız metal konsantrasyonlarında artış tespit edilmiştir. Araştırmacılar tarama işlemine maruz kalmış (tarama ertesi) sedimentlerde, kararsız metal fraksiyonlarının azalması, metallere bağlanan mevcut katıların kapasitesinin artışı ve mevcut katılardan metallerin uzaklaşmasının yavaşlaması gibi unsurlar açısından, sediment tarama uygulamasının etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Fan vd. (2019) tarafından, Shitang Gölü (Çin)'nde sediment tarama alanlarının belirlenmesi amacıyla ağır metallerin yersel dağılımı ve kirlenme durumu, jeoakümüülasyon indeksi (Igeo) ve potansiyel risk indeksi (RI) kullanılarak tespit edilmiştir. Araştırma bulguları doğrultusunda, sedimentteki baskın ağır metallerin göreceli olarak geçmiş veriler ile karşılaştırıldığında Hg ve Cd olduğu ortaya konmuştur. Gölün güney bölümünde 0,4 m derinlikteki bölgenin en yoğun kirlenmiş alan olduğu bildirilmiştir. RI değerlerine göre de gölün kuzey ve güney bölgelerindeki yüksek kirlenme düzeylerine işaret edilen çalışmada, bulguların sediment tarama uygulamalarının önceliklendirilmesi açısından yol gösterici olduğu vurgulanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Araştırma alanı

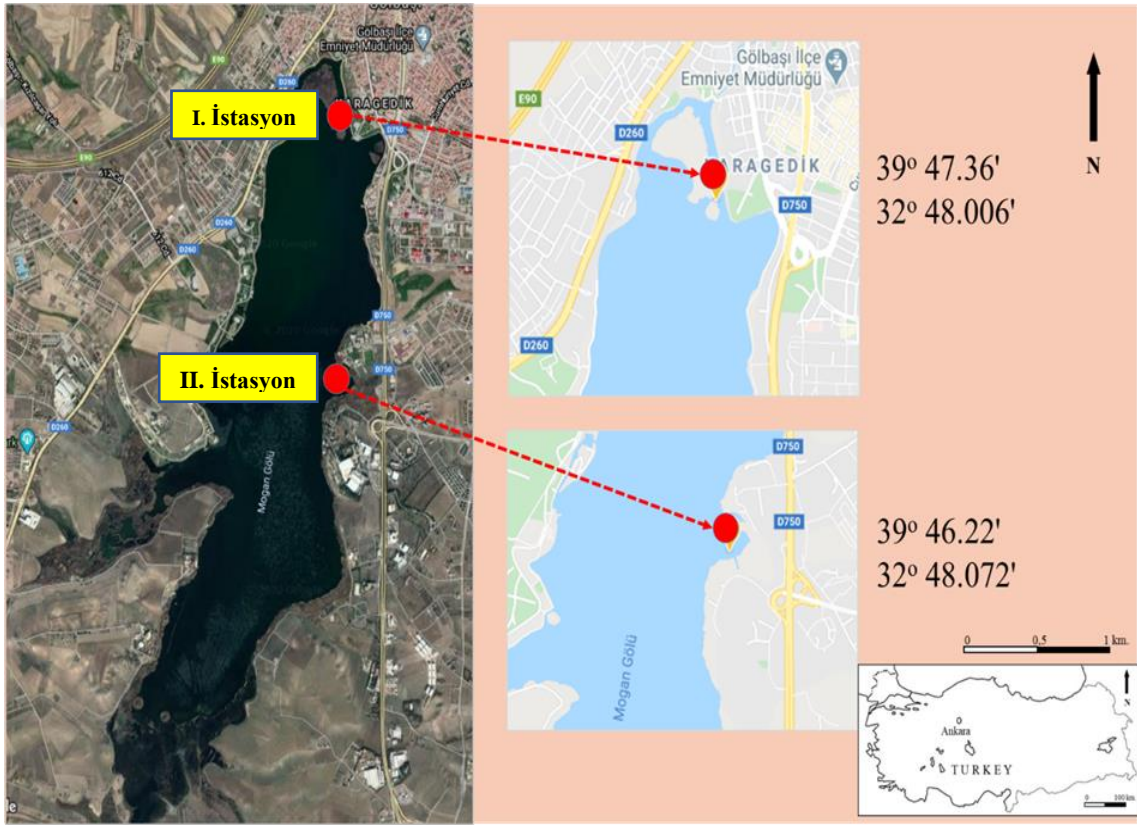
Araştırma alanı olan Mogan Gölü, Ankara Çayı Alt Havzası'nda ve Ankara'nın 20 km güneyinde Ankara-Konya yolu üzerinde yer alan, büyük oranda yağış ve irili ufaklı beşten fazla dereden gelen sularla beslenen alüvyal set gölüdür. Normal su kotu 972 m, normal su kotunda gölalanı 664 km², göl ortalama derinliği 3-5 m ve normal su seviyesinde göl hacmi 13,34 milyon m³'tür. Mogan Gölü yeraltı suyu beslemesi oldukça düşük olup, su girdisi yazları genelde kuruyan düzensiz rejimli dereler vasıtasıyla olmaktadır. Bu derelerin en önemlileri havzanın doğu-kuzeybatı kesimlerinde yer alan Sukesen, Başpınar, Gölova, Yavrucak, Çolakpınar, Tatlım, Kaldırım ve Gölcük dereleridir. Mogan Gölü'nün suları, kuzeydoğusundaki regülatör kontrolünde tamamı Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) arazisi içerisinde yer alan Eymir Gölü'ne akmaktadır (Anonim 2016). Mogan Gölü, Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırında olup aynı zamanda ülkemizde Ramsar'a aday gösterilen önemli sulak alanlarından biridir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Mogan Gölü'nün genel görünümü (<https://www.sabah.com.tr/ankara-baskent/2016/01/03/mogan.golunde-mutlu-son>) (Anonim 2016)

3.1.2 Araştırma istasyonları

Mogan Gölü litoral bölgede, tabanı sediment örneklerinin alınımına uygun olan ve gölü kirleten kaynakları da temsil edecek şekilde iki istasyon seçilmiştir. I. istasyon; özellikle maden işleme tesisleri ve evsel kaynaklı atık suların ulaştığı alanda, II. İstasyon; evsel atık ve tarımsal faaliyet kaynaklı atık suların ulaştığı alanda belirlenmiştir. Araştırma alanı ve istasyonların konumu **Şekil 3.2**'de sunulmuştur. Belirlenen istasyonlardan sediment ve sediment üstü su örnekleri dört tekerrürlü olarak alınmıştır.



3.1.3 Araştırma alanında kullanılan araçlar

- Oksijenmetre
- Taşınabilir pH/ORP ölçer
- Sediment alma kepçesi ve çelik halatı
- Secchi Diski
- Ruttner Su Alma Cihazı

3.1.4 Laboratuvarda kullanılan araçlar

- Santrifüj
- Kül Fırını (815 °C’de çalışan)
- Etüv
- Otoklav
- Elek Sallayıcı ve Farklı Çaplarda Elekler (Retsch AS200)
- Vakumlu Süzme Cihazı
- Hassas Terazî

3.2 Yöntem

Bu araştırmada Mogan Gölü’nde litoral bölgede belirlenen istasyonlardan 2020 yılının Mayıs ve Kasım aylarında olmak üzere iki farklı periyotda sediment üstü su ve yüzey sediment örnekleri alınmıştır.

3.2.1 Saha çalışması

Sediment örneklerinin alınması: Yüzey sediment örnekleri, sediment alma kepçesiyle tekerrürlü olarak alınmıştır. Sediment örnekleri, koyu renkli naylon torbalarda ve soğuk ortamda laboratuvara ulaştırılmıştır. Sediment örneklerinde redoks potansiyeli (ORP ölçümü) değerleri taşınabilir pH/ORP ölçer ile belirlenmiştir.

Sediment üstü suyun alınması: Sediment üstü su örnekleri, I. istasyonun derinliğinin az olması nedeniyle sediment örneğinin hemen üstündeki su sifonlanarak; II. istasyonun daha derin olması sebebiyle Ruttner Su Alma Cihazı kullanılarak alınmıştır. Sahada yüzey suyu ve sediment üstü su örneklerinde çözünmüş oksijen, su sıcaklığı ve pH ölçümleri yapılmıştır.

3.2.2 Laboratuvar çalışması

3.2.2.1 Sediment üstü suya ilişkin analizler

Sediment üstü su örneklerinde Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn düzeyleri ICP-OES cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Sediment üstü su ve sediment gözenek suyu ağır metal verileri aşağıdaki çizelgede verilen limit değerler kapsamında değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.1 Sediment üstü su (SÜS) ve sediment gözenek suyuna (SGS) ilişkin ağır metal sınır değerleri (Anonim 2002, Anonim 2014)

Ağır metaller	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Limit değerler $\mu\text{g/L}$ (SÜS)*	<0,1- >2	-	<20- >200	<20- >200	>200- >2000	-	<2 - >7	<10- >50
Limit değerler $\mu\text{g/L}$ (SGS)**	0,77	11	52	9	120	150	2,2	2,5

* Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

**EPA 2002

3.2.2.2 Sediment örneklerinde ölçüm ve analizler

- **Tekstür analizi (bünye tayini):** Sediment örneklerinin elek sallayıcı sistemden geçirilmeden önceki ağırlığı hassas terazide tartılarak alınmış ve 1 mm'lik elekten geçirildikten sonra küçük parçalara elenmesiyle sedimentin tekstürel yapısı saptanmıştır.
- **Organik madde tayini (OM, %):** Sediment örneklerine kuru yakma metoduna göre kül fırınında 550° C de 2 saat yakılma işlemi uygulanmış bu işlemde yakılmadan önceki ve sonraki tartım ağırlıkları kaybı dikkate alınmıştır (Kaçar 1995).
- **Toplam organik karbon (TOK, %):** Elementel analiz cihazı ile Dumas metodu ile belirlenmiştir.
- **Toplam azot (TA, %):** Elementel analiz cihazı ile Dumas metodu ile belirlenmiştir.
- **Toplam fosfor tayini (TF, %):** Vanadomolibdofosforik sarı renk metodu (Kaçar ve İnal 2008)'na göre yapılmıştır.

- **Sedimentte ağır metal analizleri:** Sediment örnekleri, 105°C 2 saat kurutulduktan sonra çözeltilmeye alma işlemleri Anton Paar Multiwave 3000 Microwave Digestion System (Rotor type 8SXF100) kullanılarak yapılmıştır. Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn düzeyleri Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS, Perkin Elmer NexION 350D) kullanılarak tespit edilmiştir.

3.2.2.3 Sediment gözenek suyunun eldesi ve analizleri

Sediment gözenek suyu, sediment partiküllerinden 5000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilerek ayrılmış, tüplerin üst kısmında biriken berrak kısım bir pipet yardımıyla alınarak 0,45 µm membran filtreden vakumlu süzme cihazı kullanılarak süzülmüştür. Sediment gözenek suyu örneklerinde Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn düzeyleri ICP-OES cihazı kullanılarak tespit edilmiştir (Enell ve Löfgren 1988).

3.2.3 Sedimentteki besin elementlerine ilişkin indeksler

3.2.3.1 Kirlenme indeksi (Ki)

Ki değeri Zhang vd. (2015)'e göre belirlenmiştir.

$$K_i = C_i / C_{0i}$$

Ki: Kirlenme indeksi

C_i: Sedimentteki besin elementi konsantrasyonu

C_{0i}: Çevresel ölçüm standart değerleri (OM (%): 1.724, TA (%): 0.055, TF (%): 0.06)

3.2.3.2 Zenginleşme faktörü (ZFi)

ZF_i değerleri Zhang vd. (2015)'e göre belirlenmiştir.

$$ZF_i = C_i / CBV$$

ZF_i: Zenginleşme faktörü

C_i: Sedimentteki besin elementi konsantrasyonu

CBV: Sedimente ilişkin geçmiş besin elementi konsantrasyonu verileri (Pulatsü vd. 2008; Topçu ve Pulatsü 2017'nin bildirdiği değerler kullanılmıştır).

Zenginleşme faktörüne göre sınıflandırmada ise, Sasikala vd. (2009) tarafından belirtilen değerler esas alınmıştır.

Bu değerlere göre; ZF<1: zenginleşme yok, ZF=1-3: çok az zenginleşme, ZF=3-5: az zenginleşme, ZF=5-10: orta seviyeye yakın zenginleşme, ZF=10-25: orta seviyede zenginleşme, ZF= 25-50: fazla zenginleşme, ZF>50: çok fazla zenginleşmeyi ifade etmektedir.

3.2.3.3 Organik indeks ve organik azot indeksi

Organik İndeks = Organik karbon (%) x Organik azot (%)

Organik Azot İndeksi = TA (%) x 0,95

Çizelge 3.2 Sedimentte organik indeksi (%) değerlendirme standartları (Zhang vd.2015)

Organik indeks	<0,05	0,05-0,35	0,35-0,75	≥ 0,75
Organik azot	< 0,033	0,033-0,066	0,066-0,239	> 0,239
Kalite türü	Kirlenmemiş	Az kirlenmiş	Kirlenmiş	Çok kirlenmiş
Sınıf	I	II	III	IV

3.2.4 Sedimentteki ağır metal kirlenmesine ilişkin indeksler

3.2.4.1 Zenginleşme faktörü (EF)

$$EF = C_{\text{metal}} / C_{\text{ref}} \div B_{\text{metal}} / B_{\text{ref}}$$

C_{metal} : Örnekte ölçülen metal konsantrasyonu

C_{ref} : Örnekte ölçülen referans metalin (Fe veya Al) konsantrasyonu

B_{metal} : Örnekte ölçülen metalin kabuktaki (referans ortamdaki) ar dalan (background) değeri (Hg: 0,05; Cr: 92; Ni: 47; Cu: 28; As: 4,8; Cd: 0,09; Pb: 17 µg/g)

B_{ref} : Referans olarak alınan metalin (Fe veya Al) kabuktaki (referans ortamdaki) ar dalan (background) değeri (Al: % 8,15)

Buna göre; $EF < 2$ zenginleşme yok / minimal zenginleşme, $EF = 2-5$ orta düzeyli zenginleşme, $EF = 5-20$ önemli zenginleşme, $EF = 20-40$ çok yüksek zenginleşme, $EF > 40$ aşırı derecede yüksek zenginleşmeyi ifade etmektedir (Sutherland 2000).

3.2.4.2 Kontaminasyon (kirlilik) faktörü (CF)

$$CF = C_{\text{metal}} / C_n$$

C_{metal} : Örnekte ölçülen metal konsantrasyonu

C_n : Metale ait jeokimyasal aralan konsantrasyonu ve/veya çalışma alanına ait önceki ağır metal konsantrasyon değerleri (Bu çalışmada Rudnick ve Gao (2014)' nun metallerin kabuktaki (referans ortamdaki) aralan (background) değeri konsantrasyon verileri kullanılmıştır.)

Buna göre; $CF < 1$ düşük kontaminasyon, $1 \leq CF < 3$ orta düzeyli kontaminasyon, $3 \leq CF < 6$ yüksek kontaminasyon, $CF > 6$ çok yüksek kontaminasyon olduğuna işaret etmektedir (Hakanson 1980, Wang ve Feng 2007).

3.2.4.3 Kontaminasyon (kirlilik) derecesi (C_d)

C_d : Tüm CF değerlerinin toplamı

CF: Kontaminasyon faktörü

3.2.4.4 Kirlilik yük indeksi (PLI)

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$$

CF: Kirlilik faktörü

n: Toplam metal sayısı (Suresh vd. 2012)

Buna göre; $PLI > 1$: ağır metal kirlenmesi vardır veya $PLI < 1$: ağır metal kirlenmesi yoktur (Ghaleno vd. 2015).

3.2.4.5 Jeokümülyasyon indeksi (I_{geo})

$$I_{\text{geo}} = \log_2(C_n / 1,5 \times B_{\text{ref}})$$

C_n : Örnekteki metal konsantrasyonu

B_{ref} : Metalin kabuktaki (referans ortamdaki) ardalana (background) değeri
1,5: Doğal dalgalanma katsayısı

Buna göre; $I_{geo} > 5$ yoğun olarak kirlenmiş; I_{geo} : 4-5 yoğun-oldukça kirlenmiş; I_{geo} : 3-4 oldukça kirlenmiş; I_{geo} : 2-3 ortadan daha fazla kirlenmiş; I_{geo} : 1-2 orta düzeyde kirlenmiş; I_{geo} : 0-1 kirlenmemiş-orta düzeyde kirlenmiş; I_{geo} : 0 kirlenmemiş durumu göstermektedir (Ghaleno vd. 2015).

3.2.5 Metallerin toksik etkilerine ilişkin indeksler

3.2.5.1 Potansiyel ekolojik risk (Er^i) faktörü

$$Er^i = T_r^i \times C_{metal}/C_n$$

Er^i : Ölçülen metal için belirlenen potansiyel ekolojik risk

T_r^i : Toksik yanıt (response) faktörü (Her bir ağır metal için toksik yanıt faktörü: Hg=40, Cd=30, As=10, Cu=Pb=Ni=5, Cr=2, Zn=1; Guo vd. 2010)

C_{metal} : Örnekteki metal konsantrasyonu

C_n : Metale ait jeokimyasal ardalana konsantrasyonu

Buna göre; $Er^i < 40$ düşük potansiyel ekolojik risk, $40 \leq Er^i < 80$ orta düzeyli potansiyel ekolojik risk, $80 \leq Er^i < 160$ önemli potansiyel ekolojik risk, $160 \leq Er^i < 320$ yüksek potansiyel ekolojik risk, $Er^i \geq 320$ çok yüksek potansiyel ekolojik risk (Hakanson 1980, Liu vd. 2014).

3.2.5.2 Bütünleşik ekolojik risk faktörü (PER)

Tüm metalleri içerecek şekilde bütünleşik olarak hesaplanan risk faktörüdür. Buna göre: $PER < 150$ düşük ekolojik risk, $150 \leq PER < 300$ orta düzeyli ekolojik risk, $300 \leq PER < 600$ önemli ekolojik risk, $PER \geq 600$ çok yüksek ekolojik riski ifade etmektedir (Hakanson 1980, Liu vd. 2014).

3.2.6 Metallerin kombine biyolojik etkilerine ilişkin hesaplamalar

3.2.6.1 Toplam toksik ünite (Σ TUs) ve oransal toksik ünite (Oransal TU)

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

Σ TUs: Toplam toksik ünite

C_i : Örnekte çalışılan metal konsantrasyonu

PEC_i : Örnekte çalışılan metalin PEC (Olası etki seviyesi) değeri

n: Toplam metal sayısı (Long vd. 2006, Yang vd. 2014)

$$\text{Oransal TU} = C_i/PEC_i / \Sigma TUs \times 100$$

3.2.6.2 Ortalama olası etki konsantrasyonu oranı (mPEC-Q)

$$mPEC-Q = \sum_{i=1}^n (C_i/PEC_i)/n$$

C_i : Örnekteki metal konsantrasyonu

PEC_i : Çalışılan metal için belirlenmiş olası etki konsantrasyonu

n: Toplam metal sayısı (Long vd. 2006, Yang vd. 2014)

3.2.7 İstatistiksel analizler

İstatistiksel analizler için SPSS 23 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) ve R (R Core Team, 2020) yazılımlarından yararlanılmıştır. Değişkenlerin farklı istasyonlara göre karşılaştırılmasında Mann-Whitney testi, aynı istasyonlardaki aylara göre karşılaştırılmasında ise Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi kullanılmıştır. Tüm analizler için iki yönlü $p < 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir (Çolak 2021).

4. ANALİZ ve BULGULAR

Mogan Gölü'nde tabanı sediment örneklerinin alımına uygun olan ve gölü kirleten kaynakları temsil edecek şekilde belirlenen iki istasyondan ve iki mevsimde, sediment, sediment gözenek suyu, sediment üstü su ve yüzey suyuna ilişkin bazı fiziko-kimyasal özellikler incelenmiştir. Araştırma amacı kapsamında, istasyonlara ve aylara bağlı değişimin istatistik açıdan önem derecesinin belirlenmesi esas alınmıştır.

4.1 Saha Çalışmasına İlişkin Bulgular

Sediment üstü su ve yüzey suyunda sıcaklık, çözülmüş oksijen ve pH ile sedimentte redoks potansiyelinin ortalama değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi **Çizelge 4.1**'de sunulmuştur.

4.1.1 Su sıcaklığı

Sediment üstü su (12,10-20,05 °C) ve yüzey suyunda (11,95-20,90 °C) sıcaklık bakımından I. ve II. istasyon arasındaki farklılık Mayıs ayında istatistiki açıdan önemli seviyede iken ($p < 0,05$) Kasım ayında bulunan farklılık istatistiki açıdan önemli seviyede bulunmamıştır ($p > 0,05$). Her iki istasyonda da sediment üstü su ve yüzey suyu sıcaklık değerlerinin aylar arasındaki farklılığı istatistiki olarak önemsiz tespit edilmiştir ($p > 0,05$) (**Çizelge 4.1**).

4.1.2 Çözülmüş oksijen konsantrasyonu

Çözülmüş oksijen yüzey suyunda Mayıs ayı II. istasyonda daha yüksek ölçülmüş olup, bu parametreye ilişkin bulgular her iki ayda da II. istasyonda I. istasyona göre belirgin düzeyde yüksek bulunmuştur. Sediment üstü su (1,28-6,12 mg/L) ve yüzey suyunda (1,41-6,21 mg/L) çözülmüş oksijen değerleri arasındaki farklılık, her iki ayda istasyonlar arasında istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). İstasyonlara göre ayların ortalama çözülmüş oksijen değerleri arasındaki farklılık ise istatistiki olarak önemsiz saptanmıştır ($p > 0,05$) (**Çizelge 4.1**).

4.1.3 pH

Araştırma periyodunda, sediment üstü suda en yüksek pH değeri Mayıs ayı I. istasyonda ($7,78 \pm 0,02$) belirlenmiş olmakla birlikte, istasyonlar arasındaki farklılık Mayıs ayında istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). En düşük değer ise Kasım ayı I. istasyonda ($7,01 \pm 0,01$) tespit edilmiş ve istasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Yüzey suyunda belirlenmiş en yüksek pH değeri Mayıs ayı II. istasyonda ($7,97 \pm 0,01$), en düşük değer ise Kasım ayı I. istasyonda ($7,02 \pm 0,01$) saptanmış ve Mayıs ve Kasım ayları arası farklılık istatistiksel açıdan önemsiz olarak bulunmuştur ($p > 0,05$).

4.1.4 Redoks potansiyeli

Mogan Gölü'nde sedimente ilişkin yüksek redoks potansiyeli değeri, I. istasyonda Mayıs ayında II. istasyonda ise Kasım ayında ölçülmüştür. Bu parametre bakımından her iki ay için istasyonlar arası farklılık istatistiksel açıdan önemli ($p < 0,05$), her iki istasyonun Mayıs ve Kasım ayları ölçüm değerleri arasındaki farklılık ise önemsiz seviyede bulunmuştur (**Çizelge 4.1**).

Çizelge 4.1 Sediment üstü su ve yüzey suyunda sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH ile sedimentte redoks potansiyelinin ortalama değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi (N=4)

Parametre		Aylar	İstasyonlar	
			I	II
Sıcaklık (°C)	SÜS	Mayıs	19,43±0,05 ^{aA**}	20,05 ± 0,13 ^{bB}
		Kasım	12,1 ± 0,08 ^{aA}	12,1 ± 0,08 ^{aB}
	YÜS	Mayıs	19,53±0,10 ^{aA}	20,9± 0,08 ^{bB}
		Kasım	12,1± 0,08 ^{aA}	11,95 ± 0,13 ^{aB}
Çözünmüş oksijen (mg/L)	SÜS	Mayıs	1,61±0,01 ^{aA}	6,12 ± 0,01 ^{bB}
		Kasım	1,28± 0,01 ^{aA}	5,63 ± 0,04 ^{bB}
	YÜS	Mayıs	3,97± 0,01 ^{aA}	6,21± 0,01 ^{bB}
		Kasım	1,41± 0,01 ^{aA}	4,90±0,09 ^{bB}
pH	SÜS	Mayıs	7,78±0,02 ^{aA}	7,77± 0,02 ^{aB}
		Kasım	7,01 ± 0,01 ^{aA}	7,40± 0,01 ^{bB}
	YÜS	Mayıs	7,75± 0,01 ^{aA}	7,97± 0,01 ^{bB}
		Kasım	7,02± 0,01 ^{aA}	7,62± 0,01 ^{bB}
Redoks pot. (mV)	Sediment	Mayıs	-34,25±0,96 ^{aA}	-9,50±1,29 ^{bB}
		Kasım	-15,50±1,29 ^{aA}	-50,50±1,29 ^{bB}

*: Aynı satırdaki küçük harfler, aynı ayda her bir parametrenin istasyonlar arası farklılığını (p<0,05),

** : Aynı sütundaki büyük harfler ise aynı istasyonda her bir parametrenin aylar arası farklılığını (p<0,05) göstermektedir.

4.2 Laboratuvar Çalışmasına İlişkin Bulgular

4.2.1 Sedimentte tekstür (bünye) tayini

Sedimentin elde edilen tekstürel yapısı **Çizelge 4.2'** de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 Sedimentte tekstür analizi sonuçları

Aylar	Parametre (%)	İstasyonlar	
		I	II
Mayıs	Kil	82,82	55,55
	Silt	17,18	44,44
	Kum	-	-
Kasım	Kil	87,13	54,86
	Silt	12,86	45,13
	Kum	-	-

Sediment örneklerinin elek sallayıcı sistemden geçirilmeden önceki ağırlığı hassas terazide tartılarak alınmış ve 1 mm'lik elekten geçirildikten sonra küçük parçalara elenmesiyle sedimentin tekstürel yapısı elde edilmiştir. Sediment örneklerine ait tekstür analizi (bünye tayini) sonuçlarına göre sediment örneklerinde her iki ay ve istasyonda sedimentin kil oranı silte göre oldukça yüksek saptanmış, kuma rastlanmamıştır. I. istasyonda mayıs ve kasım ayında kil-silt değerleri (%) sırasıyla; 82,82-17,18 ve 87,13-12,86 iken, II. istasyonda mayıs ve kasım ayındaki kil-silt değerleri (%) sırasıyla; 55,55-44,44 ve 54,86-45,13 olarak bulunmuştur.

4.2.2 Organik madde (OM, %)

Sedimentte ortalama organik maddenin en yüksek değeri kasım ayında, %19,83±5,73 ile II. istasyonda, en düşük değeri ise %4,59±0,37 ile mayıs ayı II. istasyonda tespit edilmiştir. Organik maddeye ilişkin ortalama değerler istasyonlar arasında istatistiki açıdan anlamlı bir farklılık gösterirken ($p<0,05$), aylar arası farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$) (Çizelge 4.3).

4.2.3 Toplam organik karbon (TOK, %)

Toplam organik karbon verileri esas alındığında II. istasyon değerleri, I. istasyona göre daha yüksek tespit edilmiştir. Sedimentin ortalama toplam karbon değeri en yüksek %6,30±1,12 ile kasım ayında II. istasyonda, en düşük değer ise %<0,1 ile kasım ayında I. istasyonda saptanmıştır (Çizelge 4.3).

4.2.4 Toplam azot (TA, %)

Toplam azot verileri de toplam organik karbon verileri gibi II. istasyon değerleri, I. istasyon değerlerine göre daha yüksek tespit edilmiştir. En yüksek değer $0,70 \pm 0,70$ ile mayıs ayı II. istasyonda, en düşük değer ise $p < 0,1$ ile kasım ayı I. istasyonda belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

4.2.5 Toplam fosfor (TF, %)

Sedimentin en yüksek ve en düşük ortalama toplam fosfor değeri I. istasyonda saptanmıştır. I. İstasyonda en düşük değer mayıs ayında ($0,07 \pm 0,02$), en yüksek değer ise kasım ayında ($0,32 \pm 0,10$) tespit edilmiştir. Toplam fosfor ortalama değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi Çizelge 4.3' de sunulmuştur.

Çizelge 4.3 İstasyon ve aylara bağlı ortalama organik madde (OM, N=4), toplam organik karbon (TOK), toplam azot (TA) ve toplam fosfor (TF, N=2) değerleri

Parametreler	Aylar	İstasyonlar	
		I	II
OM (%)	Mayıs	$6,15 \pm 0,46^{a*A**}$	$4,59 \pm 0,37^{bB}$
	Kasım	$11,04 \pm 0,24^{aA}$	$19,83 \pm 5,73^{bB}$
TOK (%)	Mayıs	$0,88 \pm 0,67$	$1,94 \pm 1,25$
	Kasım	$<0,1$	$6,30 \pm 1,12$
TA (%)	Mayıs	$0,46 \pm 0,44$	$0,70 \pm 0,70$
	Kasım	$<0,1$	$0,59 \pm 0,02$
TF (%)	Mayıs	$0,07 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,15$
	Kasım	$0,32 \pm 0,10$	$0,27 \pm 0,04$

* : Aynı satırdaki küçük harfler, aynı ayda her bir parametrenin istasyonlar arası farklılığını ($p < 0,05$),

** : Aynı sütundaki büyük harfler ise aynı istasyonda her bir parametrenin aylar arası farklılığını ($p < 0,05$) göstermektedir.

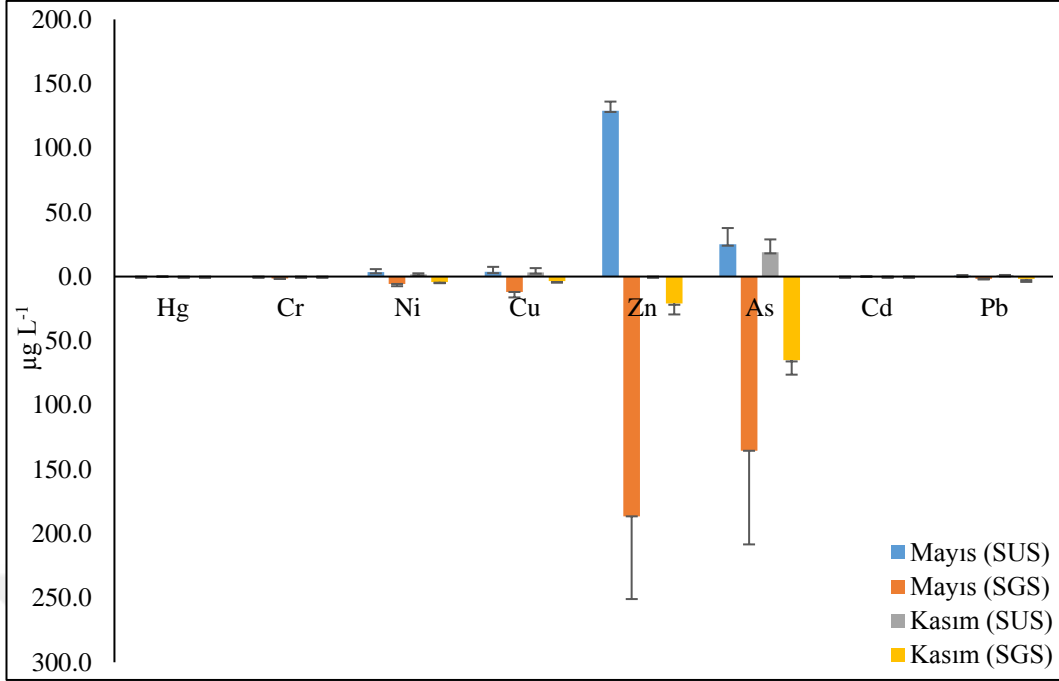
4.2.6 Sediment üstü su ağır metal konsantrasyonları

Araştırma periyodu boyunca istasyonlar dikkate alınmaksızın her iki ayda da sediment üstü sudaki ağır metal dizilimi azalan sırayla; $Zn > As > Cu > Ni > Pb$ olarak belirlenmiştir. Aynı sıralama aylar dikkate alınmadığında istasyonlar bazında da geçerlidir. Bu sıralamada yer alan en yüksek ve en düşük değerlere sahip ağır metaller, sediment

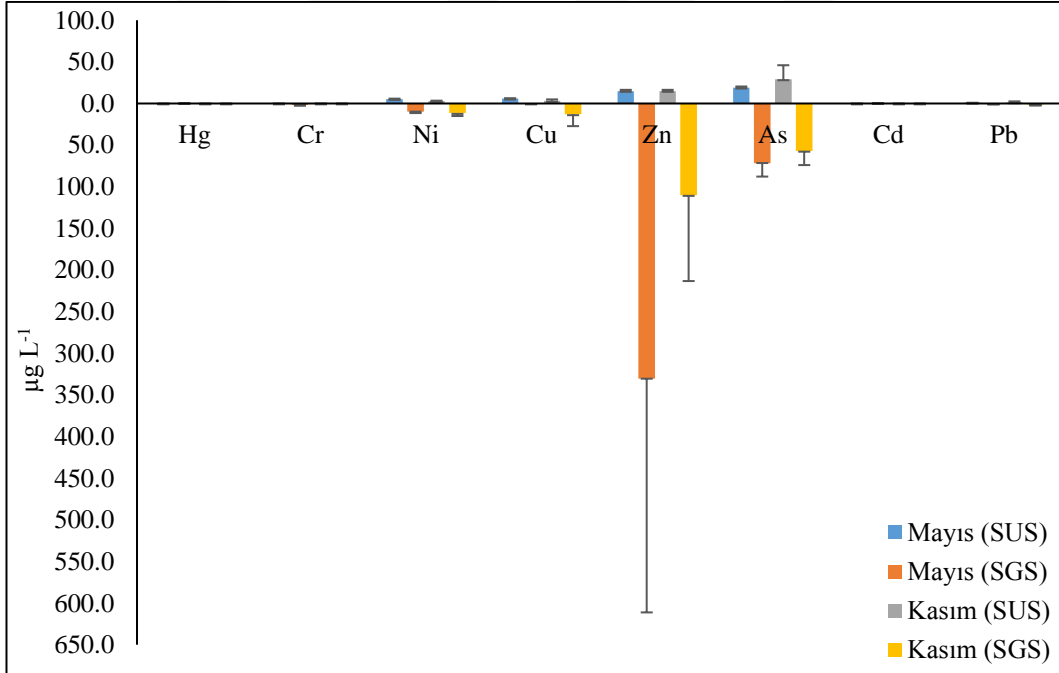
gözenek suyu için belirlenen konsantrasyon dizilimi ile paralellik göstermiştir. Sediment üstü suda en yüksek konsantrasyonda Zn elementine rastlanmıştır ($129 \pm 7,07 \mu\text{g L}^{-1}$), Hg, Cr ve Cd; ICES-P cihazının tespit sınırının altında kaldığı için ($\text{Hg} < 0,04 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{Cd} < 0,01 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{Cr} < 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$) tespit edilemedi olarak belirlenmiştir. I. İstasyonda sediment üstü suda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi **Şekil 4.1**'de, II. İstasyonda ölçülen konsantrasyonların ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi ise **Şekil 4.2**'de verilmiştir.

Ni konsantrasyonu ortalaması en yüksek II. İstasyonda ($5,30 \pm 0,56 \mu\text{g L}^{-1}$) en düşük I. istasyonda ($1,75 \pm 0,78 \mu\text{g L}^{-1}$) tespit edilmiştir. Aylara göre Ni konsantrasyonu istasyon ortalamaları incelendiğinde, en yüksek mayıs ayında belirlenmiştir. Cu konsantrasyonu ortalaması en yüksek ve en düşük olarak sırasıyla $5,80 \pm 0,56 \mu\text{g L}^{-1}$ ve $3,10 \pm 1,84 \mu\text{g L}^{-1}$ II. istasyonda saptanmıştır. Aylara göre istasyonlardaki Cu ortalama konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek mayıs ayında ve en düşük kasım ayında tespit edilmiştir. İstasyonlara göre Zn yoğunluğu en yüksek I. istasyonda ($129 \pm 7,07 \mu\text{g L}^{-1}$) ve en düşük II. istasyonda ($15 \pm 1,41 \mu\text{g L}^{-1}$) bulunmuştur. Aylara göre Zn konsantrasyonu ortalamaları incelendiğinde, en yüksek mayıs ayında belirlenmiş olmakla birlikte, kasım ayında I. istasyonda çinko elementi tespit edilmemiştir.

As konsantrasyonu ortalaması en yüksek II. istasyonda kasım ayında ($29 \pm 16,97 \mu\text{g L}^{-1}$) tespit edilmekle birlikte; en düşük mayıs ayı II. istasyonda ve kasım ayı I. istasyonda belirlenen arsenik konsantrasyonu ortalaması benzerlik göstermiştir ($19 \pm 1,41$ ve $19 \pm 9,90 \mu\text{g L}^{-1}$). Kurşun konsantrasyonu ortalaması en yüksek II. istasyonda ($1,38 \pm 1,16 \mu\text{g L}^{-1}$) en düşük I. istasyonda ($0,61 \pm 0,57 \mu\text{g L}^{-1}$) tespit edilmiştir. Aylara göre istasyonlardaki Pb ortalama konsantrasyonları incelendiğinde diğer aylara göre en yüksek kasım ayında ve en düşük mayıs ayında saptanmıştır.



Şekil 4.1 I. İstasyonda sediment gözenek suyu ve sediment üstü suda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi



Şekil 4.2 II. İstasyonda sediment gözenek suyu ve sediment üstü suda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi

4.2.7 Sediment gözenek suyu ağır metal konsantrasyonları

Sediment gözenek suyunda en yüksek konsantrasyonda çinko (Zn) metaline rastlanmıştır, Hg ve Cd ise tespit edilmemiştir. Araştırma periyodu boyunca istasyonlar dikkate alınmaksızın Mayıs ayında sediment gözenek suyunda ağır metal dizilimi; Zn>As>Cu>Ni>Pb>Cr iken, Kasım ayında Zn>As>Cu>Ni>Pb olarak belirlenmiştir, Kasım ayında Cr ağır metaline rastlanmamıştır. Her iki ay dikkate alındığında ise I. istasyonda; Zn>As>Cu>Ni>Pb>Cr, II. istasyonda; Zn>As>Cu>Ni>Cr>Pb şeklinde bir dizilim söz konusu olmuştur. Görüldüğü gibi tüm çalışma periyodunca Zn en yüksek, Pb ise diğer metallere göre daha düşük değerlerde seyretmiştir. Cr değeri ($1,65 \pm 1,06 \mu\text{g L}^{-1}$) Mayıs ayında II. İstasyonda daha yüksek tespit edilmiştir. I. İstasyonda sediment gözenek suyunda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi Şekil 4.1’de, II. İstasyonda ölçülen yoğunlukların ortalama değerlerinin aylara bağlı değişimi ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Araştırma kapsamında tespit edilen sediment gözenek suyu ağır metal konsantrasyonları, sediment üstü su ağır metal konsantrasyon değerlerine göre her iki ayda da II. istasyonda, I. istasyona göre daha yüksek belirlenmekle beraber, Cu için Mayıs ayında, Pb içinse her iki ayda II. istasyonda daha düşük tespit edilmiştir.

Sediment gözenek suyunda Ni yönünden yapılan analizlerde I. istasyonda Mayıs ve Kasım aylarında sırasıyla $5,75 \pm 1,77$ ve $4,15 \pm 0,64 \mu\text{g L}^{-1}$, II. istasyonda yine aynı aylarda sırasıyla $9,80 \pm 1,70$ ve $11,50 \pm 3,53 \mu\text{g L}^{-1}$ oranında nikle rastlanmıştır, böylece Ni yönünden en kirli istasyonun II. istasyon olduğu tespit edilmiştir. İstasyonlara göre Cu (bakır) konsantrasyonu en yüksek Kasım ayı II. istasyonda ($12,85 \pm 14,35 \mu\text{g L}^{-1}$) en düşük Mayıs ayında yine aynı istasyonda ($0,69 \pm 0,25 \mu\text{g L}^{-1}$) bulunmuştur. Sediment gözenek suyunda araştırma periyodunca maksimum değerlerde seyreden Zn, Mayıs ayında II. istasyonda ($330,50 \pm 280,72 \mu\text{g L}^{-1}$ ile) en yüksek değerine ulaşmış ve en düşük I. istasyonda ($21 \pm 8,48 \mu\text{g L}^{-1}$) saptanmıştır. Aylara göre Zn konsantrasyonu istasyon ortalamaları incelendiğinde en yüksek Mayıs ve en düşük Kasım ayında tespit edilmiştir.

İstasyonlara göre ortalama As konsantrasyonları en yüksek I. istasyonda ($135,50 \pm 72,83 \mu\text{g L}^{-1}$) ve en düşük yine I. İstasyonda ($65 \pm 11,31 \mu\text{g L}^{-1}$) bulunmuştur.

Aylara göre As konsantrasyonu istasyon ortalamaları incelendiğinde, en yüksek mayıs ayında tespit edilmiştir. İstasyonlara göre Pb konsantrasyonun yüksek I. istasyonda ($1,88 \pm 2,29 \mu\text{g L}^{-1}$) ve en düşük ise II. İstasyonda ($0,75 \pm 0,35 \mu\text{g L}^{-1}$) bulunmuştur. Aylara göre Pb yoğunluğu istasyon ortalamaları incelendiğinde diğer aylara göre en yüksek kasım ayında tespit edilmiştir.

4.2.8 Sediment ağır metal konsantrasyonları

Sedimentte ağır metallerin ortalama değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi **Çizelge 4.4**'de sunulmuştur.

Mogan Gölü'nde sediment örnekleme yapılan aylara göre istasyonlar açısından farklılığın istatistiki olarak önemli bulunmadığı ağır metaller; mayıs ayında Hg, Pb iken kasım ayında Hg, Ni, Zn ve Pb olarak belirlenmiştir. Aylar açısından ise her iki istasyonda da As dışında, tüm metaller istatistiki açıdan önemli seviyede farklılık göstermemiştir ($p < 0,05$) (Çizelge 4.4). Aylar açısından ise her iki istasyonda da As dışında, tüm metaller istatistiki açıdan önemli seviyede farklılık göstermemiştir ($p > 0,05$). Çizelge 4.4'deki verilere göre, her iki istasyon göz önüne alındığında ağır metal konsantrasyonlarının dizilimi; I. istasyonda: $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$, II. istasyonda: $\text{Cr} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$ olarak belirlenmiştir. Her iki istasyon ve ay dikkate alındığında ise toplam ortalama bazında sedimentteki ağır metal konsantrasyonlarının dizilimi; $\text{Cr} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$ şeklindedir.

Çizelge 4.4 Sedimentte ağır metallerin ortalama değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi (N=4)

Aylar	Parametre (mg/kg)	İstasyonlar	
		I	II
Mayıs	Hg	0,04±0,03 ^{a*A**}	0,015±0,01 ^{aB}
	Cr	72,08±4,03 ^{aA}	194,12±36,34 ^{bB}
	Ni	69,16±5,36 ^{aA}	91,75±3,39 ^{bB}
	Cu	171,47±10,98 ^{aA}	23,91±1,03 ^{bB}
	Zn	132,73±13,24 ^{aA}	64,85±2,99 ^{bB}
	As	23,59±3,65 ^{aA}	16,55±1,11 ^{bB}
	Cd	0,42±0,09 ^{aA}	0,22±0,10 ^{bB}
	Pb	45,69±3,01 ^{aA}	16,45±1,43 ^{bB}
Kasım	Hg	0,01±0,01 ^{aA}	0,11±0,12 ^{aB}
	Cr	54,43±2,84 ^{aA}	147,27±18,46 ^{bB}
	Ni	63,17±4,00 ^{aA}	58,96±1,69 ^{aB}
	Cu	190,84±8,34 ^{aA}	45,20±25,78 ^{bB}
	Zn	115,73±4,79 ^{aA}	106,97±62,03 ^{aB}
	As	18,99±1,14 ^{aA}	9,83±0,30 ^{bB}
	Cd	0,44±0,10 ^{aA}	0,17±0,05 ^{bB}
	Pb	45,38±2,61 ^{aA}	43,98±36,24 ^{aB}

* : Aynı satırdaki küçük harfler, aynı ayda her bir parametrenin istasyonlar arasındaki farklılığını (p<0,05),

** : Aynı sütundaki büyük harfler ise aynı istasyonda her bir parametrenin aylar arasındaki farklılığını (p<0,05) gösterir.

Ağır metal konsantrasyonlarının diziliminde, istasyon ve aylar açısından Cu ve Cr' un sıralama yeri dışında bir farklılık söz konusu değildir. Mogan Gölü sedimentinde Hg için yapılan analizlerde en yüksek Hg birikim değeri kasım ayı II. istasyonda tespit edilmiştir ($0,11\pm 0,12$ mg/kg). Hg açısından aynı aylarda istasyonlar arası fark ve aynı istasyonlarda aylar arası fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Cr değeri en yüksek mayıs ayı II. istasyonda ($194,12\pm 36,34$ mg/kg), en düşük kasım ayı I. istasyonda ($54,43\pm 2,84$ mg/kg) belirlenmiştir. Cr için aynı aylarda istasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli ($p<0,05$), aynı istasyonlarda aylar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Mogan Gölü sedimentinde ölçülen Ni konsantrasyonları en yüksek mayıs ayı II. istasyonda ($91,75\pm 3,39$ mg/kg), en düşük kasım ayı II. istasyonda tespit edilmiştir ($58,96\pm 1,69$ mg/kg). Mayıs ayında istasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli ($p<0,05$), Kasım ayında ise önemsiz ($p>0,05$), aynı istasyonlarda aylar arasındaki fark da yine istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Mogan Gölü sedimentinde Cu elementi konsantrasyonları en yüksek kasım ayı I. istasyonda ($190,84\pm 8,34$ mg/kg), en düşük mayıs ayı II. istasyonda ($23,91\pm 1,03$ mg/kg) belirlenmiştir. Aynı aylarda istasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli ($p<0,05$), aynı istasyonlarda aylar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur. İstasyonlara göre Zn birikim miktarı en yüksek I. istasyon mayıs ayında ($132,73\pm 13,24$ mg/kg), en düşük yine aynı ayda II. istasyonda ($64,85\pm 2,99$ mg/kg) tespit edilmiştir. Mayıs ayında istasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli ($p<0,05$), Kasım ayında istasyonlar arasındaki fark ve aynı istasyonlarda aylar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

Mogan Gölü sedimentinde aylara göre her istasyonda ölçülen As konsantrasyonları en yüksek mayıs ayı I. istasyonda ($23,59\pm 3,65$ mg/kg), en düşük kasım ayı II. istasyonda ($9,83\pm 0,30$ mg/kg) saptanmıştır. Aynı aylarda istasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli ($p<0,05$), aynı istasyonlarda aylar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Aylara göre her istasyonda tespit edilen Cd birikim miktarı en yüksek kasım ayı I. istasyonda belirlenmiştir ($0,44\pm 0,10$ mg/kg). I. istasyondaki Cd değerleri II. istasyondan yüksek olarak tespit edilmiştir. Cd için aynı aylarda istasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli ($p<0,05$), aynı istasyonlarda aylar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$) bulunmuştur.

Mogan Gölü sedimentinde aylara göre her istasyonda ölçülen Pb konsantrasyonları en yüksek en düşük yine aynı ayda II. istasyonda (16,45±1,43 mg/kg) tespit edilmiştir. Mayıs ayında istasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli ($p<0,05$), Kasım ayında istasyonlar arası fark ve aynı istasyonlarda aylar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

4.2.9 Sediment ağır metal konsantrasyonlarının sediment kalite kriterleri (SQS) ile karşılaştırılması

Sedimentte belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının Sediment Kalite Kriterleri (SQS) ile karşılaştırılması **Çizelge 4.5'** de sunulmuştur.

Sedimentte belirlenen ağır metal konsantrasyonları, MacDonald vd. (2000)'in bildirdiği TEL ve PEL değerleri esas alınarak karşılaştırılmıştır (**Çizelge 4.5**). Buna göre, Hg ile Cd her iki istasyon ve ayda eşik etki (TEL) ve olası etki seviyelerini (PEL) aşmazken, aksine Ni her iki ay ve istasyonda da TEL ve PEL değerlerini aşmıştır.

Cr değerinin Mayıs ve Kasım aylarında I. istasyonda TEL değerini aştığı, II. istasyonda ise hem TEL hem de PEL değerlerini aştığı tespit edilmiştir. Cu' un; Mayıs ve Kasım aylarında I. istasyonda, yalnız Kasım ayında II. istasyonda TEL seviyesini aştığı görülmüştür. Zn; sadece Mayıs ayı I. istasyonda TEL seviyesini aşmıştır. As değerinin, Mayıs ve Kasım aylarında I. istasyonda her iki etki seviyesini aştığı, II. istasyonda ise sadece TEL düzeyini aştığı belirlenmiştir. Pb' un I. istasyonda her iki ayda, II. istasyonda ise Kasım ayında TEL seviyesini aştığı tespit edilmiştir. Çalışmamızda, genel ortalamalar dikkate alındığında, her iki istasyonda Hg, Cu, Cd ve Zn'nun eşik etki seviyesini aşmadığı, diğer metallerin (Cr, Ni, As, Pb) ise aştığı belirlenmiştir. Hg, Cu, Zn, Cd, Pb olası etki seviyelerini aşmazken, Cr, Ni, As genel ortalamalar bazında PEL değerlerini aşmıştır.

Çizelge 4.5 Sedimentte belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının sediment kalite kriterleri (SQS) ile karşılaştırılması

Aylar	Parametre (mg/kg)	İstasyonlar		SQS	
		I	II	TEL ^a	PEL ^b
Mayıs	Hg	0,04	0,015	0,174	0,486
	Cr	72,08 ^a	194,12 ^{ab}	37,3	90
	Ni	69,16 ^{ab}	91,75 ^{ab}	18	36
	Cu	171,47 ^a	23,91	35,7	197
	Zn	132,73 ^a	64,85	123	315
	As	23,59 ^{ab}	16,55 ^a	5,9	17
	Cd	0,42	0,22	0,596	3,53
	Pb	45,69 ^a	16,45	35	91,3
Kasım	Hg	0,01	0,11	0,174	0,486
	Cr	54,43 ^a	147,27 ^{ab}	37,3	90
	Ni	63,17 ^{ab}	58,96 ^{ab}	18	36
	Cu	190,84 ^a	45,20 ^a	35,7	197
	Zn	115,73	106,97	123	315
	As	18,99 ^{ab}	9,83 ^a	5,9	17
	Cd	0,44	0,17	0,596	3,53
	Pb	45,38 ^a	43,98 ^a	35	91,3

^a: SQS (Sediment Kalite Kriterleri) (MacDonald vd. 2000)' e göre Eşik Etki Seviyesi (TEL)'ni aşan ağır metal konsantrasyonu

^b: Olası Etki Seviyesi (PEL)'ni aşan ağır metal konsantrasyonu

Çalışmamızda, genel ortalamalar dikkate alındığında, her iki istasyonda Hg, Cu, Cd ve Zn'nun eşik etki seviyesini aşmadığı, diğer metallerin (Cr, Ni, As, Pb) ise aştığı belirlenmiştir. Hg, Cu, Zn, Cd, Pb olası etki seviyelerini aşmazken, Cr, Ni, As genel ortalamalar bazında PEL değerlerini aşmıştır (Mogan Gölü'nde sediment tarama öncesi farklı çalışmalar ile bu çalışmaya ilişkin ağır metal konsantrasyonları **Çizelge 4.6'** da

sunulmuştur.). MacDonald vd. (2000) tarafından yayımlanmış sediment kalite rehberine göre sedimentte tespit edilen metal miktarı TEL değerinin altındaysa canlılar açısından zararlı etkilerin oluşması beklenmezken, metal konsantrasyon seviyeleri PEL değerinin üstünde tespit edildiğinde, muhtemel zararlı etkilerin açığa çıkabilmesinin söz konusu olabileceği bildirilmiştir. Buna göre; gölde yürütülen önceki çalışmaların kantitatif sonuçlarının yanısıra, herbir metale ilişkin SQS ve MacDonald vd. (2000)'in bildirdiği TEL-PEL ile ardalanan değerler **Çizelge 4.6**'da sunulmuştur. Bu kapsamda Mogan Gölü sedimentine ilişkin ağır metal konsantrasyon değerleri; sediment tarama öncesi dönemde gerçekleştirilen Yavuz ve Filazi (1995), Olgun ve Kocaemre (2011), Benzer vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda bildirilen aynı metallere ait sonuçlarından daha yüksek bulunurken, Hg konsantrasyon seviyeleri Olgun ve Kocaemre (2011)'ye ait bulgulardan daha düşük seviyede belirlenmiştir.

Bu çalışmada tespit edilen sediment Cu-Zn konsantrasyon değerleri, Topçu ve Kaya (2017)'in çalışmasında bildirilen Cu (34,75-75,50 µg/gKA) ve Zn (20,50-36,50 µg/gKA) konsantrasyon değerlerinden ve gölde sediment tarama faaliyetlerinin devam ettiği süreçte, Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından yürütülmüş çalışmada elde edilen verilerden daha yüksek bulunmuştur (**Çizelge 4.6**).

Çizelge 4.6 Mogan Gölü'nde sediment tarama öncesi farklı çalışmalar ile bu çalışmaya ilişkin ağır metal konsantrasyonları

	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Kaynaklar	
Tarama öncesi	-	-	-	75	49	-	6	270	Yavuz ve Filazi (1995) ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (1991-1992)*	
	200	-	-	-	-	-	1000	10000 ^a -25000 ^b	Olgun ve Kocaemre (2011) ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (2009)*	
	-	22,19 ^a -41,31 ^b	-	9,91 ^a -30,19 ^b	11,27 ^a -18010 ^b	-	-	0,46 ^a -1,78 ^b	Benzer vd. (2013) ($\mu\text{g}/\text{g}$) (2007)*	
	-	-	-	31,25 ^a -36,50 ^b	63,75 ^a -75,50 ^b	-	-	-	Topçu ve Kaya (2017) ($\mu\text{g}/\text{g}$) (2015)*	
Tarama esnasında	0,9 \pm 2,86	406,7 \pm 65,1	4481 \pm 672	4514 \pm 537	14051 \pm 1068	66,6 \pm 8,4	24,8 \pm 6,9	651,3 \pm 129,1	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (2017 Mayıs-2018 Haziran)*	
Tarama sonrası (I. istasyon)	0,01 ^a -0,04 ^b	54,43 ^a -72,08 ^b	63,17 ^a -69,16 ^b	171,47 ^a -190,84 ^b	115,73 ^a -132,73 ^b	18,99 ^a -23,59 ^b	0,42 ^a -0,44 ^b	45,38 ^a -45,69 ^b	Bu çalışma (mg/kg) (2020)*	
Tarama sonrası (II. istasyon)	0,015 ^a -0,11 ^b	147,27 ^a -194,12 ^b	58,96 ^a -91,75 ^b	23,91 ^a -45,20 ^b	64,85 ^a -106,97 ^b	9,83 ^a -16,55 ^b	0,17 ^a -0,22 ^b	16,45 ^a -43,98 ^b		
Ardalan değerler	0,05	92	47	28	67	4,8	0,09	17	Rudnick ve Gao (2014)	
SQS	a**	<1.0	<25	<20	<25	<90	<3	-	<40	Wang ve Feng (2007)
	b	-	25-75	20-50	25-50	90-200	3-8	-	40-60	
	c	>1.0	25-75	>50	>50	>200	>8	>6	>60	
TEL	0,174	37,3	18,0	35,7	123,0	5,9	0,596	35,0	MacDonald vd. (2000)	
PEL	0,486	90,0	36,0	197,0	315,0	17,0	3,53	91,3		

*:Araştırmanın yürütüldüğü yıl; **a: Kirlenmemiş, b: Orta-düzeyde kirlenmiş, c:Yoğun kirlenmiş, ^a: Minimum değer, ^b: Maksimum değer

4.3 Sedimentte Besin Elementlerine İlişkin Bulgular

Sedimentteki besin elementlerine ilişkin bulgular, aşağıda sunulmuş ve **Çizelge 4.7**'de gösterilmiştir.

4.3.1 Kirlenme indeksi (Ki)

Sediment örneklerinde organik madde için kirlenme indeksi değerleri kasım ayında II. istasyonda daha yüksek iken, TF için yine kasım ayında olmak üzere I. istasyonda daha yüksek bulunmuştur. Toplam azot için en yüksek değer II. istasyonda (%12,54) bulunmuştur. **Çizelge 4.7**'de verilen bulgular ışığında, en yüksek değer toplam azota ait olduğu için sedimentin besin elementleri açısından en fazla azot ile kirlendiği söylenebilir.

4.3.2 Zenginleşme faktörü (ZFi)

Topçu ve Pulatsü (2017)'nin bildirdiği verilere göre ise toplam fosfor ve toplam azot değerleri bakımından az düzeyde bir zenginleşmeden ($ZF=1-3$) söz edilebilir. Yine Topçu ve Pulatsü (2017)'nin bildirdiği değerler dikkate alındığında, toplam organik karbon bakımından zenginleşme olmadığı ($ZF<1$) saptanmıştır. Bu bağlamda, geriye dönük toplam fosfora ait en eski veriyi kapsayan Pulatsü vd. (2008)'e ait bulgular ışığında, en çok zenginleşme gösterdiği tespit edilen parametre toplam fosfor olarak belirlenmiştir.

4.3.3 Organik indeks ve organik azot indeksi değerleri

Sediment örneklerinde gerek organik indeks gerekse organik azot indeksi sonuçları, II. istasyonda her iki ayda I. istasyona göre daha yüksek saptanmıştır. Bu iki parametre açısından Mayıs ayı verileri, kirlenmiş-III. sınıfa (I. istasyon hariç), her iki ayda ise II. istasyon çok kirlenmiş seviyeyi gösteren IV. sınıfa işaret etmektedir. Gerek kirlenme indeksi gerekse azot ile ilintili bu iki parametre sonuçları, sedimentin genel anlamda azot açısından önemli ölçüde kirlendiğini desteklemektedir.

Çizelge 4.7 Sedimentte kirlenme indeksi (K_i), organik indeks, organik azot indeksi ve zenginleşme faktörü (ZF) değerleri

Kirlenme parametreleri	Aylar	İstasyonlar	
		I	II
Kİ-OM	Mayıs	3,56	6,43
	Kasım	2,65	9,89
Kİ-TF	Mayıs	1,17	2,67
	Kasım	5,33	4,50
Kİ-TA	Mayıs	8,36	12,54
	Kasım	-	10,73
Organik indeks	Mayıs	0,40	1,34
	Kasım	-	3,72
Organik azot indeksi	Mayıs	0,44	0,67
	Kasım	-	0,56
TF-ZF*	3,56		
TF-ZF**	2,52		
TA-ZF**	1,21		
TOC-ZF**	0,44		

ZF*: Pulatsü vd. (2008), ZF**: Topçu ve Pulatsü (2017)'nin bildirdiği değerler kullanılmıştır.

ZF<1: zenginleşme yok, ZF=1-3: az seviyede zenginleşme, ZF=3-5: orta seviyede zenginleşme, ZF=5-10: orta seviyeden daha yüksek seviyede zenginleşme, ZF=10-25: yüksek seviyede zenginleşme, ZF= 25-50: çok yüksek zenginleşme, ZF>50: aşırı seviyede zenginleşme (Sasikala vd. (2009))

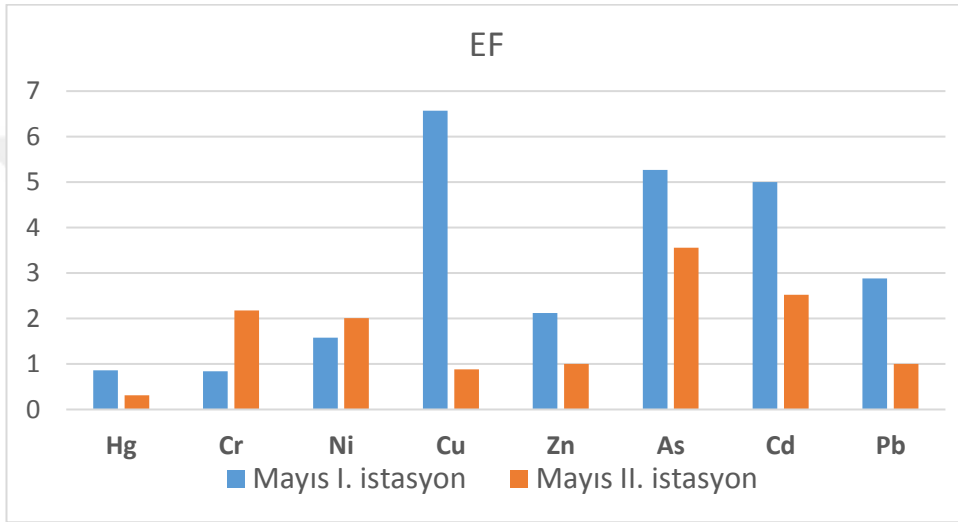
4.4 Sedimentte Ağır Metal Kirlenmesine İlişkin Bulgular

4.4.1 Zenginleşme faktörü (EF)

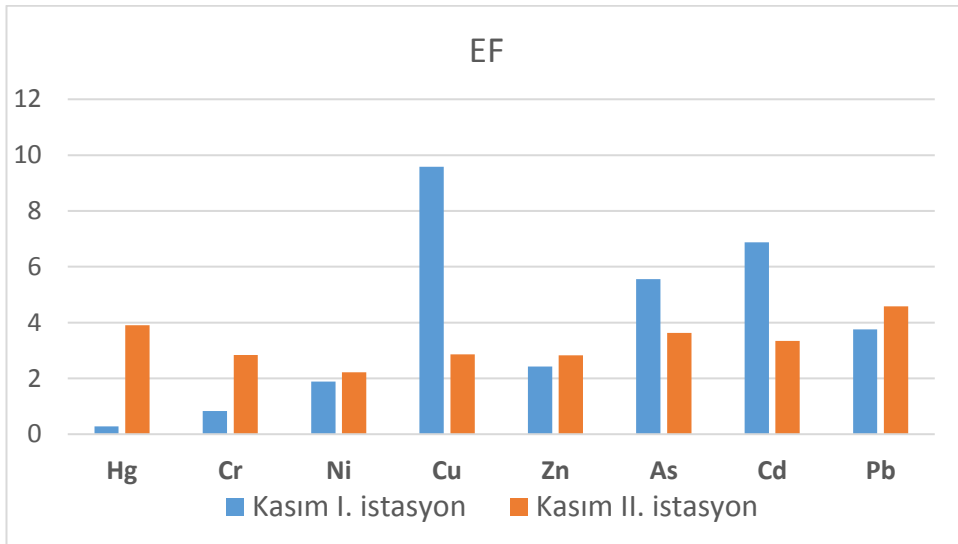
Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin zenginleşme faktörleri **Çizelge 4.8**, Mayıs ayında I. ve II. istasyonun zenginleşme faktörleri **Şekil 4.3** ve Kasım ayında I. ve II. istasyonun zenginleşme faktörleri ise **Şekil 4.4'** de sunulmuştur.

Metal kirliliğinde antropojenik katkıyı belirlemek amacıyla başvuru olan bir indeks olan ve Mogan Gölü sedimentinde analizi yapılan metallerin zenginleşme faktörü (EF) değerleri I. istasyonda azalan sırasıyla Cu>Cd>As>Pb>Zn>Ni>Cr>Hg şeklinde tespit edilmiştir.

Cu I. istasyonda en yüksek kasım ayında orta seviyeye yakın zenginleşme göstermekle birlikte; aynı istasyonda minimal zenginleşmeyi yine kasım ayında Hg göstermiştir. II. İstasyonda metallerin zenginleşme faktörleri azalan sırasıyla Pb>Hg>As>Cd>Cu>Cr>Zn>Ni şeklinde bulunmuştur. Pb ve Hg kasım ayında orta düzeyli zenginleşme göstermekle birlikte, Hg mayıs ayında minimal zenginleşme göstermiştir. Genel ortalamalar dikkate alındığında Mogan Gölü sedimentinde belirlenen zenginleşme faktörü değerleri; Cu>Cd>As>Pb>Hg>Cr>Zn>Ni şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 4.3 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin zenginleşme faktörleri

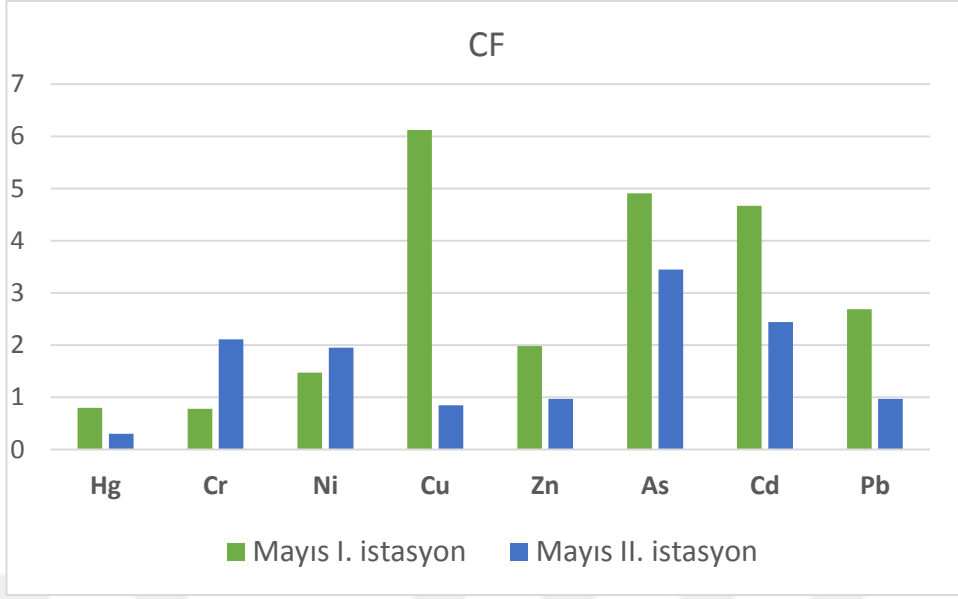


Şekil 4.4 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin zenginleşme faktörleri

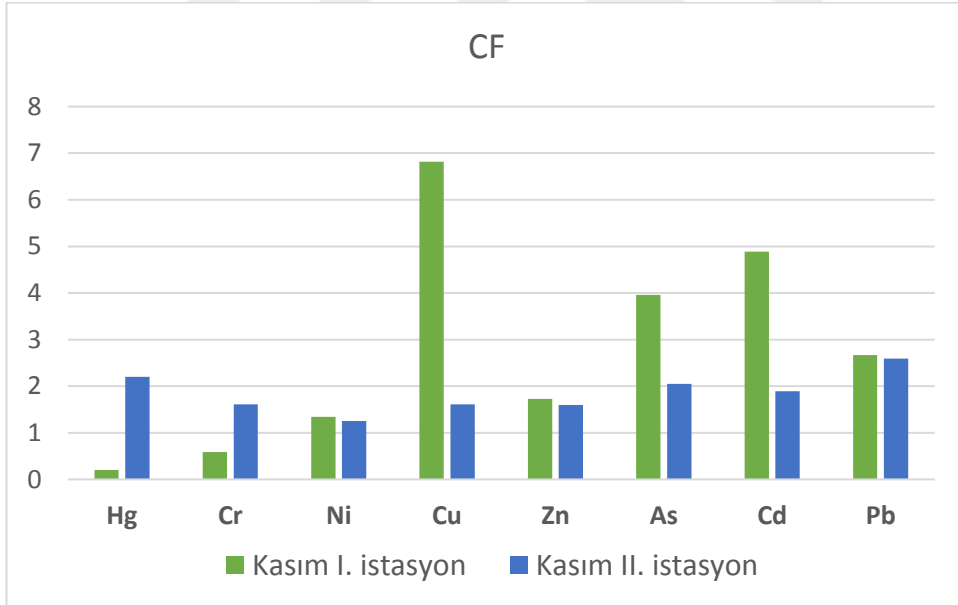
4.4.2 Kontaminasyon (kirlilik) faktörü (CF)

Kontaminasyon (kirlilik) faktörü değerleri **Çizelge 4.8**, Mayıs ayında I. ve II. istasyonun kontaminasyon faktörleri **Şekil 4.5** ve Kasım ayında I. ve II. istasyonun kontaminasyon faktörleri **Şekil 4.6'** da sunulmuştur.

CF değerleri mayıs ayında azalan sırayla şöyle sıralanmıştır: Cu>As>Cd>Pb>Cr>Zn>Ni>Hg. CF değerlerine göre mayıs ayında Cu I. istasyonda çok yüksek II' de düşük birikim göstermiştir. As için istasyon I ve II yüksek düzeyli kontaminasyon, Cd için istasyon I yüksek, II ise orta düzeyli kontaminasyon, Pb ve Zn için istasyon I' de orta düzeyli, II' de düşük, Cr için ise sadece ist. II' de orta düzeyli birikim, Ni için her iki istasyonda orta düzeyli ve Hg için de her iki istasyonda düşük kontaminasyon tespit edilmiştir. Kasım ayında CF değerleri azalan sırasıyla Cu>Cd>As>Pb>Hg>Zn>Cr>Ni şeklinde bulunmuştur. Cu I. istasyonda çok yüksek, II. istasyonda ise orta düzeyli kontaminasyon göstermiştir. Cd ve As için istasyon I' de yüksek, istasyon II' de orta düzeyli birikim, Pb, Zn ve Ni için her iki istasyonda orta düzeyli kontaminasyon, Cr için istasyon II' de orta, I. istasyonda düşük, Hg için istasyon II' de orta düzeyli ve istasyon I' de düşük kontaminasyon belirlenmiştir. Mogan Gölü sedimentinde kontaminasyon faktörü değerleri aylar ve istasyonlar dikkate alınmaksızın bakıldığında Cu>As>Cd>Pb>Hg>Cr>Zn>Ni şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 4.5 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin kontaminasyon faktörleri



Şekil 4.6 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin kontaminasyon faktörleri

Çizelge 4.8 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin zenginleşme (EF) ve kontaminasyon (CF) faktörleri

Aylar	Parametre (mg/kg)	Zenginleşme (EF) ve Kontaminasyon (CF) Faktörleri	İstasyonlar	
			I	II
Mayıs	Hg	EF	0,86	0,31
		CF	0,8	0,3
	Cr	EF	0,84	2,18
		CF	0,78	2,11
	Ni	EF	1,58	2,01
		CF	1,47	1,95
	Cu	EF	6,57	0,88
		CF	6,12	0,85
	Zn	EF	2,12	1,00
		CF	1,98	0,97
	As	EF	5,27	3,56
		CF	4,91	3,45
	Cd	EF	5,00	2,52
		CF	4,67	2,44
	Pb	EF	2,88	1,00
		CF	2,69	0,97
Kasım	Hg	EF	0,28	3,90
		CF	0,2	2,2
	Cr	EF	0,83	2,84
		CF	0,59	1,61
	Ni	EF	1,89	2,22
		CF	1,34	1,25
	Cu	EF	9,58	2,86
		CF	6,82	1,61
	Zn	EF	2,43	2,83
		CF	1,73	1,60
	As	EF	5,56	3,63
		CF	3,96	2,05
	Cd	EF	6,87	3,34
		CF	4,89	1,89
	Pb	EF	3,75	4,58
		CF	2,67	2,59

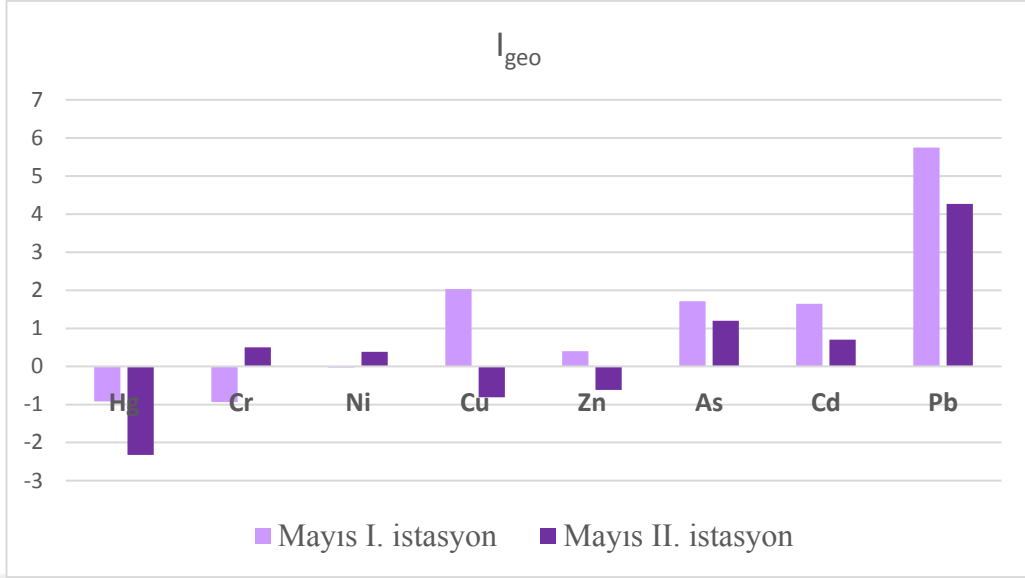
4.4.3 Kontaminasyon (kirlilik) derecesi (C_d) ve kirlilik yük indeksi (PLI)

Mayıs ayında I. istasyonda tespit edilen kontaminasyon derecesi (C_d) 23,42 mg/kg değeri ile oldukça yüksek ve II. istasyonda ise 13,04 mg/kg olarak orta düzeyde belirlenmiştir. Kasım ayında I. istasyonun C_d 22,2 değerinde oldukça yüksek bulunmakla birlikte II. istasyonda bu değer 14,8 olarak orta düzeyde tespit edilmiştir. Veriler ışığında her iki ayda I. istasyonda belirlenen C_d' nin oldukça yüksek olduğu saptanmıştır.

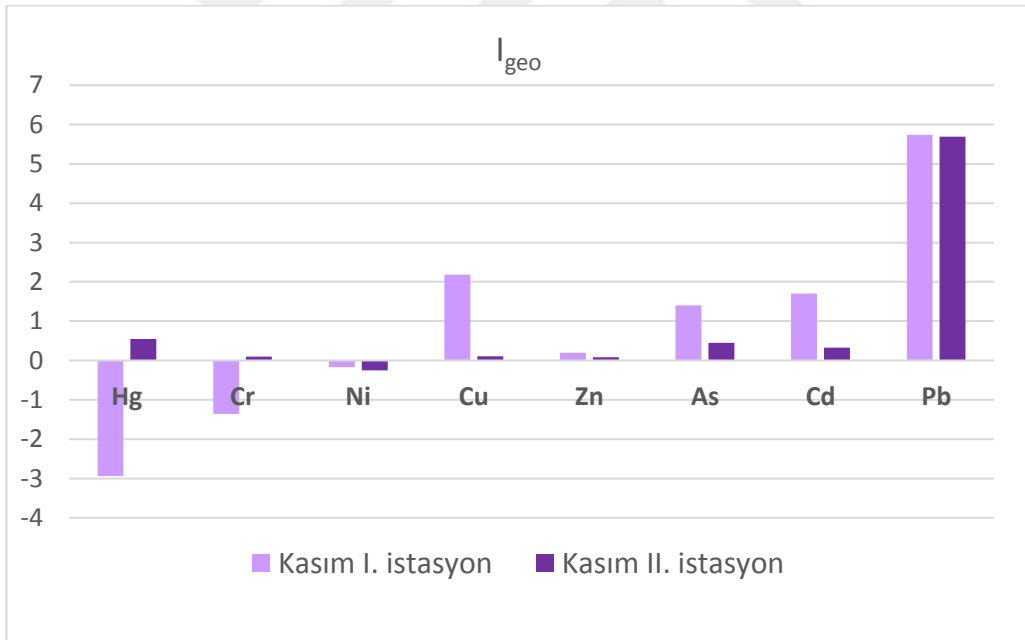
Hesaplanan PLI değerleri Mayıs ayı I. istasyonda 2,26 ve II. istasyonda 1,30 olarak, Kasım ayı I. istasyonda 1,77 ve istasyon II' de 1,81 olarak tespit edilmiştir. Ghaleño vd. (2015) PLI değerinin <1 olması durumunda ortamda kirlilik bulunmadığının göstergesi olduğunu, değer 1'i aşmasının ise ilerleyen kirliliğe işaret ettiğini belirtmişlerdir. Mogan Gölü'nde değerlerin >1 seviyelerinde bulunması PLI 'ya göre sedimentte ağır metal kirlenmesi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

4.4.4 Jeokümülyasyon indeksi (Igeo)

Igeo değerleri **Çizelge 4.9**, Mayıs ayında I. ve II. istasyonun jeokümülyasyon indeksi **Şekil 4.7** ve Kasım ayında I. ve II. istasyonun jeokümülyasyon indeksi değerleri ise **Şekil 4.8**' de sunulmuştur.



Şekil 4.7 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin jeoakümülyasyon indeksi



Şekil 4.8 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin jeoakümülyasyon indeksi

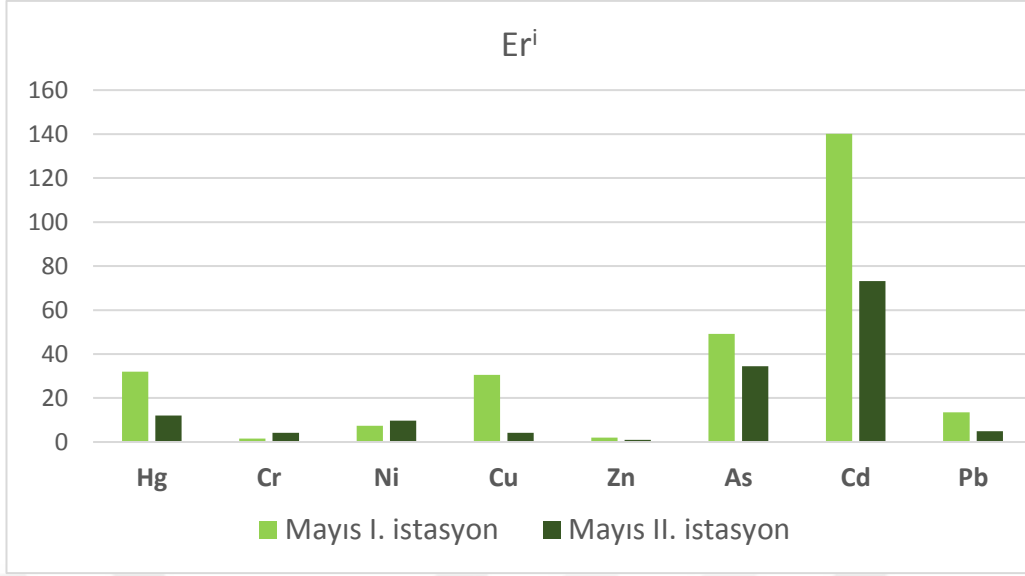
İstasyonlar bazında değerlendirildiğinde I. istasyonun jeoakümülyasyon indeksi değerleri; Pb>Cu>As>Cd>Zn>Ni>Hg>Cr, II. istasyonun ise Pb>As>Cd>Hg>Cr>Ni>Cu>Zn şeklinde azalan sıra ile sıralanmıştır. Her iki ay ve istasyonda Pb bakımından yoğun olarak bir kirlenme olduğu belirlenmiştir. Cu için I. istasyonda mayıs ayında orta düzeyde kasım ayında ise ortadan daha fazla bir kirlenme saptanmış olup As her iki istasyonda mayıs ayında, Cd aynı ayda I. istasyonda orta düzeyde bir kirlenme göstermiştir. Diğer metaller için bir kirlenme olmadığı tespit edilmiştir.

4.5 Metallerin Toksik Etkilerine İlişkin Bulgular

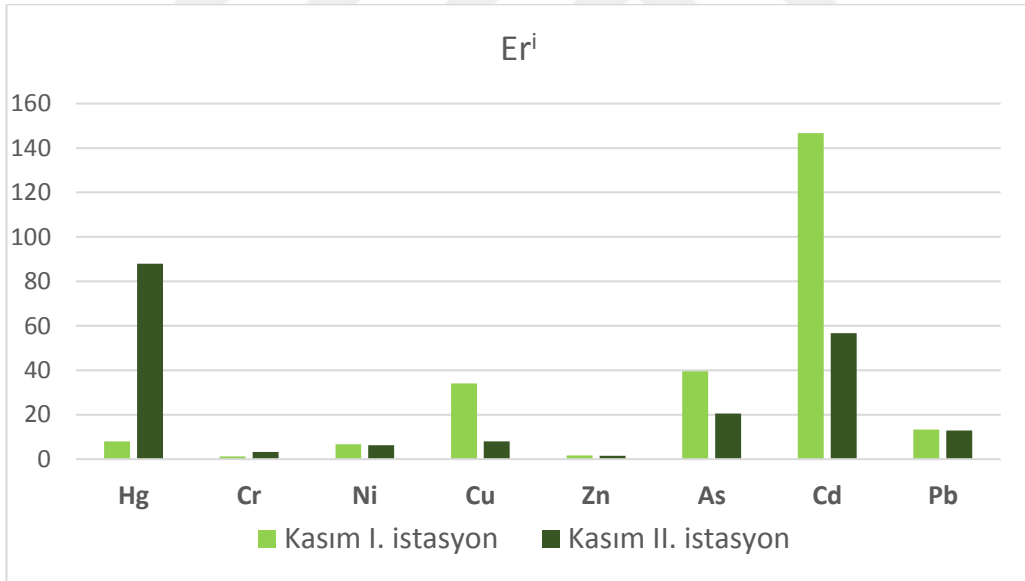
4.5.1 Potansiyel ekolojik risk (Erⁱ) faktörü

Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin Erⁱ değerleri **Çizelge 4.9**, Mayıs ayında I. ve II. istasyonun potansiyel ekolojik risk faktörü **Şekil 4.9** ve Kasım ayında I. ve II. istasyonun potansiyel ekolojik risk faktörü değerleri **Şekil 4.10'** da sunulmuştur.

Metallerin hesaplanan risk indekslerine göre I. İstasyondaki sıralamaları Cd>As>Cu>Hg>Pb>Ni>Zn>Cr şeklinde bulunmuştur. Cd' un her iki ayda önemli potansiyel ekolojik risk, As' in ise mayıs ayında aynı istasyonda orta düzeyli ekolojik risk gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.9 Mayıs ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin potansiyel ekolojik risk faktörü



Şekil 4.10 Kasım ayında I. ve II. istasyonda sedimente ilişkin potansiyel ekolojik risk faktörü

Çizelge 4.9 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}) ve potansiyel ekolojik risk (Er^i) faktörü

Aylar	Parametre (mg/kg)	Jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}) ve Potansiyel ekolojik risk (Er^i) faktörü	İstasyonlar	
			I	II
Mayıs	Hg	I_{geo}	-0,92	-2,32
		Er^i	32,00	12,00
	Cr	I_{geo}	-0,94	0,50
		Er^i	1,56	4,22
	Ni	I_{geo}	-0,03	0,38
		Er^i	7,35	9,75
	Cu	I_{geo}	2,03	-0,81
		Er^i	30,6	4,25
	Zn	I_{geo}	0,40	-0,62
		Er^i	1,98	0,97
	As	I_{geo}	1,71	1,20
		Er^i	49,1	34,5
	Cd	I_{geo}	1,64	0,70
		Er^i	140,1	73,2
Pb	I_{geo}	5,75	4,27	
	Er^i	13,45	4,85	
Kasım	Hg	I_{geo}	-2,94	0,55
		Er^i	8,00	88,00
	Cr	I_{geo}	-1,36	0,10
		Er^i	1,18	3,22
	Ni	I_{geo}	-0,17	-0,25
		Er^i	6,7	6,25
	Cu	I_{geo}	2,18	0,11
		Er^i	34,1	8,05
	Zn	I_{geo}	0,20	0,08
		Er^i	1,73	1,60
	As	I_{geo}	1,40	0,45
		Er^i	39,6	20,5
	Cd	I_{geo}	1,70	0,33
		Er^i	146,7	56,7
Pb	I_{geo}	5,74	5,69	
	Er^i	13,35	12,95	

Diğer metallerin ayrı ayrı değerlendirmeleri yapıldığında hiçbir metalin ekolojik risk indeksi ortalamasının 40' ı aşmaması nedeniyle düşük ekolojik riske işaret ettiği tespit edilmiştir. II. istasyonda metaller Hg>Cd>As>Pb>Ni>Cu>Cr>Zn şeklinde sıralanmıştır. Hg' nin kasım ayında önemli potansiyel ekolojik risk, Cd' un ise her iki ayda orta düzeyli ekolojik risk gösterdiği saptanmıştır. Diğer metallerin aynı istasyon ve aylarda düşük risk gösterdiği belirlenmiştir.

4.5.2 Bütünleşik ekolojik risk faktörü (PER)

Metallerin bütünleşik ekolojik risklerine göre PER' in en yüksek değeri mayıs ayında I. istasyonda tespit edilerek, orta düzeyli ekolojik risk kategorisinde (276,14 mg/kg) yer almıştır. Kasım ayında ise her iki istasyonda PER değerinin $150 \leq \text{PER} < 300$ arasında bir değer göstermesi nedeniyle orta düzeyli ekolojik risk gösterdiği belirlenmiştir.

4.6 Metallerin Kombine Biyolojik Etkilerine İlişkin Bulgular

4.6.1 Toksik ünite (TU) ve oransal toksik ünite (%TU)

Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin toksik ünite (TU) ve oransal toksik ünite (%TU) değerleri **Çizelge 4.10'** da sunulmuştur.

Çizelge 4.10 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin toksik ünite (TU) ve oransal toksik ünite (%TU) değerleri

Aylar	Parametre (mg/kg)	Toksik Ünite (TU) ve Oransal Toksik Ünite (%TU)	İstasyonlar	
			I	II
Mayıs	Hg	TU*	0,08	0,03
		%TU	1,31	0,48
	Cr	TU	0,80	2,16
		%TU	13,11	34,39
	Ni	TU	1,92	2,55
		%TU	31,47	40,60
	Cu	TU	0,87	0,12
		%TU	14,26	1,91
	Zn	TU	0,42	0,21
		%TU	6,89	3,34
	As	TU	1,39	0,97
		%TU	22,79	15,45
	Cd	TU	0,12	0,06
		%TU	1,97	0,99
	Pb	TU	0,50	0,18
		%TU	8,20	2,87
Kasım	Hg	TU	0,02	0,23
		%TU	0,37	4,43
	Cr	TU	0,60	1,64
		%TU	11,01	31,60
	Ni	TU	1,75	1,64
		%TU	32,11	31,60
	Cu	TU	0,97	0,23
		%TU	17,80	4,43
	Zn	TU	0,37	0,34
		%TU	6,79	6,55
	As	TU	1,12	0,58
		%TU	20,55	11,18
	Cd	TU	0,12	0,05
		%TU	2,20	0,93
	Pb	TU	0,50	0,48
		%TU	9,17	9,25

*: TU=Ci/PECi ise PECi Değerleri: Hg:0,486; Cr:90; Ni:36; Cu:197; Zn:315; As:17; Cd:3,53; Pb:91,3 (MacDonald vd. 2000)

Toksik ünite bakımından I. istasyon mayıs ayında Ni ve As değerleri kasım ayına göre daha yüksek değerlerde bulunmuş, diğer metal değerleri düşük seviyelerde belirlenmiştir.

II. istasyonda ise Ni ve Cr değerleri yüksek seviyelerde tespit edilmiş, mayıs ayındaki Ni ve Cr değerlerinin kasım ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Oransal TU değerleri I. istasyonda Ni>As>Cu>Cr>Pb>Zn>Cd>Hg şeklinde, II istasyonda ise Ni>Cr>As>Pb>Zn>Cu>Hg>Cd olarak sıralanmıştır. Her iki istasyonda da Ni en yüksek değerde tespit edilmiştir.

4.6.2 Toplam toksik nite (Σ TUs) ve ortalama olası etki konsantrasyonu oranı indeksi (mPEC-Q)

Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin toplam toksik nite (Σ TUs) ve ortalama olası etki konsantrasyonu oranı (mPEC-Q) değerleri **izelge 4.11'** de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Mogan Gölü sedimentinde ölçülen metallerin toplam toksik nite (Σ TUs) ve ortalama olası etki konsantrasyonu oranı (mPEC-Q) değerleri

Aylar	Değerler	İstasyonlar	
		I	II
Mayıs	Σ TUs	6,1	6,28
	mPEC-Q	0,76	0,79
Kasım	Σ TUs	5,45	5,19
	mPEC-Q	0,68	0,65

En yüksek ve en düşük Σ TUs değeri II. istasyonda tespit edilmekle birlikte, aylar dikkate alındığında en yüksek toplam toksik nite (Σ TUs) değerinin mayıs; en düşük değerin ise kasım ayında olduğu belirlenmiştir. Long vd. (2006) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre ($\leq 0,1$: düşük seviye; 0,1-1,0: düşük-orta seviye; 1,0-5,0: orta-yüksek seviye; $> 5,0$: yüksek seviye) olası etki konsantrasyonu oranı (mPEC-Q) değerlerinin düşük-orta seviyede olduğu grlmştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi'nde bulunan Mogan Gölü'nde sediment tarama başka bir deyişle göl tabanından sedimentin uzaklaştırılması girişimi zaman zaman gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında değerlendirilmiştir: 1) Mogan Gölü'nde, sediment üstü su-sediment gözenek suyu-sedimentteki ağır metal konsantrasyonları (Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn) açısından güncel kirlenme durumunun ve buna yönelik bazı indekslerin konuya ilişkin uluslararası ve ulusal ölçekli farklı kaynaklar ile karşılaştırılması, 2) Mogan Gölü'nde sediment tarama ertesi sedimentin ağır metal ve kalite parametreleri açısından kirlenme durumunun değerlendirilmesi.

5.1 Mogan Gölü'nde Sediment Üstü Su-Sediment Gözenek Suyu-Sedimentte Ağır Metal Konsantrasyonları ve Sedimentteki Ağır Metal Kirlenmesine İlişkin İndekslerin Değerlendirilmesi

Mogan Gölü'nde sediment üstü sudaki konsantrasyon değerleri (mg/L); Zn (15-129), Pb (0,61-1,38), Cu (3,10-5,80) olup, Cr tüm istasyonlarda tespit edilmemiştir. Bu değerler, Victoria Gölü'nün (Kenya) sediment üstü suda; Zn (0,01-0,08), Pb (0,002-0,009), Cu (tespit edilmedi – 0,03), Cr (tespit edilmedi – 0,002) olarak Zn ve Pb'nin daha düşük değerlerde değişim gösteren çalışması (Mwamburi ve Oloo 1997) dikkate alındığında, Mogan Gölü sonuçları Zn ve Pb için daha yüksek iken, Cr her iki çalışmada tespit edilmemiştir. Victoria Gölü'ndeki metal kirliliğine, büyük ölçüde çeşitli kentsel faaliyetlerin ve atıkların neden olduğuna ilişkin bulgu ise, Mogan Gölü'nde sedimentte Cr ve sediment gözenek suyunda Zn seviyelerinin diğer metal değerlerine göre nispeten yüksek olmasının, gölün benzer antropojenik baskılara karşı karşıya kaldığını desteklemektedir.

Machesky vd. (2004) tarafından Peoria Gölü'nde (ABD) yürütülen çalışmada, sediment üstü suda tespit edilen çözünmüş Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyon değerlerinin genellikle sediment gözenek suyu değerlerinden daha yüksek olduğu, sözü edilen ağır metal değerlerinin sediment gözenek suyunda düşük seyrettiği (<15 µg/L) belirtilmiştir.

Oysa Mogan Gölü'nde genel olarak sediment gözenek suyu ağır metal konsantrasyon değerleri, sediment üstü su değerlerinden daha yüksek tespit edilmiştir.

Hou vd. (2013) tarafından, Dalinouer Gölü'nde (Çin) yürütülen çalışma kapsamında, SGS'nda Cu dışındaki ağır metal konsantrasyonlarının SÜS'daki değerlerden yüksek olmadığını tespit etmişlerdir. Dalinouer Gölü'nde sediment gözenek suyunda Cu dışındaki ağır metal konsantrasyonlarının sediment üstü sudaki değerlerden düşük olduğuna dair bulgu ile benzerlik göstermemektedir. Bu durum ise, Mogan Gölü'nde çoğu metalin sediment tarafından kuvvetlice adsorbe olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Sediment üstü su örneklerinin yüzey suyuna göre daha yüksek ağır metal değerleri gösterdiği (Mwamburi ve Oloo 1997) ya da bunun tam tersi durum gösterdiği bildirilen çalışmalar (Hou vd. 2013) mevcuttur. Mogan Gölü'nde Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından yürütülen çalışma kapsamında, yüzey suyu örneklerinde ağır metaller azalan sırayla Fe, Cu, Cr, Zn, Pb, Ni, As, Se ve Hg olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada, sediment üstü su ağır metal konsantrasyonları, Zn>As>Cu>Ni>Pb şeklinde dizilim göstermiştir.

Van den Berg vd. (2001), sucul ekosistemlerde ağır metallerin hareketliliğinin; fiziksel taşınım (adveksiyon, karışım, difüzyon gibi), biyolojik (biyotürbasyon vb.), jeokimyasal proseslere (adsorbsiyon/desorpsiton ve çökme/çözünme), canlılar için biyolojik olarak kullanılabilir halinin ise genellikle katı faz şeklinde tekrar çökme ve tutulumlarına dayandığını belirtmiştir. Araştırmacıya göre, sedimentin tarama girişimi, hem partiküler hem de gözenek suyundaki kirleticilerin dağılımı ile sonuçlanabilmekte, söz konusu girişim ağır metallerin hareketliliğini artırarak özellikle taranan kısım ile askıda katı maddenin karışımı, organik madde ve Mn değerlerinde düşmeye, askıda katı maddedeki ağır metallerin miktarında artışa neden olmaktadır. Bu çalışmada da Mogan Gölü'nde sediment tarama ertesini, sediment gözenek suyundaki ağır metal konsantrasyonlarının, tarama ile tetiklenmesi olasıdır.

Fan vd. (2019), esas olarak yüzeyde depolanan sedimentin ağır metallerle birebir ilişkili ve killerin geniş bir yüzey alanına ve gözenek hacmine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Araştırmacılar, yzzey sedimentinde ağır metallerin daha yksek konsantrasyonlarda bulunma nedenlerinden birinin de kilin ağır metalleri daha fazla adsorpsiyonundan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise istasyonlar ve aylar baz alındığında sedimentin kil yzdesi (%54,86-87,13), silt yzdesinden (%12,86-45,13) daha yksek bulunmuştur. Sedimentin kil ağırlıklı yapısının, ağır metallerin sedimentte, sediment gzenek suyu veya sediment üstü suya göre daha yksek bulunmasında (tutulumunda) nemli rol oynadığı düşünülmektedir.

Machesky vd. (2004) tarafından Peoria Gölü'nde (ABD) yrtlen çalışmada, sediment üstü suda tespit edilen znmş Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyon değerlerinin genellikle sediment gzenek suyu değerlerinden daha yksek olduğu, sözü edilen ağır metal değerlerinin sediment gzenek suyunda düşük seyrettiği ($<15 \mu\text{g L}^{-1}$) belirtilmiştir. Sediment gzenek suyunda düşük düzeyde belirlenen bu değerlere, kısmen de olsa eser miktarda znr metal sülfitlerin neden olduğu bildirilmiştir. Dalinouer Gölü'nde (Çin) yrtlen çalışmada ise, Cu dışında ağır metal konsantrasyonları sediment gzenek suyunda, sediment üstü suya ilişkin ağır metal konsantrasyon değerlerinden düşük bulunmuştur (Hou vd. 2013).

Ji vd. (2018), kömür madeni arazisindeki Yongding Nehri'nde ağır metal konsantrasyonlarını sediment üstü su < sediment gzenek suyu < sediment şeklinde tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, sediment gzenek suyundaki ağır metal konsantrasyonlarının sediment üstü suya ilişkin ağır metal değerlerinden daha yksek olup ağır metallerin esas olarak sedimentte bulunduğunu, kömür madencilik faaliyetlerinden dolayı ağır metaller ile kirlenmenin önlenmesi için bazı önlemleri alınması gerektiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda genel olarak sediment gzenek suyu ağır metal konsantrasyonları, sediment üstü sudaki değerlerden daha yksek bulunmuş olup bu sonuçlar araştırma bulgularından yalnız Ji vd. (2018)'in verileriyle örtüşmektedir.

Peng vd. (2009) tarafından salınımın azaltılması için sedimentin oksidasyonundan kaçınılması gerektiği bildirilmiştir. Sediment st su ve sediment-su ara yzzeyindeki oksijenle zengin koşullar nedeniyle, sedimentten salınımın azaltılarak metallerin adsorbe

olası veya Fe ve Mn oksihidroksit partikülleri ile tekrar çökebilmesi söz konusudur (Tang vd. 2016).

Mogan Gölü'nde de sediment üstü su çözünmüş oksijen değerleri, 1,28-6,12 mg L⁻¹ arasında değişmiş olup, anoksik koşullara rastlanmamıştır. Ayrıca pH değişim aralığının da 7,01-7,78 arasında belirlenmiş olması, salınımın engellenmesindeki bir diğer unsur olarak gözükmektedir.

Mogan Gölü sedimentinde istasyonlar ve aylar dikkate alınarak ağır metallerin sedimentteki dizilimi; Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg, I. istasyon için; Cu>Zn>Ni>Cr>Pb>As>Cd>Hg, II. istasyon için; Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>As>Cd>Hg olarak bulunmuştur. Gölde tüm çalışma periyodunca her iki istasyon için de sedimentteki ağır metallerin diziliminde Pb ve Zn düzeylerinin As, Cd ve Hg değerlerinden daha yüksek olduğuna ilişkin bulgu, Honglei vd. (2008) tarafından belirtildiği üzere sediment Pb ve Zn düzeylerinin hızlı kentleşme ve endüstrileşme ile artışına ilişkin bulguyu desteklemektedir.

Bai vd. (2011), Yilong sulak alanı (Çin) sedimentinde yüksek Ni, Cr ve Zn konsantrasyonlarının kayaçlar nedeniyle baskın olduğunu bildirmiştir. Sulak alanda belirlenen ağır metal değerleri Pb>Cr>As>Ni>Zn>Cd>Cu şeklinde sıralanırken; Pb, Cr ve As'ye ilişkin ortalama toksik değer toplamının bu sıralamada daha yüksek bir değer gösterdiği saptanmıştır. Mogan Gölü'nde bu sıralama farklılık göstermekte olup, toksik değerler açısından As, Ni ve Cr daha yüksek paya sahiptir. Mogan Gölü'nde sediment gözenek suyunda belirlenen metal konsantrasyonları, göl havzasına ilişkin kirletici kaynakları yansıtmaktadır. Antropojenik kirleticilerin yanı sıra, Mogan Gölü çevresinde Triyas'tan (200-250 Milyon yıl) itibaren güncel birimlere kadar farklı jeolojik yaş dönemlerine ait oldukça farklı kayaç topluluklarının mevcut olmasının da (Akyürek vd. 1997) göl suyu ve sedimente metalik element katkısı olabileceği göz ardı edilmemelidir.

Tylmann vd. (2011), Güneydoğu Polonya'da bulunan 23 yüzey sedimenti için ağır metal seviyelerinin ardaalan değerlerden farklılık göstermediğini ve bu anlamda güncel kirlenmeden etkilenmeyen göllerin planlanan izleme programlarında referans yerler

olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ancak Mogan Gölü için aynı durumdan söz etmek ne yazık ki olası olmayıp, sedimentteki tüm ağır metal verileri ardalardan değerlerden yüksek bulunmuştur.

Zhang vd. (2013), Yangzonghai Gölü (Çin) sedimentinde genel olarak, altı ağır metalin jeoakümüülasyon indeksinin (Igeo) $Cu > As > Cr > Zn > Mn > Pb$ şeklinde olduğunu, bakır için bu değer 2,42'ye ulaştığını bildirmişlerdir. Mogan Gölü sedimentine ilişkin genel ortalama bazında Igeo değerleri açısından Pb ve Cu ön planda belirlenmiş olup, bakır için en yüksek Igeo değerinin kasım ayında I. istasyonda 2,18'e ulaştığı saptanmıştır. Bulgular Zhang vd. (2013) tarafından sedimentte Pb, Zn, As ve Cr'un potansiyel kaynaklarının sanayi, madencilik, turizm vb insan faaliyetlerinden kaynaklandığı bilgisi, Mogan Gölü için de geçerli unsurlardır.

Satar vd. (2017) tarafından bildirildiğine göre, Mariut Gölü (Mısır)'nün tarımsal, endüstriyel ve kanalizasyon gibi farklı kirlilik kaynaklarına maruz kalmasına karşın, sedimentteki toplam Zn, Cu ve Pb konsantrasyonları, sucul yaşamın korunmasına yönelik olan ve Kanada Çevre Bakanlığı (CCME 2001) tarafından bildirilen standard değerlerin altında kalmıştır. Bu durumun sediment yapısındaki kum taneciklerinin çok yoğun olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Mogan Gölü'nde ise istasyonlarda sedimentlerin tekstürel yapısında kuma rastlanmamıştır.

Peoria Gölü'nde sedimentin Cd ve Ni konsantrasyonları MacDonald vd. (2000)'e göre "Olası Etki Konsantrasyonu" (PEL) ise seviyelerini aşarken, Mogan Gölü'nde yalnız Ni, mayıs ve kasım aylarında her iki istasyonda da PEL değerinin üzerindedir.

Mogan Gölü için hesaplanan kontaminasyon (kirlilik) faktörü değerlerine göre Cu I. istasyonda çok yüksek, As, Cd I. istasyonda yüksek, Pb her iki istasyonda orta düzeyli bir kontaminasyon göstermiştir. Söz konusu değerler, Ikem vd. (2003) tarafından yerel içme suyu ve rekreatif balıkçılık kaynağı olan Tuskegee Gölü'nde (Güneydoğu ABD) hesaplanan ağır metal kontaminasyon faktörlerinin en yüksek risk taşıyan ağır metalden başlayarak, Pb, Zn, Cu, Cr, Co ve V şeklinde dizilim gösterdiği çalışma bulgularıyla örtüşmemektedir. Kirlilik faktörleri açısından dizilim farklı olsa da araştırmacıların da

belirttiği gibi göllerde çevresel riski azaltmak için antropojenik kaynaklı kirlenmenin önlenmesi gerekmektedir.

Yin vd. (2011), Taihu Gölü (Çin) yüzey sedimentindeki potansiyel ekolojik risk indeksine göre gölün orta seviyede kirlenmiş olduğu ve Cd'nin en büyük, Hg'nın ise ikinci sıradaki ekolojik risk faktörü olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar bulgular ışığında, Taihu Gölü yüzey sedimentinin farklı antropojenik etkilere maruz kaldığını; Hg, Cu, Cr, Cd ve Pb'un evsel kanalizasyon ve endüstriyel atık sularından kaynaklı kirlenmeden, As'ın ise doğal proseslerden kaynaklandığına işaret etmişlerdir. Bu çalışmanın yürütüldüğü Mogan Gölü'nde, sedimentteki Hg II. istasyonda ve kasım ayında önemli potansiyel ekolojik riske, Cr ise düşük seviyede potansiyel ekolojik riske sahip bulunmuştur. Ancak Mogan Gölü'nün de antropojenik etkilere maruz kaldığı bir gerçek olup, göl sedimentinin evsel, kanalizasyon ve endüstriyel atık sularından kaynaklı kirlenmeden etkilendiği kuvvetle muhtemeldir.

Ramgarh Gölü (Yukarı Hindistan)'nde Singh ve Upadhyay (2012)'in yaptığı çalışmada, Cd>As>Cu>Pb>Zn ve metaller için ortalama potansiyel ekolojik risk faktörü ise 76,53 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan potansiyel ekolojik risk değerlerinin Cd dışında diğer metaller için kabul edilebilir limitler içerisinde kalmış ve orta seviyede bir kirlenmeden söz edilmiştir. Mogan Gölü içinse özellikle Hg kasım ayında II. istasyonda, Cd ise I. istasyonda önemli düzeyde (80-160) potansiyel ekolojik riske sahip bulunmuştur.

Veeranam Gölü (Hindistan) yüzey sedimentlerinde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) seviyeleri-yersel dağılımlarının araştırıldığı bir çalışmada (Suresh vd. 2012), PLI değerleri ortalama 2.03 (1,18-4,09) olup göl sedimentinin önemli ölçüde kirlendiğini ortaya konmuştur. Bu çalışma kapsamında da göl sedimentinin ağır metallerce kirlendiği, ortalama PER değeri olan 238,79 (196,86-266,31) dikkate alındığında ise gölün orta düzeyli bir ekolojik riskle karşı karşıya kaldığı saptanmıştır. Mogan Gölü sedimentinde Hg ve Cd'un bazı ay ve istasyonlarda önemli potansiyel ekolojik risk oluşturmalarına ilişkin bulgu, Veeranam Gölü sedimenti metal işleme tesisleri, tarımsal arazi ve yerleşim yerlerinden kaynaklanan Cd'un daha yüksek ekolojik riske sahip olmasına dair sonuçla örtüşmektedir.

Hou vd. (2013) tarafından, Dalinouer Gölü'nde (Çin) su ve sedimentte ağır metallerin (Cu, Pb, Cd ve Zn) potansiyel ekolojik risk ve jeoakümülyasyon indeksi hesaplanmıştır. Bu göle ilişkin olarak, ağır metallerin çoğunun orta düzeyde kirlenmeye işaret etmesinin yanısıra Cd'un en yüksek potansiyel riske sahip ağır metal olması da, Mogan Gölü'nde yürütölen çalışma sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Dongting Gölü (Çin-Orta Bölge) yüzey sedimenti örneklerinde Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As ve Hg düzeyleri dikkate alındığında, As %50 ve Cd %58 oranında olası etki seviyesini (PEL) aşmıştır (Li vd. 2013). Mogan Gölü'nde As, mayıs ve kasım ayında I. istasyonda PEL seviyesini aşmıştır. Mogan Gölü sedimentinde Ni, PEL değeriinin 1,64-2,55 kat üzerinde tespit edilmiştir.

Vrhovnik vd. (2013) tarafından Makedonya'da Kalimanci Gölü yüzey sedimentinde zenginleşme faktör değeri 0,12-590,3 arasında saptanmış ve sedimentin Cd, Pb, Zn ve As ile önemli düzeyde kirlenmiş olduğunu bildirilmiştir. Araştırmacılar, Kalimanci Gölü'nde iz elementlerin yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmesinde antropojenik kaynakların ve özellikle madencilik faaliyetlerinin önemli payı olduğunu vurgulamışlardır. Mogan Gölü'nde yürütölen çalışma kapsamında ise, sedimente ilişkin zenginleşme faktör değeri 0,31-9,58 arasında değişim göstermiş, mayıs ve kasım aylarında I. istasyonda sedimentin özellikle Cu düzeyi önemli zenginleşme gösteren metal olmuştur. Mogan Gölü'nde seçilen I. istasyonda Zn ve Pb açısından orta düzeyli bir zenginleşme söz konusu olup, bu istasyona esas olarak maden ocakları atıklarının girdi suları ulaştığı bilinmektedir.

Mogan Gölü'nde yapılan çalışma kapsamında, Hg'nın en düşük konsantrasyondaki (max.: 0,11 mg/kg) tespitine dair bulgu, Doğu Gölü (Çin) yüzey sedimentte ele alınan 8 ağır metal (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd, Hg) içerisinde Hg'nın en düşük konsantrasyonda (0,21 mg/kg) bulunduğu (Liu vd. 2014) sonucuna benzerlik göstermektedir. Benzer şekilde, potansiyel ekolojik risk indeksi sonuçları dikkate alındığında her iki göl için de Cd önemli düzeyde veya yüksek ekolojik risk, Cr ise düşük ekolojik riske işaret etmektedir. Bulgular ışığında sedimente ilişkin ağır metal kirlenmesi seviyelerinin dikkatle izlenmesi gereği ortak bir hedef olarak gözükmektedir.

Yang vd. (2014) tarafından, 35 adet göl yüzey sediment örneğinin risk tayini kapsamında, biyolojik olarak kullanılabilir fraksiyonlarda Cd yüksek/çok yüksek riski temsil etmesi, Mogan Gölü sedimenti için de geçerli olan Cd'un önemli potansiyel ekolojik risk teşkil etmesine ilişkin sonuçla örtüşmektedir. Bu bağlamda, kirletici girişlerinin sürekliliği gözönüne alındığında sediment kalitesinin kentleşmiş alanların çevre koruma ve yönetimi için uzun süreli izlenmesi gereği kaçınılmazdır.

Mogan Gölü sedimentinde Cd konsantrasyonu 0,17-0,44 mg/kg arasında değiştiği değerler, Yuan vd. (2014)'un hiperötrotfik plato gölü olan Dianchi Gölü (Çin) sedimentine ilişkin Cd konsantrasyon (0,45-3,14 mg/kg) değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Ayrıca göllerin sedimentlerindeki kirlenmede rol alan ağır metallerin dizilimi de farklılık göstermektedir. Ancak her iki göl için de Cd'un en önemli risk grubundaki ağır metal, Cr'un ise çok düşük potansiyel ekolojik risk indeksine sahip olmasına dair bulgular ile benzerlik göstermektedir. SQG'a göre sediment kirliliği; Pb>Ni>Fe>Cr> Cu>Mn>Zn> Cd şeklinde sıralanmıştır. Mogan Gölü sedimentinde sediment kirliliği; Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg olarak dizilim göstermiştir.

Cheng vd. (2015), Çin'de 16 gölün yüzey sedimentine ilişkin olarak civa en yüksek riske sahip ağır metal olarak tespit edilmiş bunu sırasıyla; Cd, As, Pb, Cu, Ni, Cr ve Zn izlemiştir. Araştırma bulguları, Mogan Gölü sedimenti için önemli potansiyel risk oluşturan Cd açısından benzerlik gösterse de Cr'un düşük potansiyel ekolojik riske sahip olduğu tespit edilmiştir. Mogan Gölü sedimenti için potansiyel ekolojik risk indeksi verileri, Mamat vd. (2016)'ın Bosten Gölü yüzey sedimentinde, Cd, Hg ve Pb'un ciddi kirlenme düzeylerine işaret ettiği verileri ile Pb dışında kısmen paralellik göstermektedir.

Porto Alegre kenti yakınlarındaki Guaíba Gölü (Güney Brezilya)'nde sediment kirliliğini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmada (Andrade vd. 2018), Zn>Pb>Cu>Cr>Ni>Cd konsantrasyonları daha yüksek değerlerde tespit edilirken, Mogan Gölü için bu sıralama Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>Cd şeklinde olmuştur. Mogan Gölü'nde seçilen iki istasyona da evsel atıkların ulaşması ise, araştırmacıların sözü edilen ağır metallerin kirlenmiş kentsel nehir çıkışlarına yakın yerlerde tespit ettikleri sonucunu desteklemektedir.

Guo vd. (2010) tarafından Tibet platosunda 18 göl yüzey sedimentinde ağır metallerin dizilimi Cr>As>Zn>Ni>Pb>Cu>Co>Cd olarak sıralanmıştır. Mogan Gölü'nde ise metallerin dizilimi her iki istasyon ve ay baz alındığında Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg şeklinde sıralanmıştır. Guo vd. (2018)'in çalışmasına göre Cd ve As yönünden sedimentin Eri ve Igeo indekslerine göre orta düzeyde bir kirlenme gösterdiği bulunmuştur. Mogan Gölü'ndeki veriler, Guo'nun (2018) değerleri ile kısmen örtüşürken, her iki indeks açısından As'in orta düzeyde-yüksek kirlenme gösterdiğine ilişkin bulguları uyumlu bulunmuştur.

Mogan Gölü sedimentinde ele alınan ağır metallere genel ortalama bağlamında, Hg, Zn ve Cd konsantrasyonları TEL değerlerinden düşük seyrederken, Dali Gölü (Kuzey Çin) yüzey sediment örneklerinde Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları TEL değerlerinden daha düşük bulunmuştur (Xu vd. 2019). Dali Gölü sedimentinde kontaminasyon faktörü (CF) değerleri ise, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn için düşükten orta düzeye kadar seyretmiştir. Mogan Gölü sedimentinde kontaminasyon faktörü değerleri aylar ve istasyonlar dikkate alınmaksızın bakıldığında Cu>As>Cd>Pb>Hg>Cr>Zn>Ni şeklinde sıralanmıştır. Mogan Gölü sedimentinde düşük kirlilik değerleri yalnız I. istasyonda, Mayıs ve Kasım'da olmak üzere Hg ve Cr için saptanmıştır. Bu bağlamda Xu vd. (2019)'nin bildirdiği üzere As kirlenmesinin, tarımsal faaliyetlerde pestisitlerin ve kimyasal gübrelerin kullanımından kaynaklandığına ilişkin sonucu, Mogan Gölü II. istasyona ait kontaminasyon faktörleri (2,05-3,45) değerleri dikkate alındığında bu istasyona tarımsal atıkların ulaşarak kirlenmeye yol açması olasılığını güçlendirmektedir.

Ulusal ölçekli çalışmalar da baz alınarak, çalışma sonuçları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, genel olarak (aylar ve istasyonlar dikkate alınmaksızın) ağır metallerin konsantrasyonları, Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg olarak sıralanırken, Hazar Gölü (Elazığ) sedimentteki ağır metallere ve ana elementlerin konsantrasyonu; Fe>Mg>Ca>Mn>Zn>Ni>Cr> Cu>Co>Pb şeklinde (Özmen vd. 2004), Beyşehir Gölü için sedimentte Pb>Cd>Cr>Hg olarak (Altındağ ve Yiğit 2005), Eğirdir Gölü sedimentindeki ağır metal konsantrasyonları Cr>Pb>Cd>Hg şeklinde (Yiğit ve Altındağ 2006), Uluabat Gölü sediment örneklerinde ağır metal düzeyleri Pb>Cu>Cr>Ni>Cd>Zn olarak (Elmacı vd. 2007), Uluabat Gölü (Bursa) suyunda metal seviyeleri ortalama değerlere göre,

Zn>Cu>Pb>Ni>Cr>Cd şeklinde (Arslan vd. 2010), Yeniçağa Gölü'nde sedimentte Fe>Al>Mn>Zn>Ba>Ni>Cr>As Cu>Pb>Co>Mo>Sn>Cd şeklinde (Saygı ve Atasagun Yiğit 2012), Bafa Gölü (Batı Anadolu) yüzey sediment örneklerinde ortalama ağır metal konsantrasyonları Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Pb>Hg olarak (Yılıgör vd. 2012), Van Gölü'nde sediment örneklerine ilişkin ağır metal dizilimi; Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu olarak (Erentürk vd. 2014), Çıldır Gölü'nde (Ardahan), sedimentteki ortalama ağır metal düzeyleri Fe>Mn>Zn>Ni>Cr>Cu>Pb>As>Cd>Hg şeklinde (Kükürer vd. 2014), Bafa Gölü'nde seçilen yedi istasyonundan toplanan yüzey sedimenti örneklerinde Cr>Pb>Zn>Cu>Cd>Hg şeklinde (Aydın-Önen vd. 2015), Kovada Gölü dip sedimanlarının ağır metal ortalama birikim düzeyleri Mn>Ni>Zn>Cu>Pb>As>Co>Fe şeklinde (Şener ve Şener 2015) dizilim göstermişlerdir.

Tarımsal faaliyetlerin tek antropojenik kaynak olduğu Seyfe Gölü'nde, sediment örneklerindeki ağır metaller dizilimleri Zn>Pb>As>Cr>Ni>Cu>Cd>Co şeklinde (Bölükbaşı ve Salman Akın 2016), Aktaş Gölü için sedimentte ağır metal dizilimi; Al>Fe>Mn>Zn>Ni>Cr>Cu>Pb>As>Cd>Hg şeklinde (Kükürer 2017), Kara Göl (Adıyaman) sediment örneklerinde ağır metaller Mn>Ni>Cr>Zn>Fe>Pb>Cu olarak (Keser vd. 2020), Bafa Gölü yüzey sedimentinde ağır metal düzeyleri ise Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Co>Pb>Cd olarak (Algül ve Beyhan 2020) dizilim göstermiştir.

Türkiye'de farklı coğrafik bölgelerde yapılmış yukarıda bildirilen çalışmalar ışığında, sedimentteki ağır metal konsantrasyonlarının doğal ya da antropojenik kaynaklardan etkilenmesinin kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, sedimentteki ağır metal kaynaklarının doğal orijinli etkenleri arasında özellikle havzanın kayaç yapısı başta olmak üzere, jeolojik yapıdan kaynaklanarak kirleticilerin yağmur suları ve erozyon sonucu yüzey suları ile göl sedimentlerine taşınmaları sonucu, sedimentte birikebilmeleri ya da olumsuz unsurlardan etkilenen yeraltı sularının katkısı söz konusudur. Antropojenik etkenlerin başında ise özellikle bölgedeki aktif maden işletmelerinin etkili olabileceği, yoğun tarımsal faaliyetler ve evsel atık suların da sedimentteki ağır metallerin konsantrasyon artışında etkili unsurlar olduğu bildirilmiştir.

Alemdaroğlu vd. (2003), Manyas Gölü (Kuş Cenneti)'nde seçilen bazı istasyonlarda ve gölün orta bölümündeki sediment Cu, Pb, Zn ve Ni değerlerinin evsel ve endüstriyel kaynaklı kirlenmeden etkilendiği bildirilmiştir. Mogan Gölü'nde seçilen ve her iki antropojenik kaynağın da söz konusu olduğu her iki istasyonda da benzer olarak yukarıda bildirilen metallerin konsantrasyonları, As, Cd ve Hg'dan daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, Uluabat Gölü'nde (Bursa) farklı bölgelerden alınan sedimentteki kurşun değerlerinin, Cd değerlerine göre daha yüksek bulunduğu (Barlas vd. 2005) çalışma sonucu ile de uyum göstermektedir.

Sapanca Gölü yüzey sedimentinde en yüksek Cr, Cu, Mn, Ni ve Zn konsantrasyon değerleri yaz mevsiminde, Cd ise sonbaharda tespit edilirken (Duman vd. 2007), bu çalışmada Cr, Ni, Zn konsantrasyonları kasım ayında mayıs ayına göre daha düşük seyretmiştir.

Kır vd. (2007) tarafından Kovada Gölü (Isparta) sedimentinde yapılan ağır metal analizinde Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Al ve Ni'in tüm mevsimlerde belirlendiği, Cd konsantrasyonunun ise Yaz-2005 ve Sonbahar-2005'te ICP-OES analiz limit değerlerinin altında tespit edildiği bildirilmesine karşın, Mogan Gölü'nde tespit edilen Cd konsantrasyonu kasım ayında 0,44 mg/kg'a kadar ulaşmıştır.

Tokat'taki farklı göllerden alınan sediment örneklerinde iz metal seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Mendil ve Uluözlü 2007). Bu amaçla 2003-2004 yılları arasında, bahar ve yaz dönemlerinde Bedirkale, Boztepe, Belpınarı, Avara, Ataköy ve Akın göllerinden toplanan sediment örneklerinde ağır metal konsantrasyon değerleri; Zn: 23,3-38,9 µg/g, Cu: 3,7-8,2 µg/g, Pb: 2,7-7,0 µg/g, Cr: 4,4-10,7 µg/g ve Ni: 37,8- 55,4 µg/g arasında iken, Mogan Gölü'nde minimum ve maksimum olmak üzere bu değerler Zn: 64,85-132,73 µg/g, Cu: 23,91-190,84 µg/g, Pb: 16,45-45.69 µg/g, Cr: 54,43-194,12 µg/g ve Ni: 58,96-91,75 µg/g arasında değişim göstermiştir.

Mogan Gölü sedimenti için belirlenen zenginleşme faktör değerleri dizilimi Cu>Cd>As>Pb>Hg>Cr>Zn>Ni şeklinde olup, Terkos Gölü'nde Kurun vd. (2010) tarafından tespit edilen Zn, Cr, Cd ve Mogan Gölü'nde II. istasyonda Pb metallerinin

yüksek zenginleşme faktörlerine sahip olduğuna ilişkin bulgu ile kısmen paralellik göstermektedir. Mogan Gölü'nde Cu en yüksek zenginleşme faktör değeri (9,58) ile kasım ayı I. istasyonda diğer metaller arasında maksimum düzeyde saptanmıştır.

Aktümsek ve Gezgin (2011) tarafından, Beyşehir Gölü sedimentinde belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel olarak değişim gösterdiği sonucu, Mogan Gölü sedimenti için de ağır metal konsantrasyonlarının aylara bağlı farklılıklar gösterdiği sonucu ile örtüşmektedir. Ancak Mogan Gölü sedimentinde genel ortalama dikkate alındığında en yüksek düzeyde tespit edilen metal konsantrasyonu Cr iken Beyşehir Gölü sedimenti için Cu olduğu bildirilmiştir.

Karaer vd. (2012)'in Uluabat Gölü sedimentinde Cd için en düşük olarak belirttiği 5,0377 mg/kg değeri ise Mogan Gölü sedimentinde bu ağır metal için tespit edilen maksimum değerden bile (0,44 mg/kg) oldukça yüksektir.

Tunca vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, antropojenik ve çevresel faktörlerin etkisinde kalan Yeniçağa Gölü (Bolu) sedimentinde Cd, Cr, Pb için sırayla 0,8 µg/g, 92,8 µg/g, 16 µg/g olarak tespit edilen konsantrasyon değerleri dikkate alındığında, Mogan Gölü sedimentinde Pb değerinin de Mayıs ayı-II. istasyonda belirlenen değer (16,45 µg/g) dışında farklılık göstermektedir.

Bafa Gölü'nden (Batı Anadolu) 2010 yılında alınan kor sediment örneklerinde ortalama ağır metal seviyeleri, Cr ve Ni dışında yer kabuğuna ait ardalardan daha düşük bulunmuştur (Yılğör vd. 2012). Bu sonuç, Mogan Gölü yüzey sedimenti için aynı konuya ilişkin sonuç ile benzerlik göstermese de Mogan Gölü sedimentinde Hg düzeyi, Bafa Gölü sedimentindeki Hg'nın bu göl için son sırada bir tehdit oluşturduğu sonucu ile uyum göstermektedir.

Kaptan ve Özcan (2014) tarafından yapılan bir çalışma ele alınan metallerden en az biriken metalin Cd olduğu bildirilirken, Mogan Gölü sedimentinde Hg'dan sonra en düşük seviyede konsantrasyona sahip ağır metal de Cd olarak tespit edilmiştir.

Kükrer vd. (2014) tarafından, Çıldır Gölü'nde (Ardahan), ortalama değerlere göre, sediment örneklerinde Cu, Pb, Zn, Ni ve Cr açısından zenginleşme olmadığına ve zenginleşme faktörüne göre ise As, Cd, Mn ve Hg şeklinde bir sıralama belirlendiği ve en yüksek faktör değerinin Hg için tespit edildiği araştırma sonuçları ile Mogan Gölü sedimentine ilişkin Cu>Cd>As>Pb>Hg>Cr>Zn>Ni şeklindeki zenginleşme faktör değerleri sıralaması benzerlik göstermemektedir.

Mogan Gölü sedimentinde genel ortalamalar baz alındığında, Hg, Cu, Zn, As, Cd, Pb konsantrasyon değerleri olası etki seviyesinin altında, Cr ve Ni ise üzerinde kalmıştır. Bafa Gölü'nde yüzey sedimentine ilişkin Zn, Pb, Cd ve Cr değerleri, ERL (düşük etki seviyesi) ve ERM (orta etki seviyesi) limitlerinde kaydedilirken, Ni konsantrasyonları ERM sınır değerlerinden daha yüksek bulunmuştur (Aydın-Önen vd. 2015). Bu sonuç, Mogan Gölü'nde orta etki seviyesinden daha yüksek olarak nikelin bulunması sonucu ile örtüşmektedir.

Kükrer (2015) tarafından Çıldır Gölü'nde (Ardahan) sedimentteki Cd ve Hg'nin potansiyel risk faktörüne sahip iki metal olduğu bildirilirken, Mogan Gölü sedimenti için de Cd'un önemli potansiyel ekolojik risk oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca aynı gölde Alkan vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada sedimente ilişkin Ni ve Cr değerlerinin, sediment kalite değerlerini (SQG) aştığı şeklindeki sonuç, Cr; kasım ayı-I. istasyon hariç Mogan Gölü sedimenti için de geçerlidir.

Kovada Gölü dip sedimanlarında Cu, Zn, Ni, Mn ve As değerlerinin ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu belirlendiği dair bulgu da Mogan Gölü sedimenti için tespit edilmiş olup, hesaplanan zenginleşme faktörü değerlerine göre; Kovada Gölü'nde söz konusu elementlerin az veya orta zenginleşme gösterdiği çalışma sonucu (Şener ve Şener 2015), Mogan Gölü sedimentine ilişkin Cr ve Cd'un dışındaki diğer ağır metallerin zenginleşme faktörü değerleri sonucu ile paralellik göstermektedir.

Tarımsal faaliyetlerin tek antropojenik kaynak olduğu Seyfe Gölü sediment örnekleri As bazında jeoakümülyasyon indeksine göre orta seviyede kirli olarak sınıflandırılırken

(Bölükbaşı ve Akın 2016), Mogan Gölü sedimentinde As değerleri mayıs ayı I. İstasyonda maksimuma ulaşmış (1,71) ve orta düzeyde bir kirlenme göstermiştir.

Mogan Gölü sedimentinde Pb ve Cu dışındaki metallerin Igeo verileri göl sedimentinin kirlenmemiş veya orta düzeyde kirlenmiş olduğuna işaret etmektedir. Uluabat Gölü'nde (Bursa), jeoakümülyasyon indeksine (Igeo) göre göl sedimenti orta- seviyede kirlenmiştir (Hacısalihoglu ve Karaer 2016).

Kükürer (2016) tarafından, Tortum Gölü yüzey sedimentinde düşük-orta düzeyli kontaminasyon belirlenmiş, en yüksek EF değerinin bölgede kullanılan fosil yakıt kullanımı nedeniyle Cd olduğu, PLI ve PER değerleri ise gölde ağır metallere bağlı düşük ekolojik riske, mPEC-Q değerleri de %15-29 risk ile düşük-orta öncelikli sahip alanı göstermektedir. Mogan Gölü sedimentinde ise en yüksek EF değeri Cu olup, PER değerleri (196,86- 266,31) orta düzeyli ekolojik riske sahip olduğunu, mPEC-Q değerleri de göl sedimentinin metallerin kombine biyolojik etkileri açısından kısmen etkilenmiş olabileceğini ortaya koymuştur.

Beyşehir Gölü'nde (Konya) sedimentteki As'nin canlılar üzerindeki potansiyel toksik etkisinin ciddi seviyede olduğu ortaya konmuştur (Tunca 2016). Mogan Gölü'nde ise As biyolojik açıdan olumsuz etkisi olduğu belirlenen ağır metallere biridir.

Mogan Gölü sedimentinde Hg en düşük seviyede belirlenen ağır metal iken, Işıklı Gölü'nde yapılan çalışma kapsamında, sedimentte Cd'un en düşük seviyede belirlenen metal olduğu (Gülcü-Gür ve Tekin-Özan 2017) bildirilmiştir.

Kükürer (2017) tarafından, Aktaş Gölü için sedimentte minimum kontaminasyon Hg için tespit edilirken, kirlenme yükü, PER ve toksik risk indeksleri açısından ekolojik risk tespit edilmemiştir. Oysa Mogan Gölü sedimentinde yalnız kasım ayı I. istasyonda Hg konsantrasyonu düşük kirlilik seviyesinde bulunmuş, PER açısından da orta düzeyli ekolojik risk belirlenmiştir.

Özşeker ve Eruz (2017) tarafından Güneydoğu Karadeniz'den kaynaklandığı bildirilen Sera Gölü, Uzungöl ve Borçka Baraj Gölü'nde, en yüksek metal konsantrasyonlarının sonbaharda olduğu sonucu, Mogan Gölü sedimentinde ele alınan tüm ağır metaller için geçerli gözükmemektedir.

Mogan Gölü sedimentinde en fazla birikim yapan ağır metalin genel ortalamalar açısından, Cr olduğu bunu izleyen metallerin Cu ve Zn olduğu saptanırken, Aygır Gölü (Kars) yüzey sedimentinde en fazla birikim yapan ağır metal Zn olmuş bunu sırasıyla, Cr, Pb ve Cd izlemiştir (Kükürer 2018). Aygır Gölü sedimentinde Cd orta-düzeyde potansiyel ekolojik riske, Mogan Gölü sedimentinde ise yine Cd önemli potansiyel ekolojik riske işaret etmektedir.

Bafa Gölü yüzey sedimentinde kalite sınır değerleri açısından Cr, Cu ve Ni sucul ekosistemi tehdit ederken (Algül ve Beyhan 2020), Mogan Gölü sedimentinde TEL ve PEL değerini aşan ortak ağır metaller de Cr ve Ni olarak saptanmıştır.

Mogan Gölü'nde Benzer vd. (2013) tarafından yürütülen çalışma kapsamında, sedimentteki metal konsantrasyonları; Cr: 22,19 – 41,31 µg/Lg; Cu: 9,91 – 30,19 µg/Lg; Pb: 0,46–1,78 µg/Lg; Zn: 11,27–18,01 µg/Lg olarak belirlenmiş olup, bu ağır metal seviyelerinin olası etki seviyesini (PEL) aşmadığını bildirmişlerdir. Oysaki bu çalışmada sedimentte dikkate alınan ve aynı olan ağır metallerin hepsinin konsantrasyonu daha yüksek tespit edilmiş olup Cr ve Ni, PEL değerini de aşmıştır.

Topçu ve Kaya (2017), Mogan Gölü'nde ortalama metal konsantrasyonlarını azalan sırayla Ca>Zn>Al>Cu>Fe>K>Na>Mg>Mn şeklinde belirlemiş oldukları bulgular bu çalışmaya ilişkin veriler ile benzerlik göstermemektedir. Ayrıca araştırmacılar, TEL/PEL ve SQGs değerleri açısından farklı kaynaklar baz alındığında Cu ve Zn konsantrasyon verileri, Avarage Continental Crust, Avarage Shale, SQGs (Düşük-Yüksek) değerlerine göre düşük bulduklarını belirtmişlerse de bu sonuçlar da elde ettiğimiz sonuçlar ile uyum göstermemektedir. Bunun yanı sıra çalışmamız kapsamında sedimentte tespit edilen Cu ve Zn için jeoakümülyasyon indeksi ve zenginleşme faktörü değerleri de Topçu ve Kaya (2017)'nin bulgularından daha yüksek bulunmuştur.

Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından Mogan Gölü'nde belirlenen 5 istasyondan elde edilen yüksek ağır metal seviyelerinin, istasyonlara göre farklılık gösterdiği ve en kirli istasyonunun, restoran ve çay bahçelerinden gelen atıkların boşaltıldığı alana, nispeten düşük kirlenme düzeylerinin ise, Çölova ve Sukesen Dere'lerinin göle döküldüğü lokasyonlarda tespit edildiği bildirilmiştir. Sözü edilen her iki istasyonunun konumu, doğal olarak bu çalışmada seçilen istasyonların konumları ile birebir örtüşmediğinden ağır metallerin konsantrasyonları açısından herhangi bir değerlendirmeye gidilememiştir. Bu bağlamda, yüzey sedimentlerinde ağır metal konsantrasyon dizilimi Fe>Zn>Cu>Ni>Se>Pb>Cr>As>Al>Cd>Hg şeklinde iken, bu çalışmada Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg olarak saptanmıştır.

5.2 Mogan Gölü'nde Sediment Tarama Ertesi Sedimentin Ağır Metal ve Kalite Parametreleri Açısından Kirlenme Durumunun Değerlendirilmesi

Gölbaşı Belediyesi'nden Tarım ve Orman Bakanlığı aracılığı ile edinilen bilgilere göre; Mogan Gölü dip çamurunun temizliği için 15 Temmuz 2016 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı arasında bir protokol yapılmış, susuzlaştırma ünitesinin kurulumu ve faaliyete geçmesini takiben fiilen göl tabanından çamur çekilmesine 20 Temmuz 2017'de başlanılmıştır. Projenin seyri sırasında 2018 yılı içinde temizlik işleminin toplam kapasitesinin belirlenmesi amaçlı yapılan araştırma ve çalışma kapsamında Mogan Gölü'nün tamamında (taranan alanlar dahil) 72 adet sondaj yapılarak yüzeyden 50 cm ve 100 cm derinliklerden numuneler alınmıştır. 2018 Kasım ayı sonunda toplamda 3.100 000 m³ çamur çekilerek, işlemin sonlandırıldığı bildirilmiştir (Gölbaşı Belediyesi).

Mogan Gölü'nde sediment tarama öncesi yıllara ilişkin sedimentin besin elementleri ve sedimentten fosfor salınımı odaklı çalışmalar; Temmuz 2004-Temmuz 2005 döneminde aylık olarak (Topçu ve Pulatsü 2008) Eylül 2005-Ağustos 2006 döneminde yine aylık olarak (Pulatsü vd. 2008, Pulatsü ve Topçu 2009) ve 2015 yılında Nisan, Temmuz, Ekim ve 2016 yılında Ocak ayında mevsimlik olarak gerçekleştirilmiştir. Sedimentin ağır metal seviyesine ilişkin araştırmalar ise oldukça sınırlı sayıda kalmıştır.

Sözü edilen çalışmalarda, su sıcaklığı değerlerinin $5,28^{\circ}\text{C}$ ve $29,92^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği bildirilmiştir. Topçu ve Pulatsü (2008) tarafından, Eylül 2005-Ağustos 2006 döneminde aylık olarak yürütülen çalışma kapsamında yer alan ve bu çalışmada da örnek alınan ortak aylar dikkate alındığında, mayıs ve kasım aylarında sediment üstü su sıcaklığı değerleri sırasıyla: $22,33\pm 0,06^{\circ}\text{C}$ ve $7,75\pm 0,14^{\circ}\text{C}$; sediment üstü çözülmüş oksijen değerleri sırasıyla: $7,58\pm 0,05$ mg/L ve $8,08\pm 0,05$ mg/L; sediment üstü pH değerleri ise sırasıyla: $8,12\pm 0,05$ ve $9,43\pm 0,00$ arasında değişmiştir. Bu çalışmada ise, mayıs ayı su sıcaklığı ölçümü $19,43-20,05^{\circ}\text{C}$ olup benzerlik gösterirken, kasım ayında $12,10^{\circ}\text{C}$ olan ölçüm değeri daha yüksek saptanmıştır. Ancak bu çalışmada belirlenen sediment üstü çözülmüş oksijen değerleri mayıs ayı için $1,61\pm 0,01$ mg/L ve $6,12\pm 0,01$ mg/L; kasım ayı için $1,28\pm 0,01$ mg/L ve $5,63\pm 0,04$ mg/L arasında değişim göstererek sediment tarama öncesi dönemdeki aynı aylara ait değerlerden oldukça düşük seyretmiştir. Bu durumu ise diğer fiziki ve kimyasal göl içi unsurları (hidroloji, derinlik, istasyonların konumu, parametre ölçüm saati) göz ardı ederek yalnız sediment tarama faaliyeti ile açıklamak yeterli olmayacaktır.

Sediment tarama faaliyetinden yine de en az etkilenen parametre pH olarak gözükmemektedir; bu çalışma için de değişim aralığı $7,01-7,97$ olarak tespit edilmiştir. Zhang vd. (2010) tarafından, sığ-ötrofik bir gölde gerçekleştirilen sediment tarama ertesi, çözülmüş oksijen, pH ve sıcaklık değerlerinde etkilerinin önemsiz seviyede olduğu belirtilmiştir.

Mogan Gölü'nde Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından Temmuz 2017-Mayıs 2018 döneminde aylık olarak yürütülen çalışma ise göldeki sediment tarama faaliyeti boyunca devam etmiştir. Sözü edilen çalışmada Kasım 2017 ve Mayıs 2018 için belirlenen beş istasyona ait ortalama değerler sırasıyla; su sıcaklığı: $13,5-12,8^{\circ}\text{C}$; çözülmüş oksijen: $9,4-8,8$ mg/L; pH: $8,8-8,9$ arasında değişmiştir. Bu çalışmada elde edilen yüzey suyu ölçüm değerleri (su sıcaklığı: $11,95-20,90^{\circ}\text{C}$; çözülmüş oksijen: $1,41-6,21$ mg/L; pH: $7,02-7,97$) olup, su sıcaklığı değeri dışında daha yüksek tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Mogan Gölü sedimentine ilişkin As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn konsantrasyon değerleri; sediment tarama öncesi dönemde gerçekleştirilen Yavuz ve Filazi (1995), Olgun

ve Kocaemre (2011), Benzer vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda bildirilen aynı metallere ait sonuçlarından daha yüksek bulunurken, Hg konsantrasyon seviyeleri Olgun ve Kocaemre (2011)'ye ait bulgulardan daha düşük seviyede belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sediment Cu ve Zn konsantrasyon değerleri de, Topçu ve Pulatsü (2017)'in çalışmasında bildirilen sediment Cu (34,75-75,50 µg/gKA) ve Zn (20,50-36,50 µg/gKA) konsantrasyon değerlerinden daha yüksektir. Mogan Gölü'nde sediment tarama faaliyetlerinin devam ettiği süreçte, Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından yürütülmüş çalışmada As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn konsantrasyon değerleri; bu çalışmada elde edilen verilerden (Hg hariç) daha düşük değerlerde bulunmuştur.

Mogan Gölü'nde yürütülen ve yukarıda belirtilen gerek sediment tarama öncesi ile tarama esnasında yapılan gerekse bu çalışma kapsamında elde edilen sedimentteki ağır metallere ilişkin sonuçlar, sedimentin uzaklaştırılması girişiminin genel olarak sedimentteki ağır metal konsantrasyonunu artırdığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Mogan Gölü'nde sedimenti tarama girişiminin sedimentin ağır metallere kirlenmesi açısından olumlu bir etkisi olduğunu söylemek olası gözükmemektedir. Bu sonuç ise, Wang ve Feng (2007) tarafından South Gölü'nde (Çin), sediment tarama sonrası, sedimentte Hg (%97,0), Zn (%93,1), As (%82,6), Pb (%63,9), Cd (%52,7), Cu (%50,1), Cr (%32,0) ve Ni (%23,6) için indirgenme belirledikleri başka bir deyişle, sediment tarama uygulamasının göl için ağır metal kontaminasyonunun azaltılmasında etkili olduğunu bildirdikleri çalışma sonuçları ile örtüşmemektedir.

Liu vd. (2015), Chaohu Gölü (Çin) sedimentinde ağır metallere Hg ve Cd'un kirlenme seviyelerinin sırasıyla 20 ve 25 cm derinliklerde oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise yalnız yüzey sedimenti örneklerine odaklanılmış, ağır metal düzeylerinin derinliğe bağlı değişimi dikkate alınmamıştır.

Mogan Gölü'nde Topçu ve Kaya (2017) tarafından yapılan çalışmada bildirilen sedimentte Cu ve Zn'nun zenginleşme faktörüne ilişkin bulgular, bu çalışmada elde edilen Cu ve Zn'nun zenginleşme faktörü değerlerinden önemli düzeyde düşüktür.

Fan vd. (2019) tarafından, Shitang Gölü (Çin)'nde jeoakümülyasyon indeksi (Igeo) ve potansiyel risk indeksi (RI) kullanılarak gölde öncelikli sediment tarama alanları belirlenmiştir. Bu çalışmada hesaplanan jeoakümülyasyon indeks değerine göre; I. istasyonda mayıs ve kasım aylarında Cu, II. istasyonda ise yine mayıs ayında As açısından sedimentin orta düzeyde kirlenmiş olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda çalışılan ay ve istasyonların sediment tarama girişimi açısından sözü edilen ağır metaller için uygun konum ve aylar olduğunu söylemek olası olsa da bu sonucu alanı küçük olan Mogan Gölü için söylemek ne yazık ki uygun bir yaklaşım olarak gözükmemektedir. Ancak gölde aylık ve daha çok sayıda yapılacak sediment örneklemleri ile ağır metallere göre öncelikli tarama alanları belirlenebilecektir. Mogan Gölü'nde istasyonların konumu farklı olsa da sediment tarama öncesi döneme ait jeoakümülyasyon indeksi verileri dikkate alındığında, Cu ve Zn açısından sedimentin kirlenmemiş düzeyde hatta negatif değerlere sahip olduğu bildirilmiştir (Topçu ve Kaya 2017). Bu bağlamda mevcut çalışma bulgularının, sediment tarama alanlarının belirlenmesine en azından ilk bilimsel veriler olarak ışık tutacağı düşünülmektedir.

Son yıllarda, farklı ve ileri teknikler ile sediment tarama etkinliği araştırılmaktadır. Örneğin, Chen vd. (2019), ötrofik Taihu Gölü'nde (Çin) sediment taraması uygulanmamış ve tarama uygulanmış sedimentlerde, çözülmüş metaller ve DGT-kararsız metaller, ince film difuzif gradyanlar tekniği ve yüksek çözünürlüklü ayırma tekniği kullanmışlardır; sediment taramanın nisan ve temmuz ölçümlerine göre, kirlenmiş sedimentlerin iyileştirilmesinde faydalı olduğunu, ekim ve ocak aylarında ise sediment tarama ertesi zona ilişkin sedimentlerde alglerin dekompozisyonu ile taramanın etkinliğinin azaldığını bildirmişlerdir. Bu ve benzeri teknikler, sediment tarama girişimlerinin daha etkin kullanılabilirliğine ve uygulanabilirliğine zemin hazırlayan unsurlar olduğundan, Mogan Gölü'nde de sözü edilen yeni tekniklerin kullanım olanağının araştırılmasının, gerek maliyet gerekse zaman açısından önemli bir kazanım olacağı düşünülmektedir.

Van Den Berg vd. (2001) tarafından arazi koşullarında gerçekleştirilen deneysel çalışma kapsamında, sediment tarama girişimleri esnasında resüspansiyon ile askıda katı maddedeki ağır metal (Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn) seviyelerinde artış olduğu ancak su

kolonundaki metal konsantrasyonlarının bu girişimden önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir. Mogan Gölü'nde Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından göldeki sediment tarama faaliyetinin devam ettiği Temmuz 2017-Mayıs 2018 döneminde ağır metal konsantrasyonlarının suda Fe>Cu>Cr>Zn>Pb>Ni>As>Se>Hg şeklinde bir dizilim gösterdiği bildirilmiştir. Bu çalışmada ise sediment üstü su için ağır metal konsantrasyonları Zn>As>Cu>Ni>Pb olarak sıralanmış; Hg<0,04 µ/L, Cr<0,1 µ/L ve Cd<0,01 µ/L belirlenmiştir. Sediment tarama girişiminin son üç ağır metalin bulunabilirliğini etkileme olasılığı yüksek gözükmektedir.

Bu çalışma kapsamında Mogan Gölü sedimentine ilişkin organik madde seviyeleri (%4,56-%17,05), aynı göl için Pulatsü vd. (2008) tarafından belirtilen verilere (%3,30-%5,42) göre daha yüksek tespit edilmiştir. Araştırma dönemlerinin farklılığı dikkate alındığında, güncel organik madde düzeyleri bir miktar zenginleşmeye işaret etmektedir. Sedimentteki organik madde seviyesinde tespit edilen yaklaşık üç katlık bir artış, göldeki sediment tarama faaliyetinin sedimentin organik madde düzeyi üzerinde de önemli ölçüde olumlu bir etkisi olmadığını desteklemektedir. Peng vd. (2009) ise, pH ve organik madde sedimentteki metallerin dağılımını doğrudan, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ise esasen pH'yı veya metal sülfidlerin oksidasyonunu etkileyerek dolaylı olarak metal dağılımını değiştirdiğini belirtmiştir.

Mogan Gölü'nde yürütülen bu çalışmada sedimentin TOC konsantrasyonu I. istasyonda oldukça düşük seviyelerde seyrederken, II. istasyonda kasım ayında maksimum olan 63000 µg/g KA değerine ulaşmıştır. Belirlenen maksimum değer bile Topçu ve Pulatsü (2017)'nin aynı göl sedimenti için belirttikleri maksimum seviyeden (79675,0 µg/g KA) daha düşük olması, bu parametre bakımından sediment tarama girişiminin belirli düzeyde de olsa indirgenme yönünde etki ettiği şeklinde yorumlanabilir.

Yılğör vd. (2010) tarafından, Bafa Gölü (Batı Anadolu) dip sediment örneklerinde %0,35 ve %3,58 arasında değişim gösterdiği bildirilen toplam organik karbon konsantrasyonları, Mogan Gölü yüzey sediment örneklerinde daha yüksek düzeylerde (%0,88-%6,30) değişim göstermiş, toplam inorganik karbon konsantrasyonunun derinliğe bağlı değişimi bu çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır.

Topçu ve Pulatsü (2017), Mogan Gölü sedimenti için TA değişim aralığını 3250,0 µg/g KA- 6325,0 µg/g KA olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise, I. istasyonda düşük seviyelerde kasım ayında belirlenen TA değeri, mayıs ayında II. istasyonda 6900 µg/g KA değerine ulaşarak daha yüksek bulunmuştur. Dolayısı ile kasım ayı-I. istasyon hariç olmak üzere bu çalışmada belirlenen sediment toplam azot değerleri, Mogan Gölü'nde Nisan 2015-Ocak 2016'da mevsimlik olarak alınan sediment örneklerindeki toplam azot değerlerinden (Topçu ve Pulatsü 2017) daha yüksek seviyelerde seyretmiştir. Bu durum Wang ve Feng (2007)'nin bulgularını destekleyerek, toplam azot değeri üzerinde tarama girişiminin etkin olmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Mogan Gölü sedimentinde TF konsantrasyonu baz alındığında Topçu ve Pulatsü (2008, 2017) tarafından bildirilen konsantrasyon değişim aralığı sırasıyla 286,0 µg/g KA- 892,250 µg/g KA ve 620,0 µg/g KA- 1047,50 µg/g KA iken bu çalışmada; 700-3200 µg/g KA arasında değişim göstermiştir. Bu sonuç ise, Wang ve Feng (2007) tarafından South Gölü'nde (Çin), sediment tarama ertesi, toplam fosfor değerlerinin azaltılmasında etkili olduğunu bildirdiği çalışma sonuçları ile örtüşmemektedir.

Ağır metal kirlenmesi göl ve nehirlerin normal fonksiyonlarına zarar veren geniş çaplı bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Zira sedimentler ağır metallerin en önemli rezervleri olarak metallerin transformasyonlarında oldukça önemli rol oynamaktadırlar. Bu bağlamda sedimentin ortamdaki uzaklaştırılması işlemi yapılan göl ve nehirlerde sedimentten metal salınımının azaltılması için sedimentin oksidasyonundan kaçınılması gerektiği bildirilmiştir. (Peng vd. 2006). Van den Berg vd. (2001) ise, sucul ekosistemlerde ağır metallerin hareketliliği, fiziksel taşınım (adveksiyon, karışım, difüzyon gibi), biyolojik (biyotürbasyon vb), jeokimyasal proseslere (adsorpsiyon/desorpsiyon ve çökme/çözünme), canlılar için biyolojik olarak kullanılabilir hali ise genellikle katı faz şeklinde tekrar çökme ve tutulumlarına dayandığını belirtmiştir. Araştırmacıya göre, sedimentin tarama girişimi, hem partiküler hem de gözenek suyundaki kirlenmelerin dağılımı ile sonuçlanabilmekte, söz konusu girişim ağır metallerin hareketliliğini artırarak özellikle taranan kısım ile askıda katı maddenin karışımı, organik madde ve Mn değerlerinde düşmeye, askıda katı maddedeki ağır metallerin miktarında artışa neden olmaktadır.

Bu çalışmada da Mogan Gölü'nde sediment tarama ertesi, sedimentte dikkate alınan ağır metal konsantrasyonlarındaki artışlar nedeniyle, tarama faaliyetinin ağır metallerin dağılımını ve düzeyini tetiklediği düşünülmektedir.

Fan vd. (2019), esas olarak yüzeyde depolanan sedimentin ağır metallerle birebir ilişkili olduğunu; killerin geniş bir yüzey alanına ve gözenek hacmine sahip olduğundan yüzey sedimentinde ağır metallerin daha yüksek konsantrasyonlarda bulunma nedenlerinden birinin de kilin ağır metalleri daha fazla adsorpsiyonundan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise istasyonlar ve aylar baz alındığında sedimentin kil yüzdesi (%54,86-87,13), silt yüzdesinden (%12,86-45,13) daha yüksek bulunmuştur. Sedimentin kil ağırlıklı yapısının, ağır metallerin sedimentte, sediment gözenek suyu veya sediment üstü suya göre daha yüksek bulunmasında (tutulumunda) önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Ji vd. (2018) tarafından ise kontaminasyon derecesinin genellikle iri taneciklerden ince taneciklere doğru arttığı ve partikül büyüklüğünün sedimente bağlanan ağır metallerin konsantrasyonunu belirlemek için gerekli olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılara göre, sucul ekosistemlerde mevcut kontaminasyon düzeyini belirlemek için ince parçacıklardaki ağır metalleri belirlemek uygun olacaktır. Ji vd. (2018), kömür madeni arazisindeki Yongding Nehri'nde (Çin) ağır metal konsantrasyonlarını sediment üstü su<sediment gözenek suyu<sediment olarak tespit etmişlerdir. Bu sonuç Mogan Gölü ile benzerlik göstermekte ve sediment gözenek suyundaki ağır metal konsantrasyonları sediment üstü suya ilişkin ağır metal değerlerinden daha yüksek olup, ağır metaller ağırlıklı olarak sedimentte bulunmaktadır.

Manap ve Voulvoulis (2015), sediment tarama ertesi su ve sedimentte inorganik madde miktarında artış olduğunu, bunun olası nedeninin ise tarama faaliyetinden dolayı kirleticilerin suya dağılımının ardından önceden dağılan kirleticilerin de sedimentte biriktiği yönünde görüş bildirmişlerdir. Mogan Gölü'nde sediment tarama girişimi ertesi sedimentteki bazı ağır metal konsantrasyonlarında belirlenen artışları da yukarıda belirtilen görüş doğrultusunda açıklamak olası gözükmektedir.

Sonuç olarak;

- Mogan Gölü'nde gerçekleştirilen sedimentin uzaklaştırılması girişimini; gerek sediment tarama öncesi ile tarama esnasında gerekse bu çalışma kapsamında elde edilen sedimentteki ağır metal konsantrasyonu düzeylerine bakarak, etkin bir girişim olarak değerlendirmek olası gözükmemektedir. Aksine sediment tarama faaliyetinin bazı ağır metallerin konsantrasyonlarında artışa yol açtığı da tespit edilmiştir.
- Cr, Ni ve As, ay-istasyonlara göre olası etki değerini (PEL) aşmış olup, göl sedimenti Cr, Ni, Cu ve As açısından çok kirli sınıfa girmektedir.
- Tüm metaller içerisinde As gerek ekolojik gerekse biyolojik açıdan tehdit edici unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Göl havzasındaki endüstriyel faaliyetler ve madencilik işlemlerinin bu durumdaki payı açıktır.
- Mogan Gölü'nde sediment üstü su ve sediment gözenek suyu ağır metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında, sediment gözenek suyunda daha yüksek değerlerde belirlenmesi, ağır metallerin sedimentte tutulumuna işaret etmektedir. Sediment gözenek suyunda ele alınan ve diğer metallere göre daha yüksek düzeyde saptanan Zn-As toksisitesinin uzun dönemde bir risk oluşturması olasıdır.
- Sedimentteki organik madde, toplam azot ve toplam fosfor düzeyleri de ağır metal sonuçlarına paralel olarak tarama girişiminin etkin olmadığını desteklemektedir. Ötrofikasyonu tetikleyen ve sedimentte biriken besin elementlerinin, pH, redoks potansiyeli, sıcaklık ve organik madde gibi bazı unsurlardaki değişikliklere bağlı olarak göl suyuna salınabileceği riski söz konusudur.
- Mogan Gölü'nde sediment ve sediment gözenek suyunda belirlenen ağır metal konsantrasyonları, göl havzasına ilişkin kirletici kaynakları yansıtmaktadır. Antropojenik kirleticilerin yanısıra, Mogan Gölü çevresinde Triyas'tan (200-250 milyon yıl) itibaren güncel birimlere kadar farklı jeolojik yaş dönemlerine ait oldukça farklı kayaç topluluklarının mevcut olmasının da (Akyürek vd. 1997) göl suyu ve sedimente metalik element katkısı olabileceği göz ardı edilmemelidir.

Bulgular ışığında Mogan Gölü'ne yönelik öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Mogan Gölü örneğinde olduğu gibi sedimentler, ağır metallerin sediment-biyotada birikimleri ve metallerin transformasyonlarında oynadıkları rol nedeniyle önem taşımaktadır. Bu bağlamda, ağır metal kirlenme riskinin olduğu sucul sistemlerde ilgili kurumlar ve yerel yönetimlerce sediment odaklı izleme çalışmaları yürütülmelidir.
- Gölde sedimentin uzaklaştırılması girişimi süregeldiği üzere zaman zaman tekrarlanacaksa; tarama uygulamalarının maliyeti, çevresel etkileri, süreci vb. unsurlar gözönüne alınarak tarama alanlarının önceliklendirilmesi, tarama derinliği ve tekniği gibi konular da göz önüne alınmalıdır. Gölde sediment tarama girişimlerinin daha etkin kullanılabilirliğine ve uygulanabilirliğine zemin hazırlayan en önemli unsur olarak ise sediment tarama derinliği ön plana çıkmaktadır.
- Göl havzasındaki antropojenik kirleticiler devam ettikçe, gölün sürdürülebilir kullanımı açısından tespit edilen gerekçelerden dolayı sedimentteki bazı ağır metallerin düzeyleri özellikle rutin olarak izlenmelidir;
- Maksimum zenginleşme faktörü, kontaminasyon (kirlilik) faktörüne sahip Cu, As, Cd ile maksimum jeoakümülyasyon indeksine sahip Pb,
- Biyolojik açıdan olumsuz etkisi en fazla olduğu belirlenen As, Ni, Cr.
- Sedimentten ağır metallerin salınımını değerlendirebilmek ve uygun sediment tarama stratejileri önerebilmek için analitik kimya ve eko-toksikolojik testler paralel olarak gerçekleştirilmelidir.
- Ötrofikasyonu karakterize eden sediment besin elementi düzeylerinin de rutin olarak izlenmesi uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aktümsek, A. and Gezin, S. 2011. Seasonal variations of metal concentrations in muscle tissue of tench (*Tinca tinca*), water and sediment in Beyşehir Lake (Turkey). *Environmental Technology*, 32(13), 1479-1485.
- Akyürek, B. Duru, M. Sütçü, Y. Papak, İ. Şaroğlu, F. Pehlivan, N. Gönenç, O. Granit, S. ve Yaşar, T. 1997. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları F-15. MTA Yayınları.
- Alemdaroğlu, T. Onur, E. Erkakan, F. 2003. trace metal levels in surficial sediments of Lake Manyas. *Turkey and Tributary Rivers*, 60, 287-298.
- Algül, F. and Beyhan, M. 2020. Concentrations and sources of heavy metals in shallow sediments in Lake Bafa, Turkey. *Scientific Reports*, 10(11782).
- Alkan, A. Gökçek, Ç. Akbaş, U. Alkan, N. 2016. spatial distributions of heavy metals in the water and sediments of Lake Çıldır, Turkey. *Ekoloji*, 25(98), 9-16.
- Altındağ, A. and Yiğit, S. 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of Lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60(2005), 552-556.
- Andrade, L.C. Tiecher, T. Oliveira, J. S. Andrezza, R. Inda, A. V. Oliveira Camargo, F. 2018. Sediment pollution in margins of the Lake Guaíba, Southern Brazil. *Environ Monit Assess*, 190(3), 1-13.
- Anonim. 2002. A Guidance Manual to Support the Assessment of Contaminated Sediments in Freshwater Ecosystems. Volume III. Interpretation of the Results of Sediment Quality Investigations. EPA-905-B02-001-C, USA.
- Anonim. 2014. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık Cuma tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. 2016. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı, 2016-2018, 27-30 s., Ankara.
- Anonim. 2016. Web Sitesi: <https://www.sabah.com.tr/ankara-baskent/2016/01/03/mogan-golunde-mutlu-son>. Erişim Tarihi: 15.01.2020.
- Arslan, N. Koç, B. Çiçek, A. 2010. Metal contents in water, sediment, and oligochaeta-chironomidae of Lake Uluabat a Ramsar site of Turkey. *The Scientific World Journal*, 10, 1269-1281.
- Atıcı, T. Obalı, O. Altındağ, A. Ahıska, S. Aydın, D. 2010. The accumulation of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) and their state in phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Beyşehir Lake and Mogan Lake, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9(4), 475-487.

- Aydın-Önen, S. Küçüksezgin, F. Koçak, F. Açık, S. 2015. Assessment of heavy metal contamination in hediste diversicolor (o.f. Müller, 1776), *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern Aegean). *Environ Sci Pollut Res*, 22, 8702-8718.
- Bai, J. Cui, B. Chen, B. Zhang, K. Deng, W. Haifeng, G. Xiao, R. 2011. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling*, 222, 301-306.
- Baralkiewicz, D. Gramowska, H. Kanecka, A. Krzyzaniak, I. Goldyn, R. 2008. Spatial distribution of major and trace elements in the water of Swarzędzkie Lake (Poland). *Environ Monit Assess*, 143, 327-336.
- Barlas, N. Akbulut, N. Aydoğan, M. 2005. Assessment of heavy metal residues in the sediment and water samples of Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Contamination and Toxicology*, 74, 286-293.
- Begum, A. HariKrishna, S. Khan, I. 2009. Analysis of heavy metals in water, sediments and fish samples of Madivala Lakes of Bangalore, Karnataka. *International Journal of ChemTech Research*, 1(2), 245-249.
- Benzer, S. Arslan, H. Uzal, N. Gül, A. ve Yılmaz, M. 2013. Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* L., 1758 from Mogan Lake (Turkey). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(1), 45-55.
- Boşgelmez, A. Boşgelmez, İ. İ. Savcı, A. E. Aldemir, A. Gürpınar, E. Mutlu, B. Topaloğlu, S. Ege, M. Çiçek, N. 2005. Ankara-Gölbaşı and *Centaurea tchihatcheffii*-*Centaurea tchihatcheffii*, Ankara-Gölbaşı Sevgi Çiçeği, Ankara, 131-178.
- Bölükbaşı, V. and Salman Akın, B. 2016. Agriculturally induced heavy metal accumulation in seyfe lake, turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*, 96, 401-407.
- Chen, M. Ding, S. Gao, S. Fu, Z. Tang, W. Wu, Y. Gong, M. Wang, D. Wang, Y. 2019. Efficacy of dredging engineering as a means to remove heavy metals from lake sediments. *Science of the Total Environment*, 665, 181-190.
- Cheng, H. Li, M. Zhao, C. Yang, K. Li, K. Peng, M. Yang, Z. Liu, F. Liu, Y. Bai, R. Cui, Y. Huang, Z. Li, L. Liao, Q. Luo, J. Jia, S. Pang, X. Yang, J. Yin, G. 2015. Concentrations of toxic metals and ecological risk assessment for sediments of major freshwater lakes in China. *Journal of Geochemical Exploration*, 157, 15-26.

- Çolak, E. 2021. Mann-Whitney U ve Wilcoxon T testleri.
https://eczacilik.anadolu.edu.tr/bolumSayfalari/belgeler/ecz2014%2010_20140512122216.pdf. Erişim tarihi: 6.06.2021.
- De Jonge, M. Teuchies, J. Meire, P. Blust, R. Bervoets, L. 2012. The impact of increased oxygen conditions on metal-contaminated sediments part I: Effects on redox status, sediment geochemistry and metal bioavailability. *Water Research*, 46(7), 2205-2214.
- Douvere, F. and Ehler, C. N. 2009. New perspectives on sea use management: Initial findings from European experience with marine spatial planning. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 77-88.
- Duman, F. Aksoy, A. Demirezen, D. 2007. Seasonal variability of heavy metals in surface sediment of Lake Sapanca, Turkey. *Environ Monit Assess*, 133, 277-283.
- Elmacı, A. Teksoy, A. Topaç, F.O. Özengin, N. Kurtoğlu, S. Başkaya, H. S. 2007. Assessment of heavy metals in Lake Uluabat, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 6(19), 2236-2244.
- Enell, M. and Löfgren, S. 1988. Phosphorus in interstitial water; methods and dynamics. *Hydrobiologia*, 170, 103-132.
- Erentürk, S. Yusan, S. Alkım Türközü, D. Camtakan, Z. Kirami Olgen, M. Aslani, M. A. A. Aytas, Ş. Işık, M. A. 2014. Spatial distribution and risk assessment of radioactivity and heavy metal levels of sediment, surface water and fish samples from Lake Van, Turkey. *J Radioanal Nucl Chem*, 300, 919-931.
- Fan, Z. Wang, W. Tang, C. Li, Y. Wang, Z. Lin, S. Zeng, F. 2019. Targeting remediation dredging by ecological risk assessment of heavy metals in lake sediment: a case study of Shitang Lake, China. *Sustainability*, 11, 1-10.
- Ghaleno, O. R. Sayadi, M.H. Rezaei, M. R. 2015. Potential ecological risk assessment of heavy metals in sediments of water reservoir case study: Chah Nimeh of Sistan. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 5(4), 89-96.
- Guo, W. Liu, X. Liu, Z. and Li, G. 2010. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiang Harbor, Tianji. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 729-736.
- Gülcü-Gür, B. and Tekin-Özan, S. 2017. The investigation of heavy metal levels in water and sediment from Işıklı Lake (Turkey) in relation to seasons and physico-chemical parameters. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 3(2), 87-96.

- Hacısalıhoğlu, S. and Karaer, F. 2016. Relationships of heavy metals in water and surface sediment with different chemical fractions in Lake Uluabat, Turkey. *Pol. J. Environ. Stud*, 25(5), 1937-1946.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control-A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001.
- Honglei, L. Liqing, L. Chengqing, Y. Baoqing, S. 2008. Fraction distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Moshui Lake. *Journal of Environmental Sciences*, 20(4), 390-397.
- Hou, D. He, J. Lü, C. Ren L. Fan, Q. Wang, J. Xie, Z. 2013. Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn Cd) in water and sediments from Lake Dalinouer, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 135-144.
- Hu, B. Li, G. Li, J. Bi, J. Zhao, J. and Bu, R. 2013. Spatial distribution and ecotoxicological risk assessment of heavy metals in surface sediments of the southern Bohai Bay. China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 4099-4110.
- Ikem, A. Egiebor, O. Nyavor, K. 2003. Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern Usa. *Water Air and Soil Pollution*, 149, 51-75.
- Kaçar, B. 1995. Bitki Ve Toprağın Kimyasal Analizleri. Toprak analizleri Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı yayınları, 3, 705 s.
- Kaçar, B. ve İnal, A. 2008. Bitki Analizleri. Ankara Nobel yayın dağıtım, 978(605), 395-036-3.
- Kaptan, H. ve Tekin-Özan, S. 2014. Eğirdir Gölü'nün (Isparta) suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan sazan'ın (*Cyprinus carpio* L., 1758) bazı doku ve organlarındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9(2), 44-60.
- Karaer, F. Katip, A. Başkaya, H. S. İleri, S. Sarmaşık, S. 2012. Fraction distribution and risk assessment of heavy metals and trace elements in sediments of Lake Uluabat. *Environ Monit Assess*, 184, 5399-5413.
- Katip, A. Karaer, F. İleri, S. Sarmaşık, S. Aydoğan, N. Zenginay, S. 2012. Analysis and assessment of trace elements pollution in sediments of Lake Uluabat, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 33, 961-968.
- Keser, G. Topak, Y. Sevgiler, Y. 2020. Concentrations of some heavy metal and macroelements in sediment, water, macrophyte species, and leech (*Hirudo sulukii n. sp.*) from the Kara Lake, Adıyaman, Turkey. *Environ Monit Assess*, 192(75), 1-12.

- Kır, İ. Tekin-Özan, S. Tuncay, Y. 2007. Kovada Gölü'nün su ve sedimentindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 24(1-2), 155-158.
- Kishe, M. A. Machiwa, J. F. 2003. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. Environment International, 28, 619-625.
- Kurun, A. Balkıs, N. Erkan, M. Balıs, H. Aksu, A. ve Erşan, M.S. 2010. Total metal levels in crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823), and surface sediments in Lake Terkos, Turkey. Environ Monit Assess, 169, 385-395.
- Küçükosmanoğlu, A. G. and Filazi, A. 2020. Investigation of the metal pollution sources in Lake Mogan, Ankara, Turkey. Biological Trace Element Research, 198, 269-282.
- Kükrer, S. Şeker, S. Abacı, Z. T. Kutlu, B. 2014. Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of northern littoral zone of Lake Çıldır, Ardahan, Turkey. Environ Monit Assess, 186, 3847-3857.
- Kükrer, S. Erginal, A. E. Şeker, S. Karabıyıkoglu, M. 2015. Distribution and environmental risk evaluation of heavy metal in core sediments from Lake Çıldır (NE Turkey). Environ Monit Assess, 187, 453.
- Kükrer, S. 2016. Tortum Gölü yüzey sedimentlerindeki metal birikiminin ekolojik indeksler yolu ile kapsamlı risk değerlendirmesi. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(12), 1185-1191.
- Kükrer, S. 2017. Pollution, source, and ecological risk assessment of trace elements in surface sediments of Lake Aktaş, NE Turkey. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 23(7), 1629-1644.
- Kükrer, S. 2018. Vertical and horizontal distribution, source identification, ecological and toxic risk assessment of heavy metals in sediments of Lake Aygır, Kars, Turkey. Environmental Forensics, 19(2), 122-133.
- Li, F. Huang, J. Zeng, G. Yuan, X. Li, X. Liang, J. Wang, X. Tang, X. Bai, B. 2013. Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. Journal of Geochemical Exploration, 132, 75-83.
- Liu, M. Yang, Y. Yun, X. Zhang, M. Li, Q. Wang, J. 2014. Distribution and ecological assessment of heavy metals in surface sediments of the East Lake, China. Ecotoxicology, 23, 92-101.
- Liu, C. Shao, S. Shen, Q. Fan, C. Zhou, Q. Yin, H. And Xu, F. 2015. Use of multi-objective dredging for remediation of contaminated sediments: a case study of a typical heavily polluted confluence area in China. Environmental Science and Pollution Research, 22, 17839-17849.

- Long, E.R. Ingersoll, C.G. Macdonald, D.D. 2006. Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review. *Environmental Science & Technology*, 40(6), 1726-1736.
- MacDonald, D.D. Ingersoll C.G. Berger, T.A. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*, 39, 20-31.
- Machesky, M. L. Holm, T. R. Shackelford, D. B. 2004. Concentrations and potential toxicity of metals and ammonia in peoria lake sediments and pore waters. *Waste Management and Research Center A Division of the Illinois Department of Natural Resources*, 103, 1-134.
- Mamat, Z. Haximu, S. Zhang, Z. Aji, R. 2016. An ecological risk assessment of heavy metal contamination in the surface sediments of Bosten Lake, Northwest China. *Environ Sci Pollut Res*, 23, 7255-7265.
- Manap, N. and Voulvoulis, N. 2015. Environmental management for dredging sediments the requirement of developing nations. *Journal of Environmental Management*, 147, 338-348.
- Manav, R. Uğur Görgün, A. Filizok, I. 2016. Radionuclides (210po and 210pb) and some heavy metals in fish and sediments in Lake Bafa, Turkey, and the contribution of 210Po to the radiation dose. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13(1113), 1-11.
- Mendil, D. and Uluözlü, Ö. D. 2007. Determination of trace metal levels in sediment and five fish species from lakes in Tokat, Turkey. *Food Chemistry*, 101, 739-745.
- Messieh, S. N. Rowell, T. W. Peer, D. L. and Cranford, P. J. 1991. The effects of trawling, dredging and ocean dumping on the eastern Canadian continental shelf seabed. *Cont. Shelf Res*, 11, 1237-1263.
- Munawar, M. 1989. In situ bioassessment of dredging and disposal activities in a contaminated ecosystem: Toronto Harbour. *Hydrobiologia*, 1898-189, 601-618.
- Mwamburi, J. ve Oloo, F. N. 1997. The distribution and concentration levels of trace metals in water and sediments of Lake Victoria, Kenya. *Hydrobiol. Fish*, 7, 37-48.
- Olgun, E. ve Kocaemre, T. S. 2011. Mogan Gölü Su Kalitesinin İncelenmesi. *Tabiat ve İnsan*, 45, 10-22.
- Özmen, H. Külahcı, F. Çukurovalı, A. Doğru, M. 2004. Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey). *Chemosphere*, 55(2004), 401-408.

- Özşeker, K. and Eruz, C. 2017. Pollution assessment of toxic metals in representative limnetic ecosystem sediments in the southeastern black sea, Turkey. *Clean-Soil Air Water*, 45(1700407), 1-8.
- Padmalal, D. 2008. Environmental effects of river sand mining: a case from the river chatchments of Vembanad Lake, southwest coast of India. *Environ. Geol*, 54, 879-889.
- Peng, J. Song, Y. Peng, Y. Cui, X. Qiu, G. (2009). The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 161, 633-640.
- Ponti, M. Pasteris, A. Guerra, R. Abbiati, M. 2009. İmpacts of maintenance channel dredging in a northern Adriatic coastal lagoon. II: effects on macrobenthic assemblages in channels and ponds. *Estuar. Coast Shelf Sci*, 85, 143-150.
- Potasznik, A.K. Szymczyk, S. Skwierawski, A. Lewczuk, K. G. Cymez, I. 2016. Heavy metal contamination in the surface layer of bottom sediments in a flow-through lake: a case study of lake symsar in northern Poland. *Water*, 8(358), 1-15.
- Pulatsü, S. Topçu, A. Kırkağaç, M. Köksal, G. 2008. Sediment phosphorus characteristics in the clearwater state of Lake Mogan, Turkey. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 13, 197-205.
- Pulatsü, S. and Topçu, A. 2015. Review of 15 years of research on sediment heavy metal contents and sediment nutrient release in inland aquatic ecosystems, Turkey. *Journal of Water Resource and Protection*, 7, 85-100.
- Pulatsü, S. Topçu, A. Yılmaz, E. 2015. Göllerde ötrofikasyonun kontrolü: sediment tarama uygulamaları. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech*, 5(1), 51-56.
- Rognerud, S. and Fjeld, E. 2001. trace element contamination of Norwegian Lake sediments. *BioOne Complete*, 30(1), 11-19.
- Rudnick, R. L. and Gao, S. 2014. *Composition of the continental crust*. Elsevier, 3, 1-64.
- Sasikala, R. Shirole, A. Sudarsan V. Sakuntala, T. Sudakar, C. Naik, R. Bharadwaj, S. R. 2009. Highly dispersed phase of SnO₂ on TiO₂ nanoparticles synthesized by -mediated route: Photocatalytic activity for hydrogen generation. *International Journal Of Hy Drogen Energy*, 34, 3621-3630.
- Satar, A. M. Ali, M. H. Goher, M. E. 2017. Distribution and speciation of Fe, Mn, Zn, Cu, Pb and P in surface sediments of Lake Mariut, Egypt. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, 46(2), 154-167.
- Saygı, Y. and Atasagun Yiğit, S. 2012. Heavy metals in Yeniçağa Lake and its potential sources: soil, water, sediment, and plankton. *Environ Monit Assess*, 184, 1379-1389.

- Singh, J. And Upadhyay, S. K. 2012. Heavy Metals Assessment in Sediment of Ramgarh ŞekerLake, UP, India. J. Ecophysiol. Occup. Hlth, 12, 13-19.
- Su, S. 2002. Potential long-term ecological impacts caused by disturbance of contaminated sediments: a case study. Environ. Manage, 29, 234-249.
- Suresh, G. Sutharsan, P. Ramasamy, V. Venkatachalapathy, R. 2012. Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India. Ecotoxicology and Environmental Safety, 84, 117-124.
- Sutherland, R. A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology, 39(6), 611-627.
- Şener, Ş. Davraz, A. Karagüzel, R. 2014. Assessment of trace metal contents in water and bottom sediments from Eğirdir Lake, Turkey. Environ Earth Sci, 71, 2807-2819.
- 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.
- Tang, W. Duan, S. Shan, B. Zhang, H. Zhang, W. Zhao, Y. ve Zhang, C. 2016. Concentrations, diffusive fluxes and toxicity of heavy metals in pore water of the Fuyang River, Haihe Basin. Ecotoxicology and Environmental Safety, 127, 80-86.
- Tekin-Özan, S. and Aktan, N. 2012. Relationship of heavy metals in water, sediment and tissues with total length, weight and seasons of *Cyprinus carpio* L., 1758 from Işıklı Lake (Turkey). Pakistan J. Zool, 44(5), 405-416.
- Topçu, A. and Pulatsü, S. 2008. Phosphorus fractions in sediment profiles of the eutrophic Lake Mogan, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 17(2), 164-172.
- Topçu, A. and Kaya, D. 2017. Ecological Risk Assessment And Seasonal-Spatial Distribution Of Some Trace Elements From Surface Sediment: Eutrophic-Shallow Mogan Lake, Turkey. International Congress on Chemistry and Materials Science. 5-7 October 2017. Page: 267, Ankara, Turkey.
- Topçu, A. and Pulatsü, S. 2017. Evaluation of some management strategies in eutrophic Mogan Lake, Turkey: phosphorus mobility in the sediment-water interface. Applied Ecology and Environmental Research, 15(4), 705-717.
- Topçu, A. Ulusoy, U. Pulatsü, S. 2018. Determination of sediment phosphate sorption characteristics in shallow Mogan Lake, Turkey. Applied Ecology And Environmental Research, 16(5), 5971-5985.

- Tunca, E. Atasagun, S. Saygı, Y. 2012. Yeniçağa Gölü'nde (Bolu-Türkiye) su, sediment ve kerevitteki (*Astacus leptodactylus*) bazı ağır metallerin birikimi üzerine bir ön çalışma. *Ekoloji*, 21(83), 68-76.
- Tunca, E. 2016. Beyşehir Gölü'nde su ve sedimentte ağır metal birikimi ve sedimentte antropojenik kontaminasyon değerlendirmesi. *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.*, 6(2), 205-219.
- Tylmann, W. Lysek, K. Kinder, M. Pempkowiak, J. 2011. Regional pattern of heavy metal content in lake sediments in northeastern Poland. *Water Air Soil Pollut*, 216, 217-228.
- Van Den Berg, G. A. Meijers, G.A. Van Der Heijdt, L. Zwolsman, J.G. 2001. Dredging related mobilisation of trace metals: a case study in the Netherlands. *Water Research*, 35(8), 1979-1986.
- Varol, M. Canpolat, Ö. Eriş, K. K. Çağlar, M. 2020. Trace metals in core sediments from a deep lake in eastern Turkey: Vertical concentration profiles, eco-environmental risks and possible sources. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 89(110060), 1-9.
- Vrhovnik, P. Smuc, N. R. Dolenc, T. Serafimovski, T. Dolenc, M. 2013. An evaluation of trace metal distribution and environmental risk in sediments from the Lake Kalimanci (FYR Macedonia). *Environmental Earth Sciences*, 70(2), 761-775.
- Wang, X. Y. and Feng, J. 2007. Assessment of the effectiveness of environmental dredging boin South Lake, China. *Environ Manage*, 40, 314-322.
- Xu, M. Sun, W. Wang, R. 2019. Spatial distribution and ecological risk assessment of potentially harmful trace elements in surface sediments from Lake Dali, North China. *Water*, 11(12), 2544.
- Yang, J. Chen, L. Liu, L-Z. Shi, W-L. Meng, X-Z. 2014. Comprehensive risk assessment of heavy metals in lake sediment from public parks in Shanghai. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 102, 129-135.
- Yavuz, H. ve Filazi, A. 1995. Ankara Mogan Gölü'nden sağlanan su, çökelti ve balık örneklerinde ağır metal düzeyleri. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 66, 1-7.
- Yılğör, S. Küçüksezgin, F. Özel, E. 2012. Assessment of metal concentrations in sediments from Lake Bafa (Western Anatolia): An index analysis approach. *Bull Environ Contam Toxicol*, 89, 512-518.
- Yiğit, S. and Altındağ, A. 2006. Concentration of heavy metals in the food web of Lake Eğirdir, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 27(3), 475-478.

- Yin, H. Gao, Y. Fan, C. 2011. Distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from Lake Taihu, China. *Environ. Res. Lett*, 6, 1-12.
- Yuan, Z. Taoran, S. Yan, Z. Tao, Y. 2014. Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in sediments from a hypertrophic plateau Lake Dianchi, China. *Environ Monit Assess*, 186, 1219-1234.
- Zhang, S. Zhou, Q. Xu, D. Lin, J. Cheng, S. Wu, Z. 2010. Effects of sediment dredging on water quality and zooplankton community structure in a shallow of eutrophic lake. *Journal of Environmental Sciences*, 22(2), 218-224.
- Zhang, Y. Liu, J. Liu, J. 2013. Heavy metals in sediments of Yangzonghai Lake, China, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(11), 296-302.
- Zhang, Z. L. Y. Zhang, W. Zhang, Y. Sun, C. Marhaba, T. 2015. Phosphorus, organic matter and nitrogen distribution characteristics of the surface sediments in Nansi Lake, China. *Environ Earth*, 73, 5669-5675.